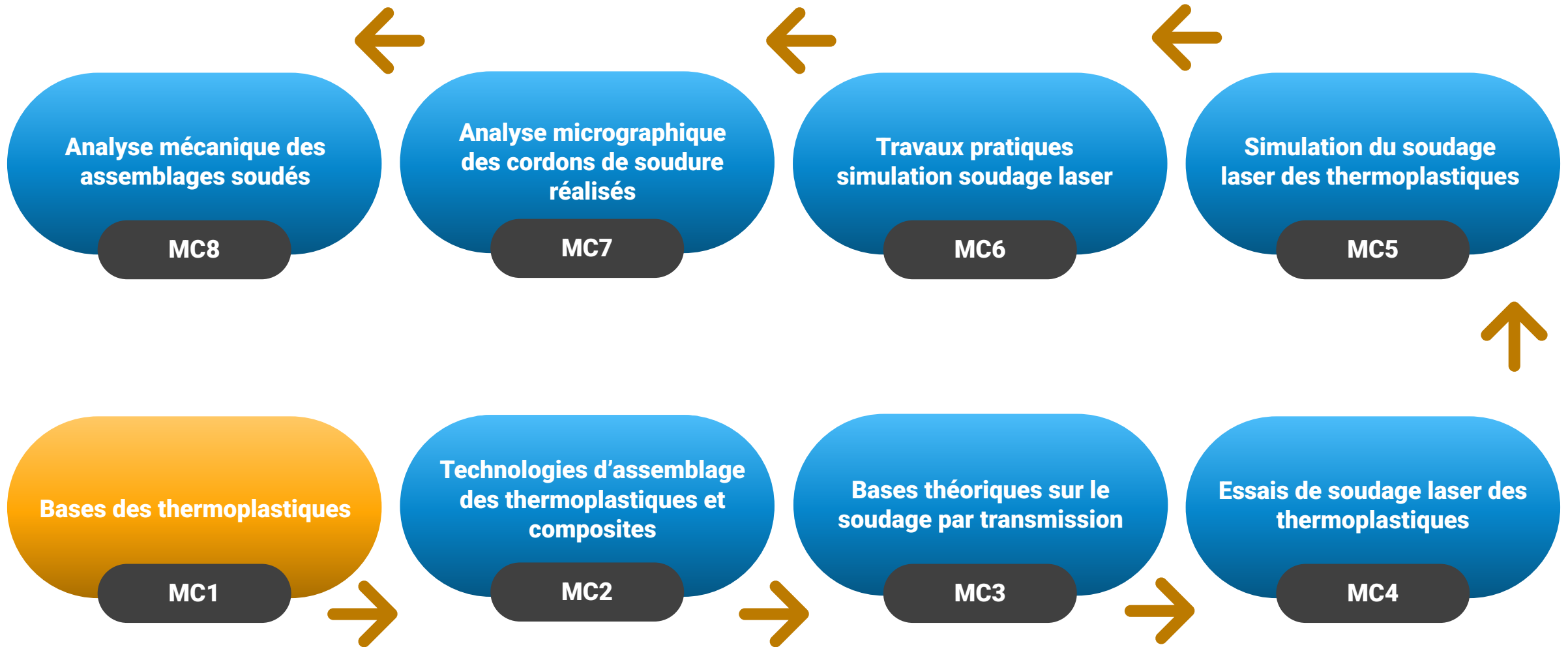


# Technologie d'Assemblage de Thermoplastiques par Laser

# Micro-Contenus (MC)

## Technologie d'Assemblage des Thermoplastiques par Laser



**MC1**

**Acquérir les notions théoriques sur les polymères thermoplastiques nécessaires à la compréhension de leur comportement lors du soudage laser**

# **Introduction générale**

# MC1: Bases des thermoplastiques

**Module 7** Evaluation

**Module 6** Conclusion

**Module 5** Mécanismes moléculaires pour l'assemblage des thermoplastiques

**Module 4** Propriétés mécaniques des thermoplastiques en fonction de la température

**Module 3** Les spécificités des thermoplastiques

**Module 2** Les classes de polymères: structure et propriétés

**Module 1** Introduction générale

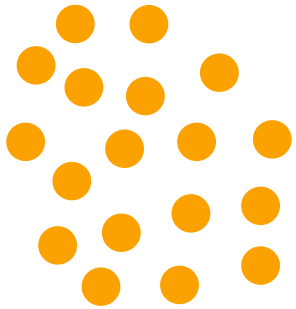
A la fin de ce micro-contenu, vous **serez capable** de :

- Classer les** matériaux polymères en fonction de leur structure chimique.
- Prédire** les propriétés de ces matériaux en connaissant leur structure chimique.
- Expliquer** le comportement mécanique des thermoplastiques avec la température.
- Schématiser** les mécanismes moléculaires lors du soudage.

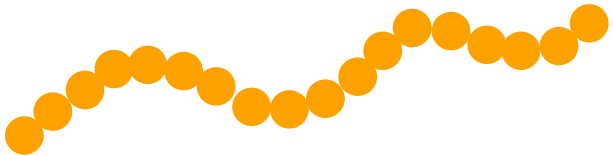
# **Les classes de matériaux polymères**

## Qu'est ce qu'un polymère?

Un polymère est une **macromolécule**, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un motif, appelé **monomère**.



plusieurs monomères



un polymère = une macromolécule

Quand le polymère résulte de l'enchaînement de plusieurs motifs de répétition identiques, il se nomme **homopolymère**. Quand les monomères sont de natures différentes, il se nomme **copolymère**.



un homopolymère



un copolymère



## Qu'est ce qu'un polymère?

Les polymères sont d'origine:

- **Naturelle**, végétale ou animale, par exemple l'ADN, la cellulose, le coton, la laine, la soie, l'amidon



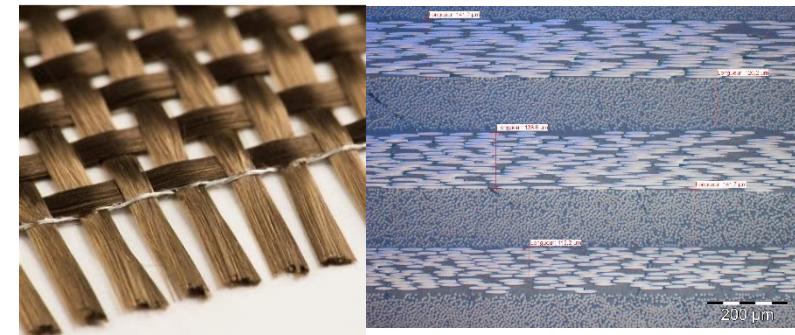
- **Synthétique**, de matière première issue du pétrole (hydrocarbures  $C_nH_m$ ) comme le polyéthylène ou issue de la nature comme le caoutchouc et certains polyamides.



Les matériaux polymères sont les:

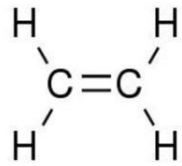
- **Plastiques**
- **Résines**
- **Vernis**
- **Colles**
- **Peintures**
- **Elastomères**

Les **composites** sont constitués d'une **matrice** polymère et d'un **renfort**, le plus souvent des fibres de verre, de carbone ou des fibres végétales.

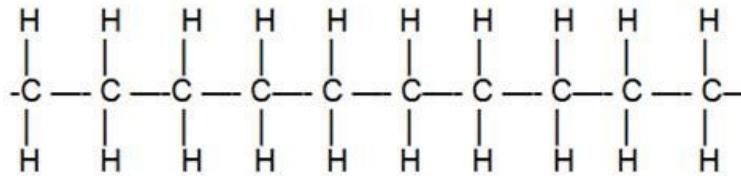


## Qu'est ce qu'un polymère?

Pour nommer un polymère, on utilise souvent le préfixe **poly-** devant le nom des monomères qui ont servi à le fabriquer. Par exemple:

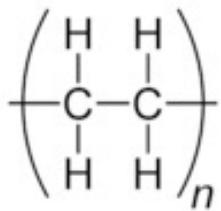


éthylène



polyéthylène

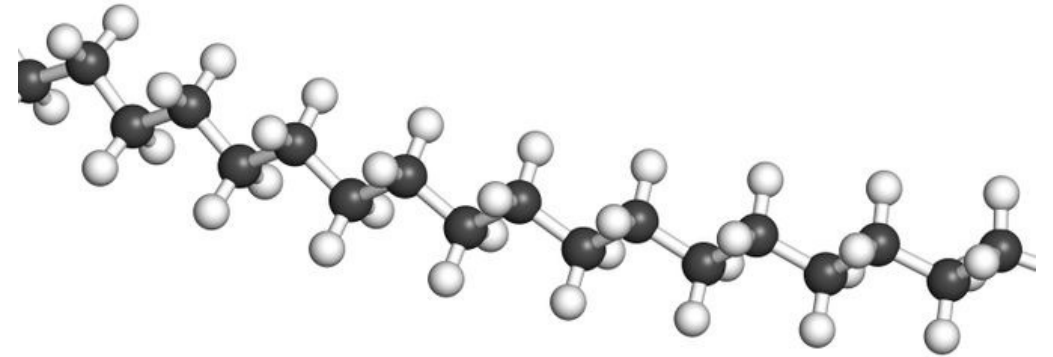
Pour simplifier l'écriture, on utilise cette notation:



polyéthylène

La formule chimique du monomère est entre parenthèse avec la lettre  $n$  en bas à droite.  $n$  signifie que ce monomère est répété un grand nombre de fois:  $n$  est souvent supérieur à 5000.

Voici une représentation du polyéthylène en 3D:

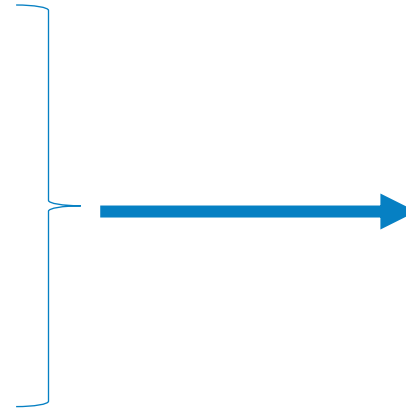
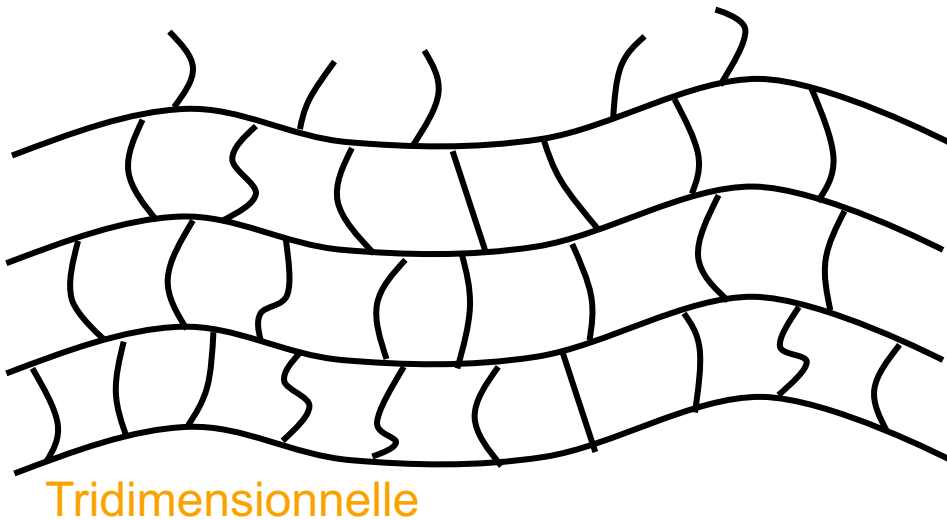
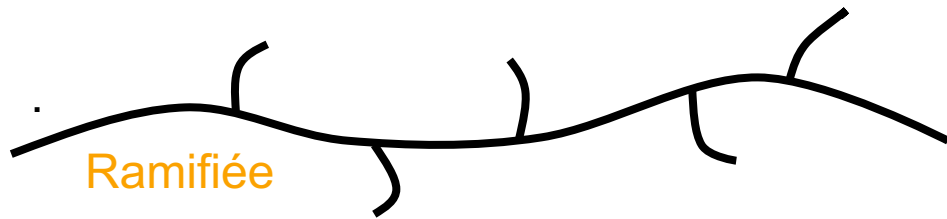


Dans la suite, on représentera le polymère par une ligne courbée, comme si on regardait la macromolécule de plus loin:



## Qu'est ce qu'un polymère?

Les polymères ont différentes structures:



**Matériaux thermoplastiques**

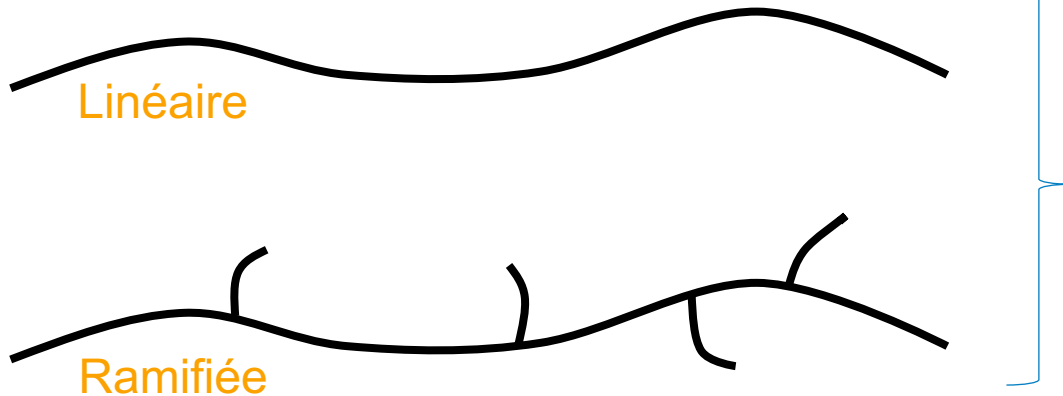


**Matériaux thermodurcissables**  
**Matériaux élastomères**

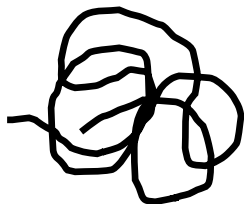
## Les thermoplastiques

Polyéthylène, polystyrène, polycarbonate, polyamide (Nylon), polytétrafluoroéthylène (Téflon), polyméthacrylate de méthyle (Plexiglas) ...

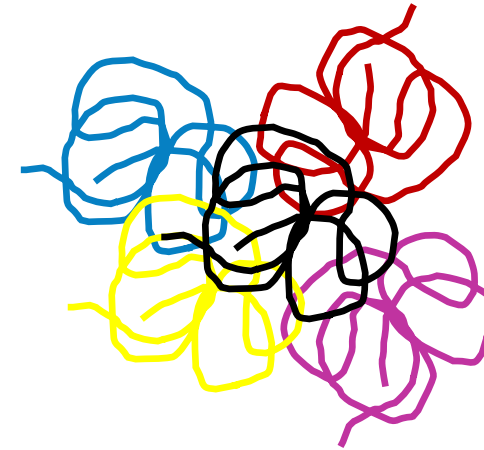
- Ils sont constitués de macromolécules linéaires ou ramifiées:



- Ces macromolécules se replient en **pelote**:



- Chaque macromolécule est emmêlée avec ses voisines: on nomme cela les **enchevêtrements**.



- Sous l'effet de la chaleur, ils passent de l'**état rigide** à l'**état malléable**. Le processus est **réversible** et peut être répété sans altération majeure de leurs propriétés.

**Rigide**  $\rightleftharpoons$  **Mou**

- Ils peuvent être mis en forme par des procédés de plasturgie, ils peuvent être **soudés**, **réparés** et sont **recyclables**.

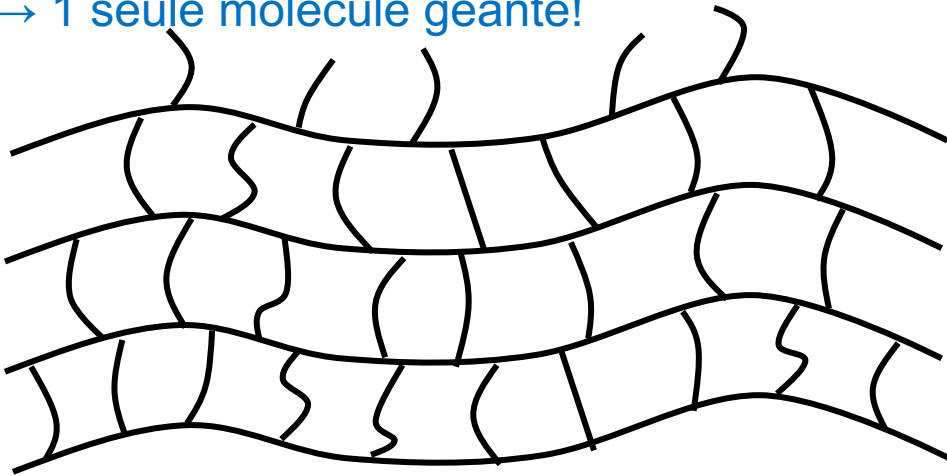


## Les thermodurcissables

Bakélite, époxy, formaldéhyde, polyester, polyimide, polyuréthane (PUR)

- Ils ont une structure tridimensionnelle

→ 1 seule molécule géante!



- Ils sont obtenus à partir d'une résine liquide par une réaction chimique irréversible, appelée **réticulation**.

Résine  $\xrightleftharpoons{\text{X}}$  Thermodurcissable

- Sous l'effet de la chaleur, ils deviennent de plus en plus rigides jusqu'à leur dégradation.
- Ils sont très rigides, résistants à la chaleur et aux solvants.
- Ils ne fondent jamais: ils ne peuvent pas être reformés, et en fin de vie, ils ne sont pas recyclables.
- Ils ne peuvent pas être soudés, mais sont assemblés par collage.

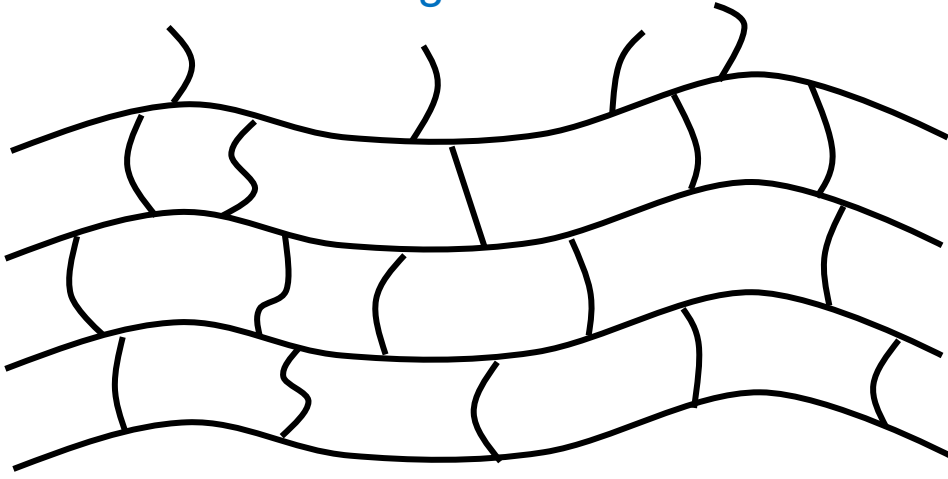


## Les élastomères

Caoutchouc naturel, polychloroprène (Neoprene), silicone, copolymère styrène-butadiène (SBR), polyuréthane

- Ils ont une structure tridimensionnelle

→ 1 seule molécule géante!



- Ils sont obtenus à partir d'une résine liquide par une réaction chimique irréversible, appelée **réticulation**.



- Leur structure est très similaire à celle des thermodurcissables, mais avec une densité de réticulation 10 à 100 fois plus faible.
- Ils présentent une grande déformabilité (> 1000%) qui dépend de la densité de réticulation.
- Sous l'effet de la chaleur, ils deviennent de plus en plus rigides jusqu'à leur dégradation.
- Ils ne fondent jamais: ils ne peuvent pas être reformés, et en fin de vie, ils ne sont pas recyclables.

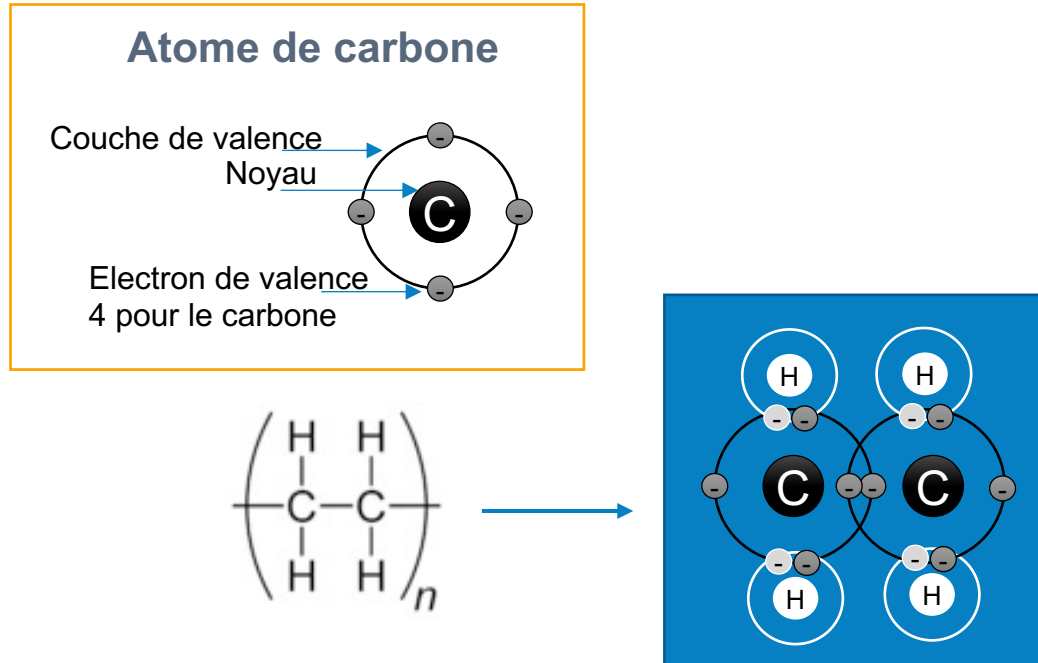


*Certains élastomères ont un comportement proche de celui des thermoplastiques.*

# **Les spécificités des thermoplastiques**

## Types de liaisons chimiques et effet sur les propriétés

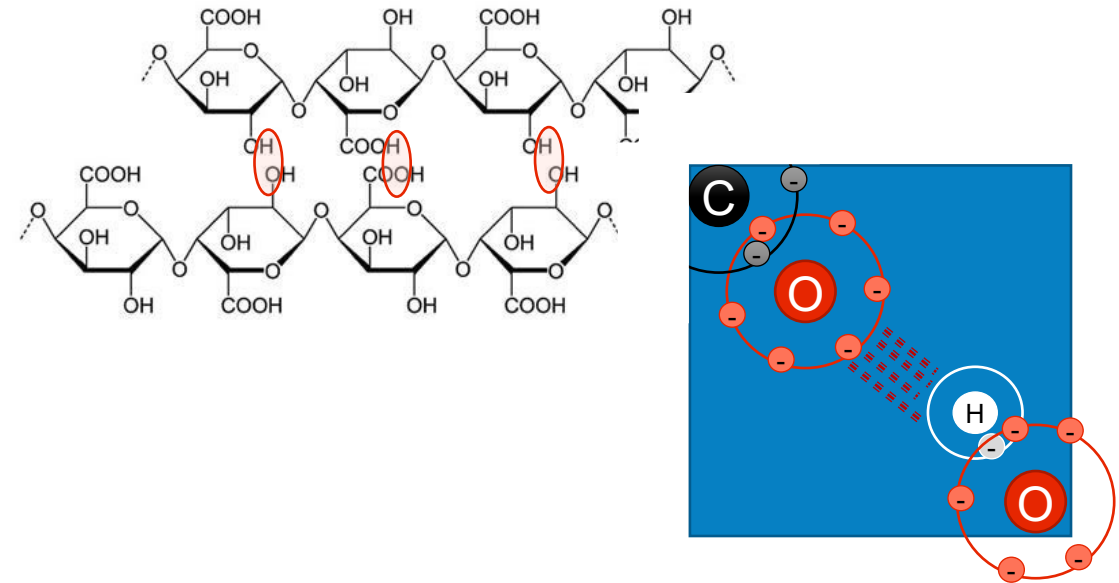
### Liaisons covalentes



Une liaison covalente est une mise en commun d'électrons de valence.

Ces liaisons sont **fortes** et **directionnelles**.

### Liaisons hydrogène Liaisons de van der Waals



Les liaisons hydrogène et de van der Waals sont des interactions électromagnétiques à longue distance.

Ces liaisons sont **faibles** et **non-directionnelles**.



## Types de liaisons chimiques et effet sur les propriétés

### Liaisons covalentes

Elles relient les atomes entre eux dans les monomères et les monomères entre eux dans les macromolécules.



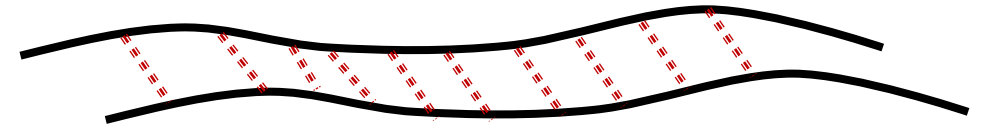
*Energie de dissociation = 100 à 1000 kJ.mol<sup>-1</sup>*



Il faut une grande énergie pour les rompre.

### Liaisons hydrogène Liaisons de van der Waals

Elles retiennent les macromolécules entre elles.



*Energie de dissociation = 2 à 30 kJ.mol<sup>-1</sup>*

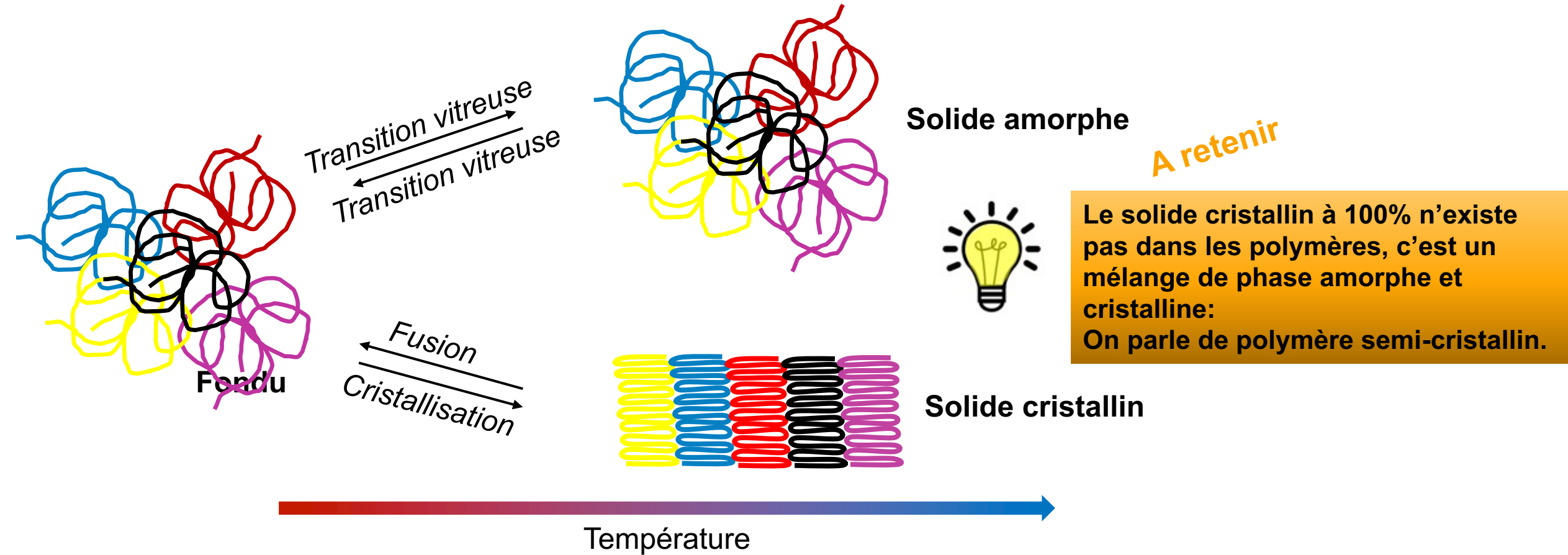


Elles se cassent sous l'effet de la chaleur ou d'un rayonnement.



Les macromolécules peuvent se déplacer en glissant les unes sur les autres:  
le matériau ramollit.

## Organisation des macromolécules dans les thermoplastiques



## Transitions thermiques dans les thermoplastiques

### Transition vitreuse ( $T_g$ )

Elle caractérise l'état amorphe.

### Fusion ( $T_f$ ) / Cristallisation ( $T_c$ )

Elles caractérisent l'état cristallin.

Thermoplastique  
amorphe



Thermoplastique  
semi-cristallin



**A retenir**

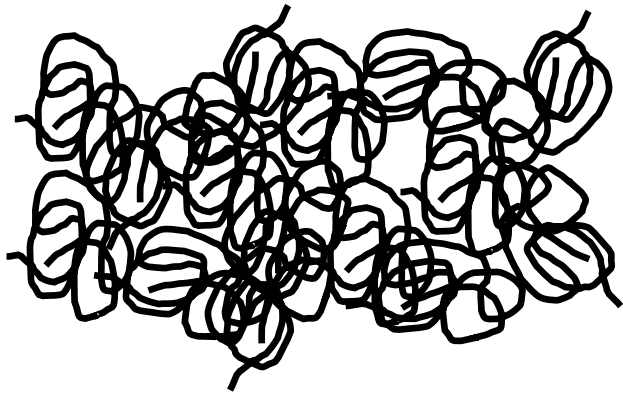


**Il faut dépasser la transition vitreuse pour faire s'écouler un thermoplastique amorphe.  
Il faut chauffer davantage en dépassant la température de fusion pour faire s'écouler un thermoplastique semi-cristallin.**

## Bilan

Il existe deux types de thermoplastiques:

### Thermoplastiques amorphes



1 transition thermique  
 $T_g$  (réversible)

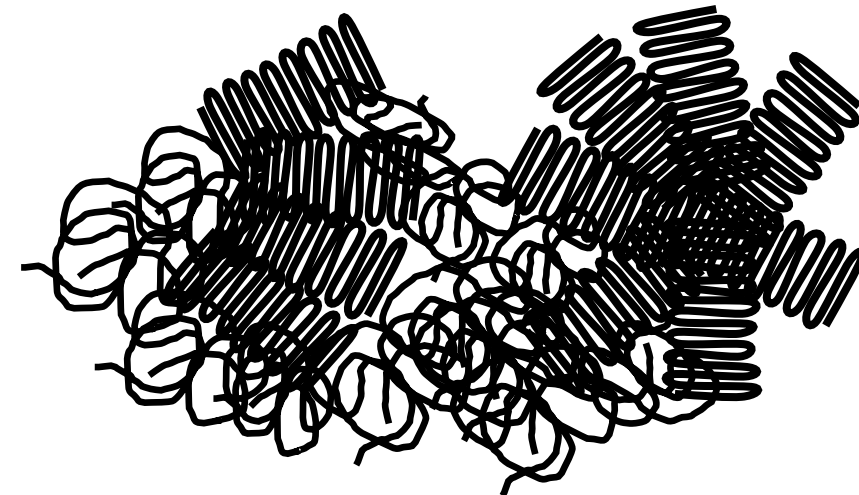


**A retenir**

**Les amorphes sont transparents à la lumière visible, alors que les semi-cristallins sont toujours opaques.**

Polystyrène, polyméthacrylate de méthyle (Plexiglas)  
polycarbonate, polyétherimide, polysulfone

### Thermoplastiques semi-cristallins



2 transitions thermiques  
 $T_g$  (réversible)  
 $T_f$  et  $T_c$

Polyéthylène, polypropylène, polyamide (Nylon),  
polytétrafluoroéthylène (Téflon), acide polylactique (PLA) ...

**Les propriétés mécaniques des  
thermoplastiques avec la  
température**

## Paramètres influents sur les propriétés mécaniques

### Le matériau

- Structure du polymère
- Composition: renforts et additifs
- Homogénéité du matériau

### Le type de sollicitation

- Impact
- Traction
- Compression
- Cisaillement

### Les conditions de sollicitation

- Température
- Vitesse
- Pression
- Environnement: humidité, solvant, sel



**Comportements  
mécaniques très variés**

## Effet de la température sur la rigidité

Rappel

Thermoplastique  
amorphe

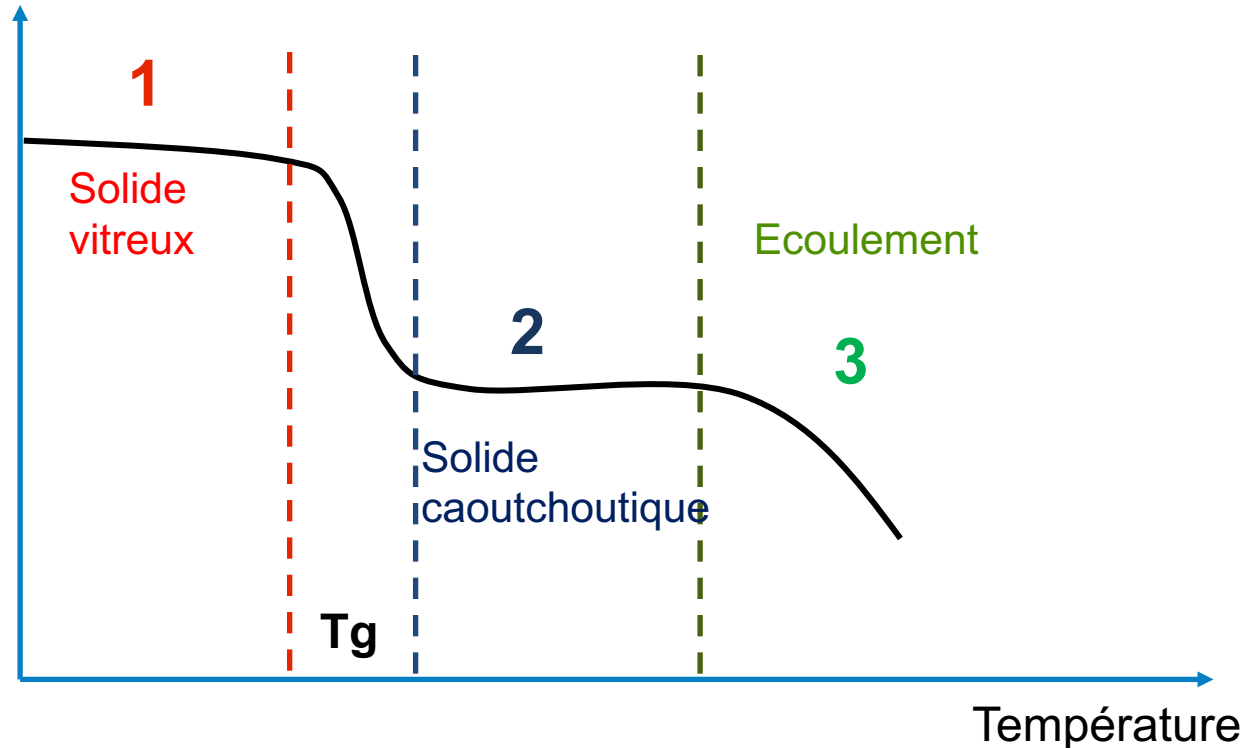
Solide vitreux

Tg

Solide caoutchoutique

Liquide visqueux

Module  
élastique E



- **Comportement élastique**
  - 1 • Mouvement moléculaire à faible distance
  - Sollicitation des liaisons faibles
- **Comportement viscoélastique et plastique**
  - 2 • Mouvement moléculaire à grande distance
  - Sollicitation des liaisons fortes
- **Comportement viscoélastique**
  - 3 • Mouvement moléculaire à très grande distance
  - Glissement des molécules les unes sur les autres : frottement moléculaire
  - Sollicitation des liaisons fortes

## Effet de la température sur la rigidité

Rappel

Thermoplastique  
semi-cristallin

Solide vitreux  
+ Solide cristallin

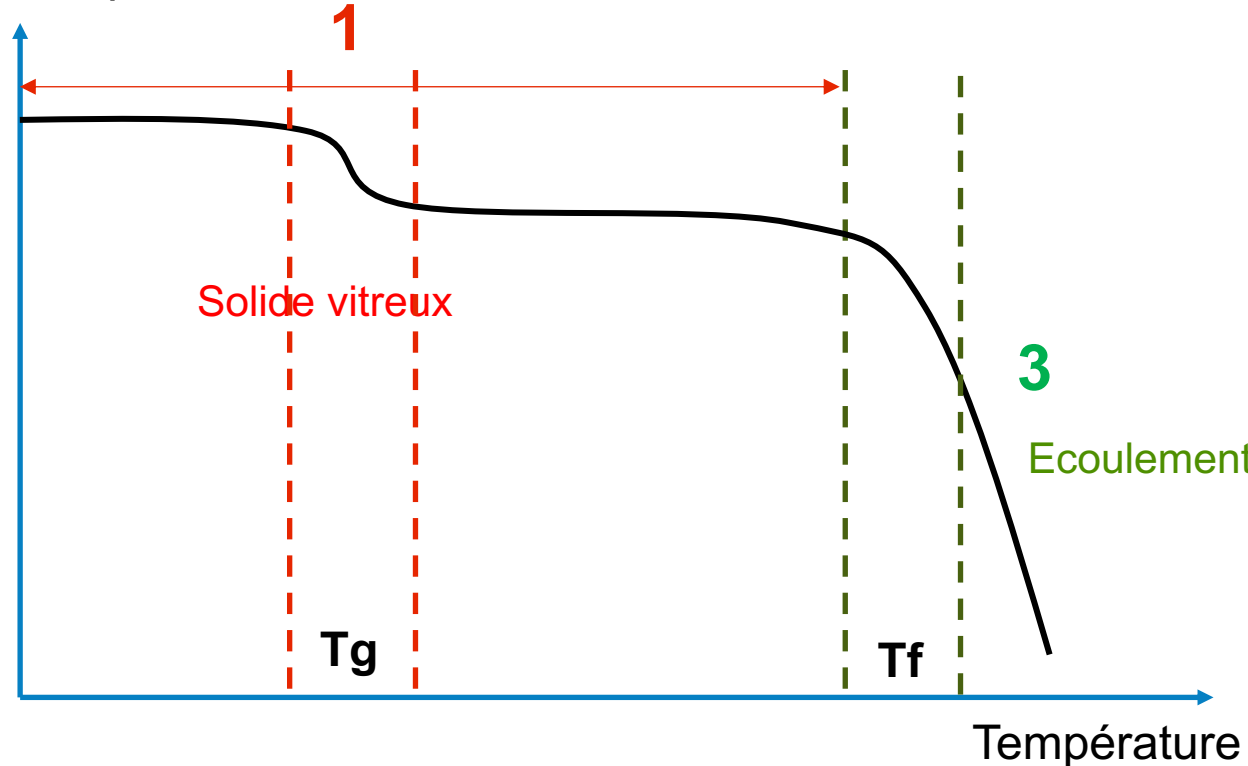
$T_g$

Solide caoutchoutique  
+ Solide cristallin

$T_f$

Liquide visqueux

Module  
élastique E

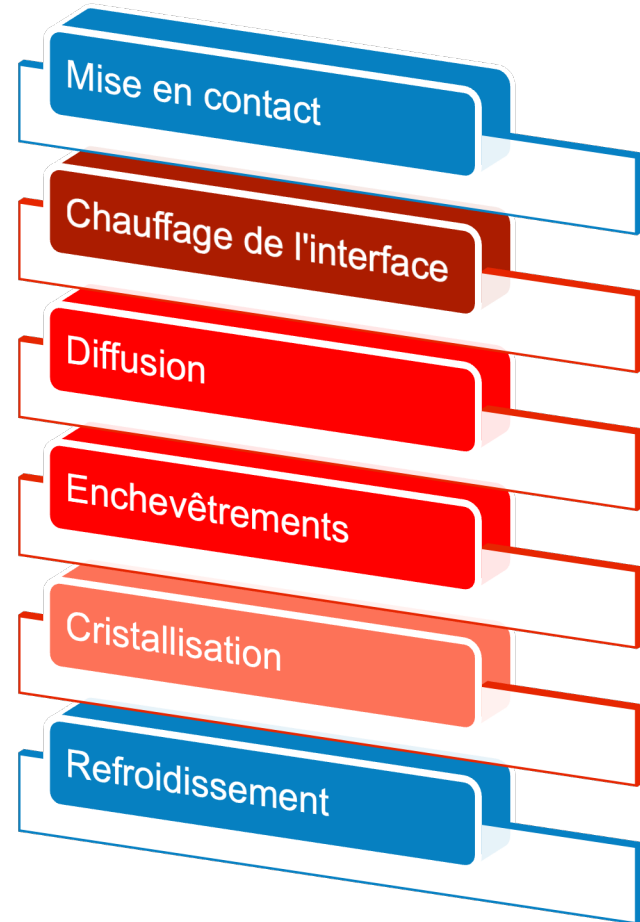


- **Comportement élastique**
  - 1 • Mouvement moléculaire à faible distance
  - Sollicitation des liaisons faibles
- **Comportement viscoélastique**
  - 3 • Mouvement moléculaire à très grande distance
  - Glissement des molécules les unes sur les autres : frottement moléculaire
  - Sollicitation des liaisons fortes

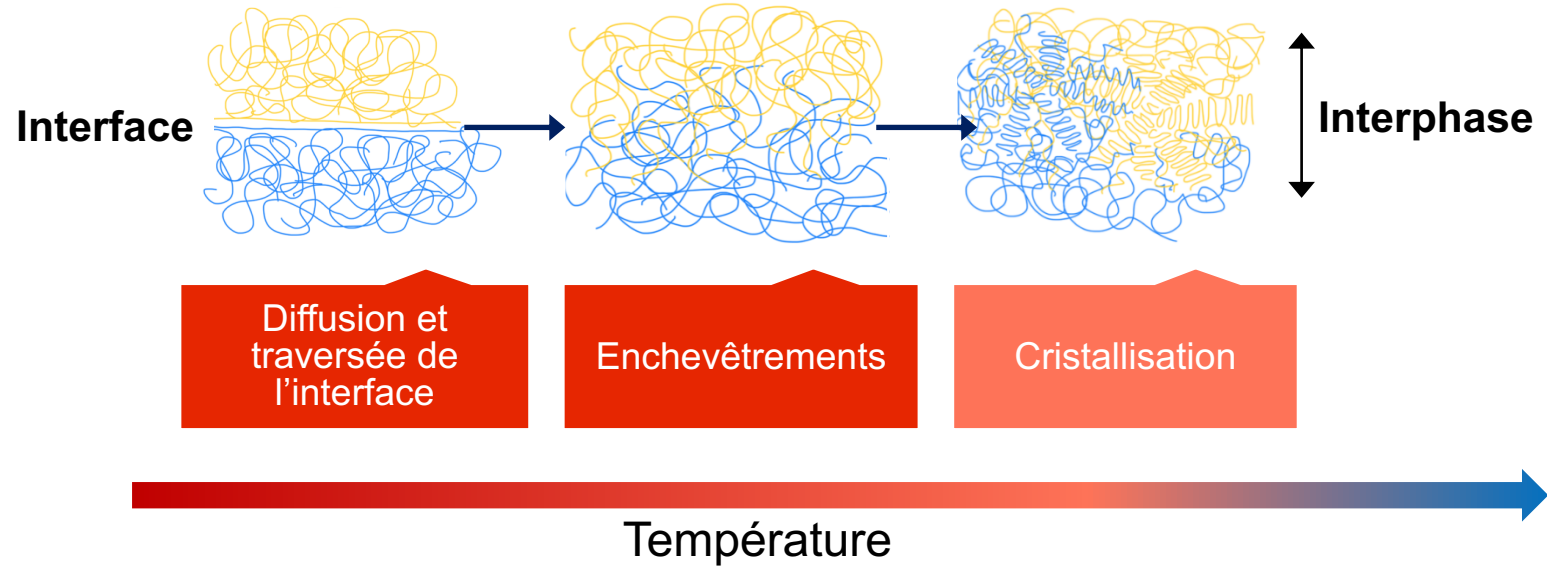


# **Les mécanismes moléculaires pour l'assemblage des thermoplastiques**

## Mécanismes moléculaires lors du soudage



### Que se passe-t-il à l'interface?



Temps de reptation Pour  $N \gg N_e$

$$t_{rep} = \frac{N^3 l_0^3 \mu_M}{N_e k_B T}$$

De Gennes 1970

## **Conclusion générale**

- ❑ Seuls les **thermoplastiques** peuvent être soudés.
- ❑ Sous l'effet de la chaleur, leurs **liaisons faibles** se rompent, les macromolécules glissent les unes sur les autres ce qui fait ramollir le matériau. Le phénomène est **réversible**.
- ❑ Il faut dépasser la **transition vitreuse** pour faire s'écouler un polymère **amorphe**. Il faut atteindre la **température de fusion** pour faire s'écouler un polymère **semi-cristallin**.
- ❑ Lors du soudage, les macromolécules **diffusent** dans l'élément voisin puis elles **s'enchevêtrent**. Ensuite, pour les polymères semi-cristallins seulement, les macromolécules **cristallisent**.

