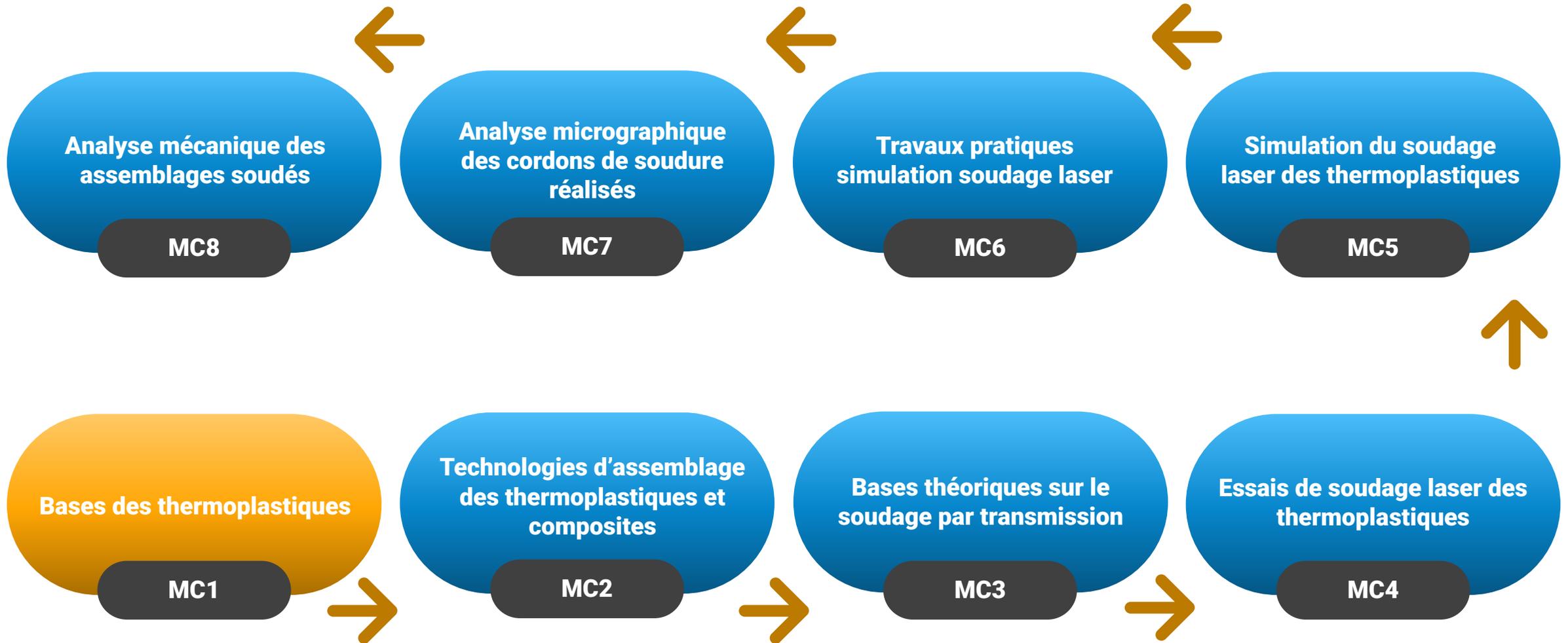


Technologie d'Assemblage de Thermoplastiques par laser

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

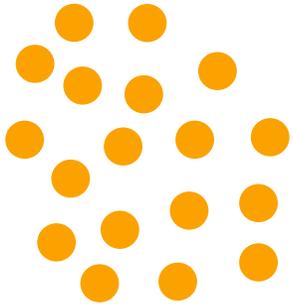
A la fin de ce micro-contenu, vous **serez capable** de :

- 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.

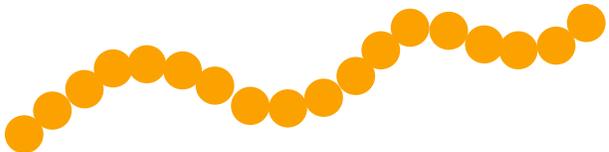
Les classes de matériaux polymères

Qu'est ce qu'un polymère?

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

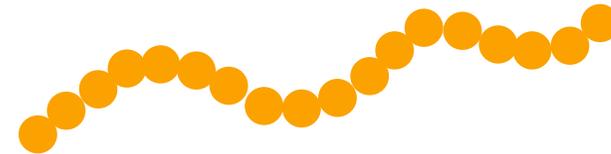


plusieurs monomères



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



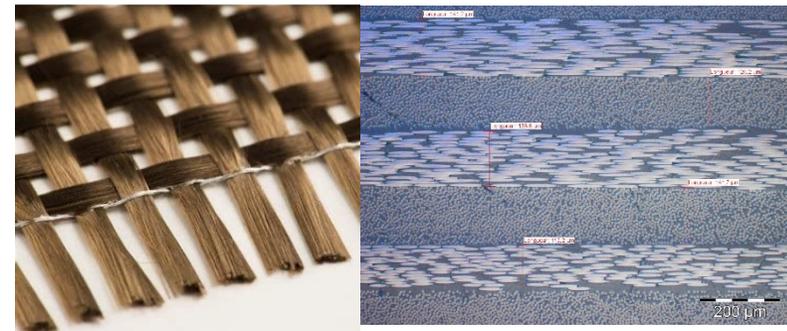
- **Synthétique**, de matière première issue du pétrole (hydrocarbures C_nH_m) comme le polyéthylène ou issue de la nature comme le caoutchouc et certains polyamides.



Les matériaux polymères sont les:

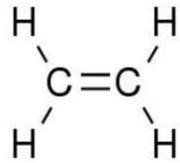
- **Plastiques**
- **Résines**
- **Vernis**
- **Colles**
- **Peintures**
- **Elastomères**

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.

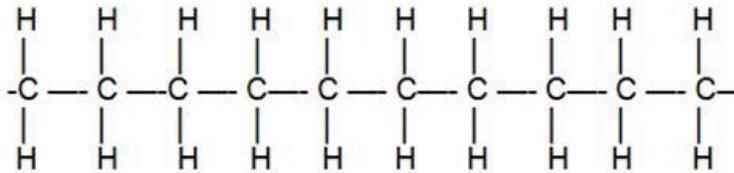


Qu'est ce qu'un polymère?

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

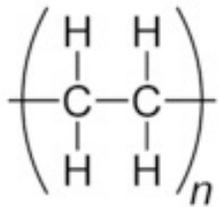


éthylène



polyéthylène

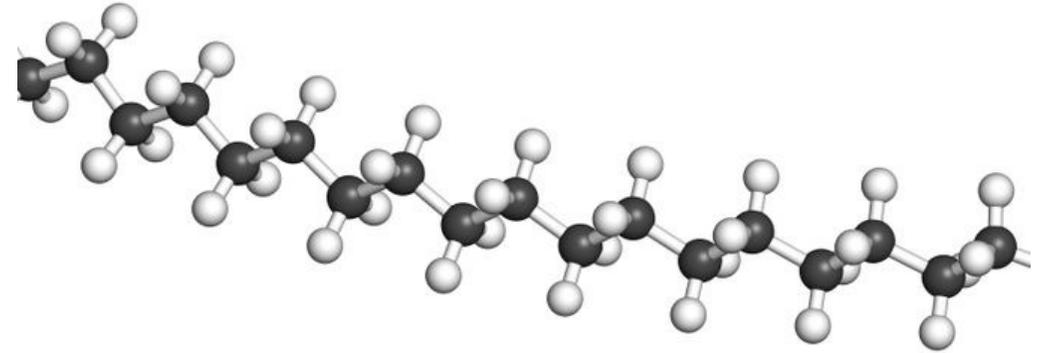
Pour simplifier l'écriture, on utilise cette notation:



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:

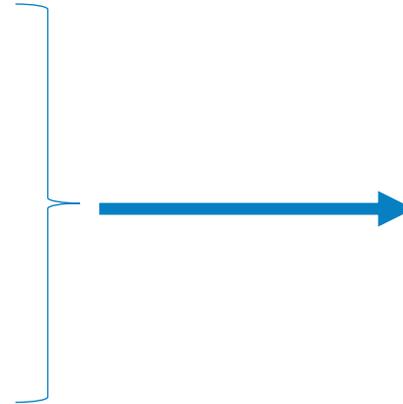
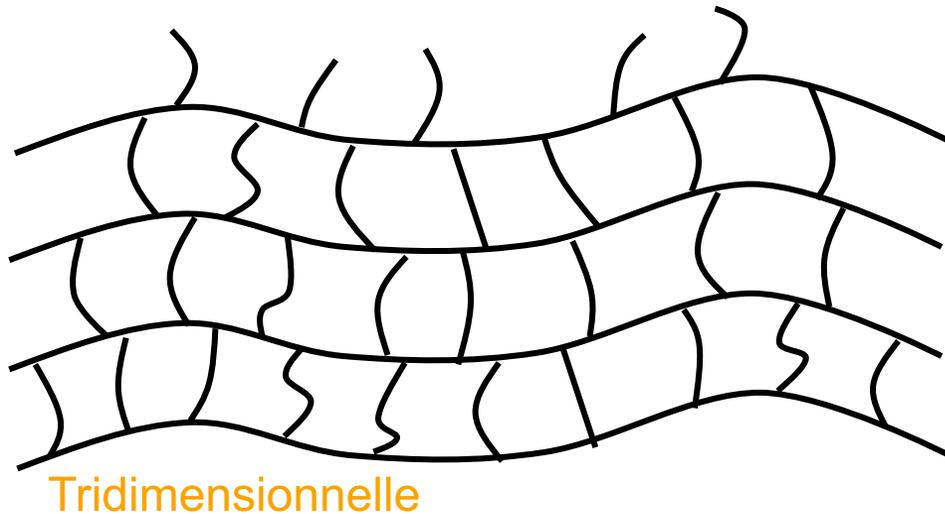
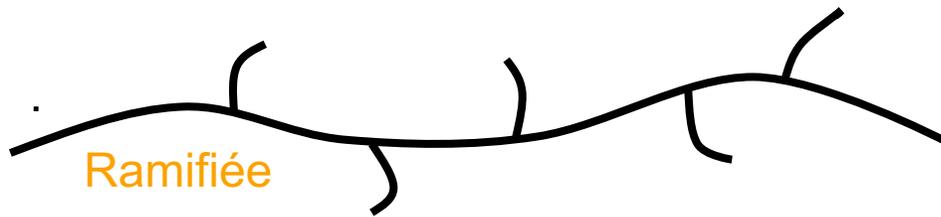


Dans la suite, on représentera le polymère par une ligne courbée, comme si on regardait la macromolécule de plus loin:



Qu'est ce qu'un polymère?

Les polymères ont différentes structures:



Matériaux thermoplastiques

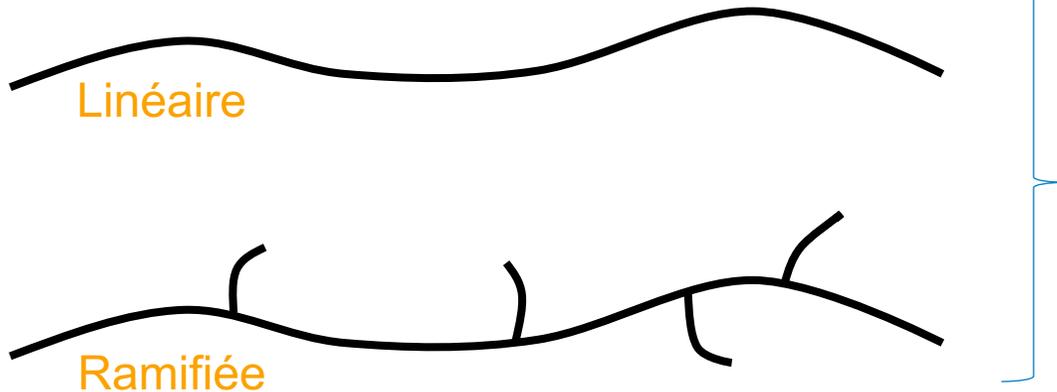


Matériaux thermodurcissables
Matériaux élastomères

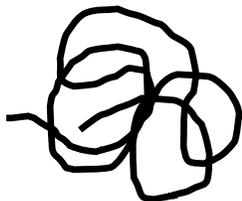
Les thermoplastiques

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

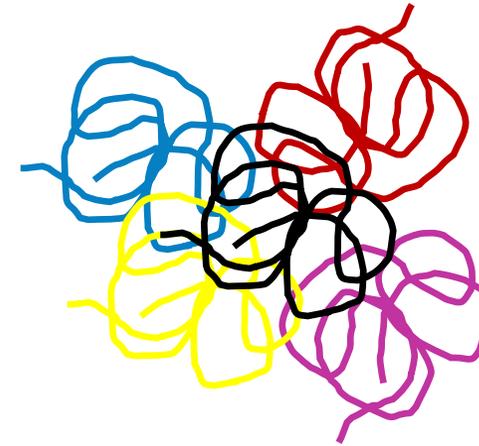
- Ils sont constitués de macromolécules linéaires ou ramifiées:



- 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**.

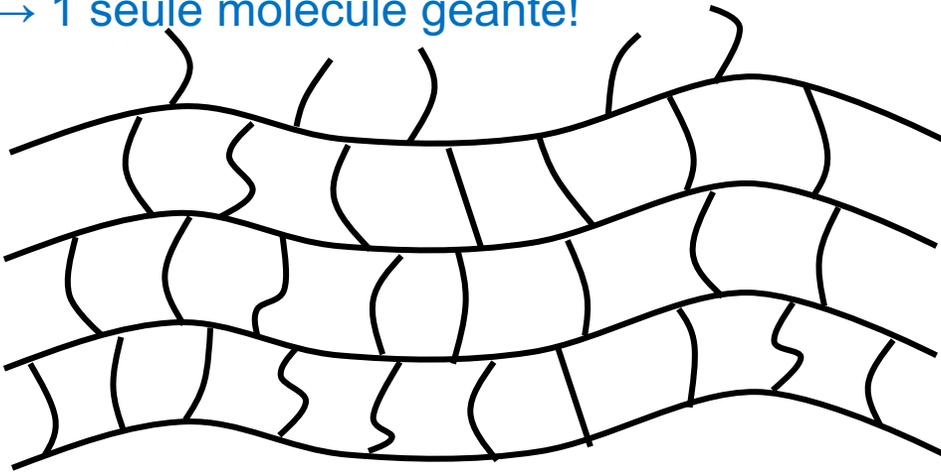


Les thermodurcissables

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.

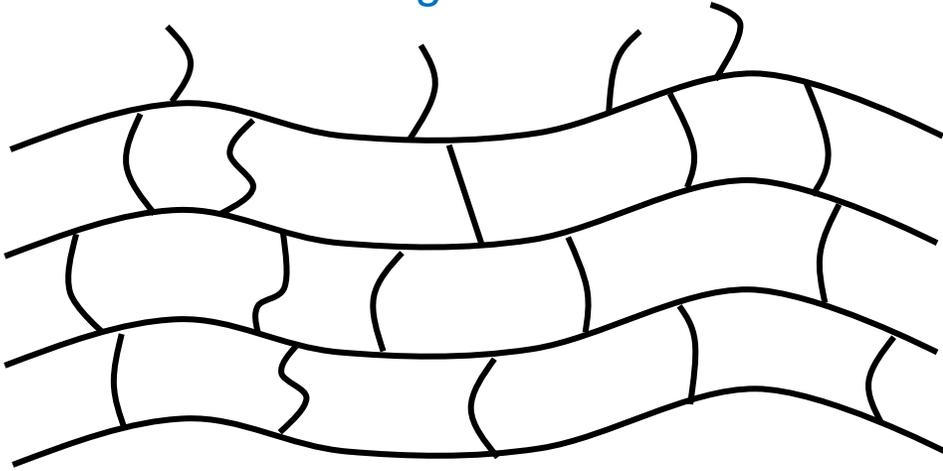


Les élastomères

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.

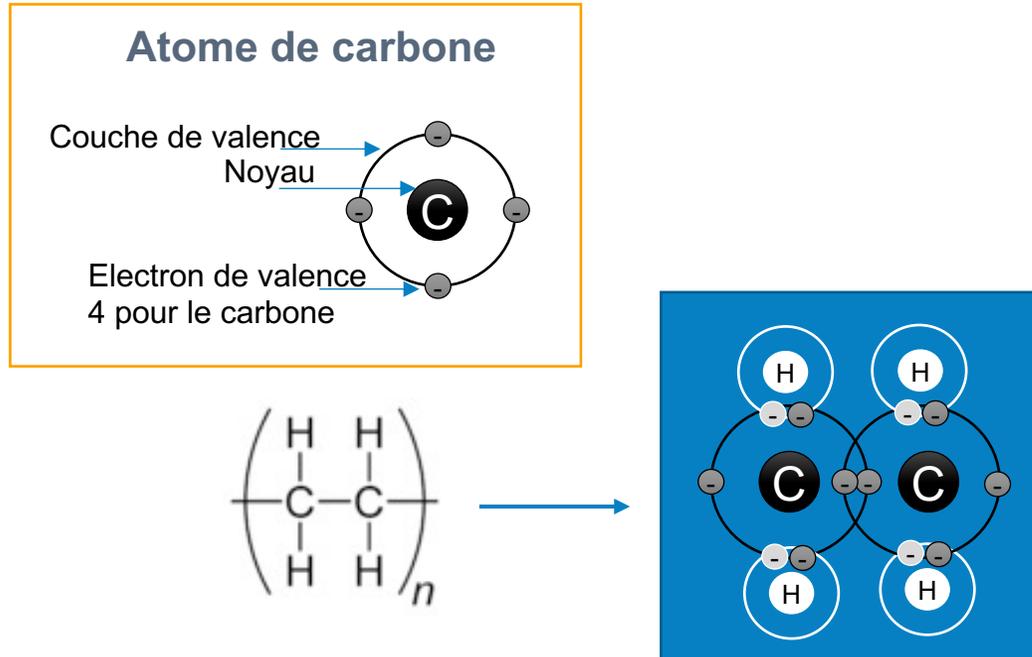


Certains élastomères ont un comportement proche de celui des thermoplastiques.

Les spécificités des thermoplastiques

Types de liaisons chimiques et effet sur les propriétés

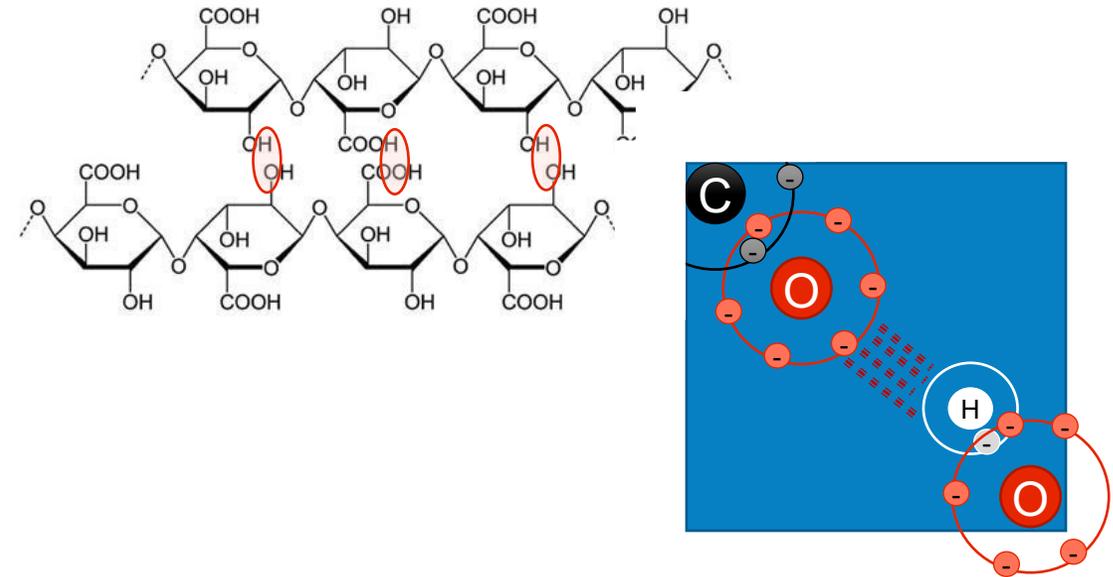
Liaisons covalentes



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.



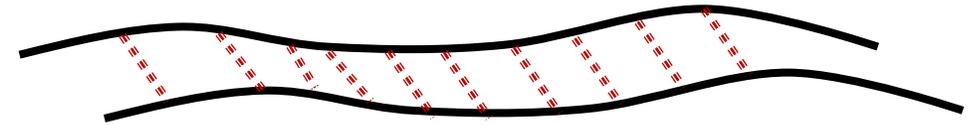
Energie de dissociation = 100 à 1000 kJ.mol⁻¹



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⁻¹

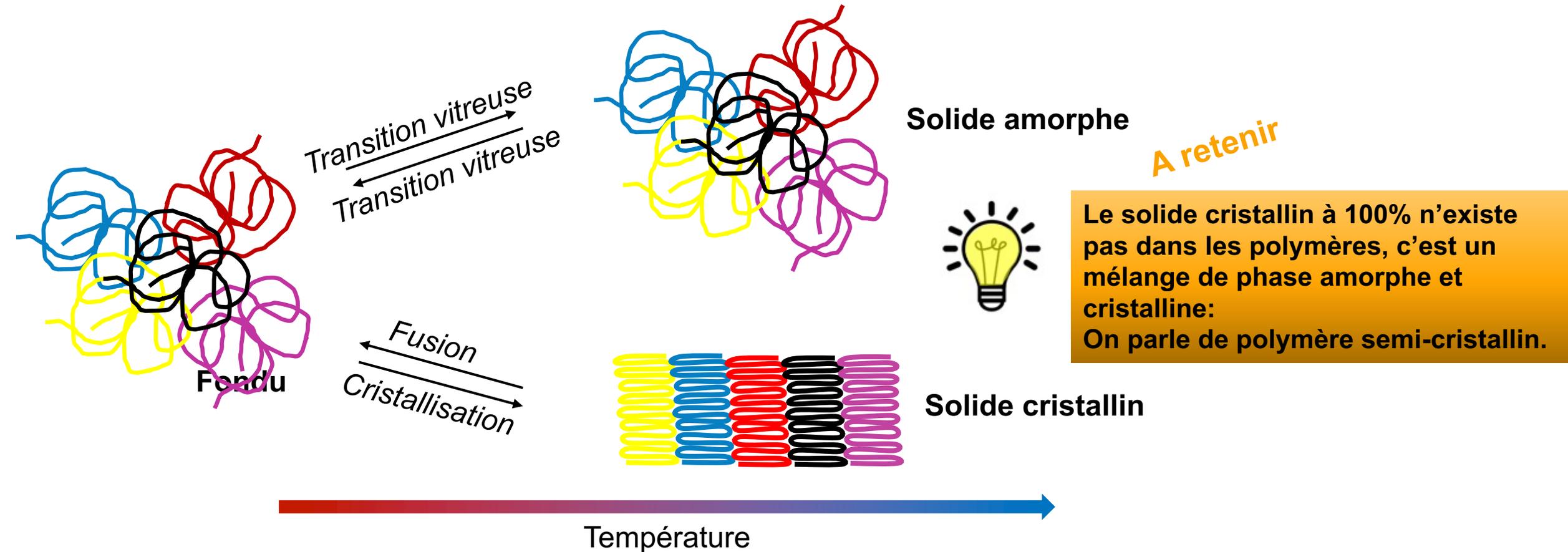


Elles se cassent sous l'effet de la chaleur ou d'un rayonnement.



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

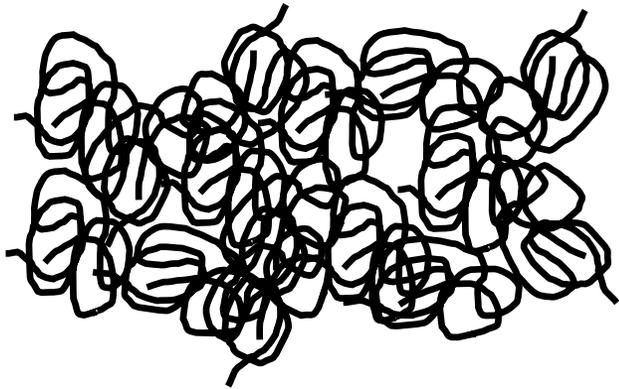


**Il faut dépasser la transition vitreuse pour faire s'écouler un thermoplastique amorphe.
Il faut chauffer davantage en dépassant la température de fusion pour faire s'écouler un thermoplastique semi-cristallin.**

Bilan

Il existe deux types de thermoplastiques:

Thermoplastiques amorphes



1 transition thermique
 T_g (réversible)

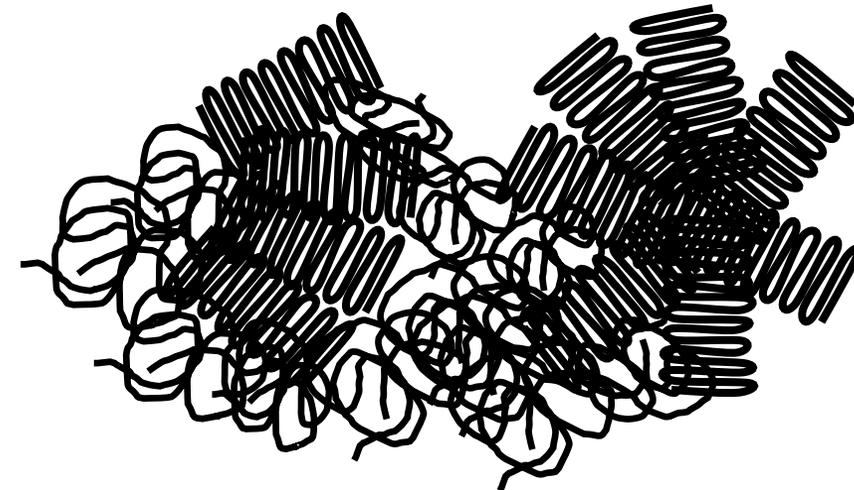


A retenir

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

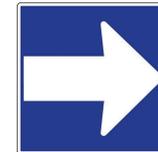
- Structure du polymère
- Composition: renforts et additifs
- Homogénéité du matériau

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

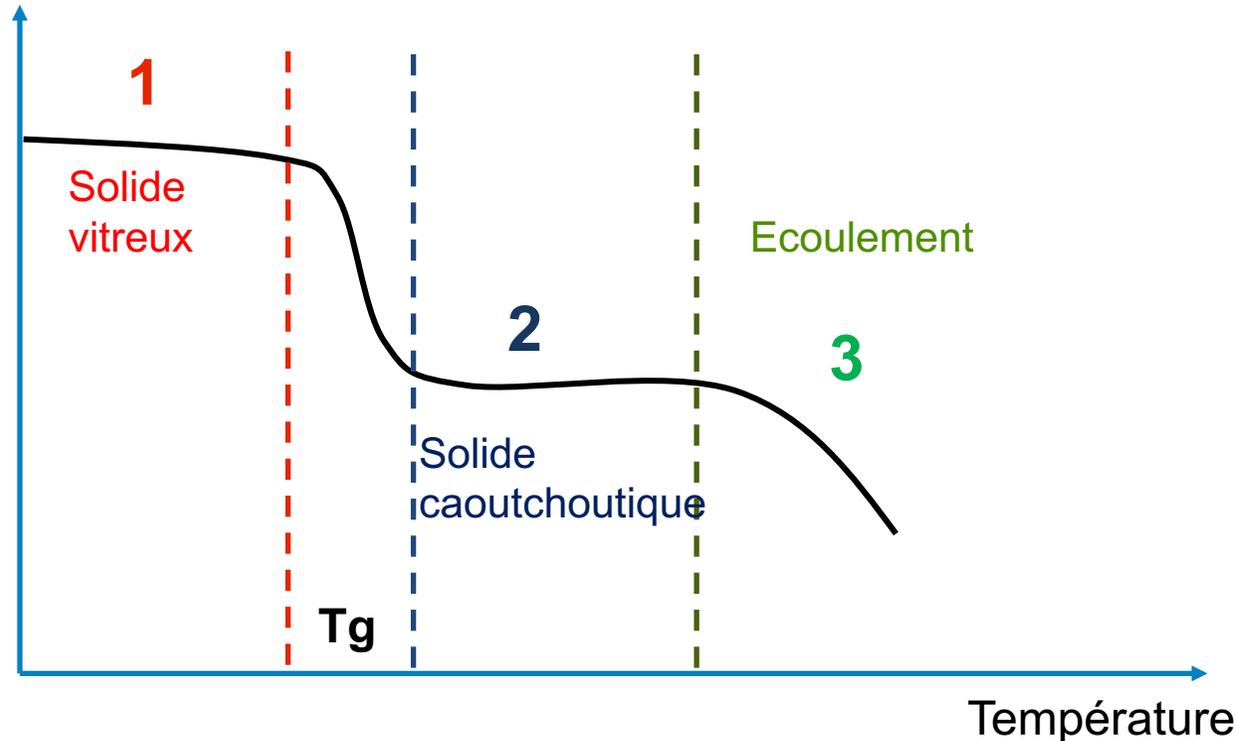
Solide vitreux

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

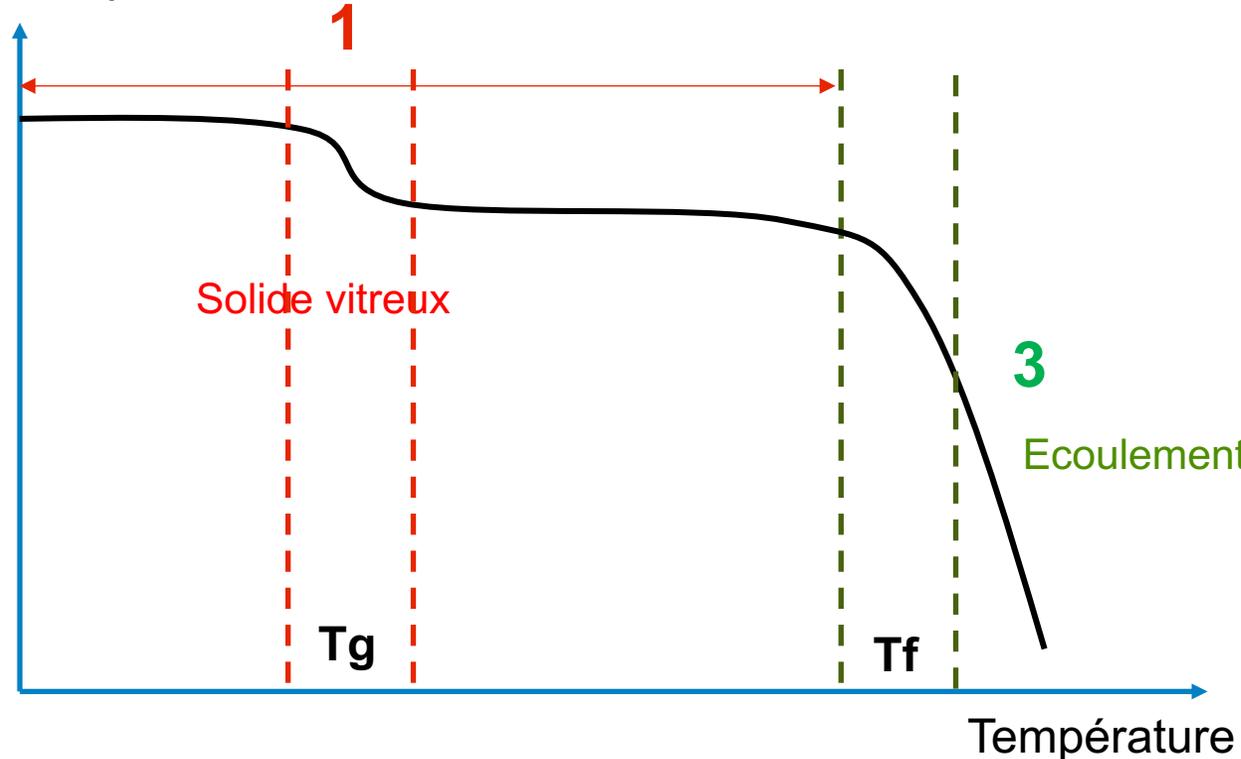
T_g

Solide caoutchoutique
+ Solide cristallin

T_f

Liquide visqueux

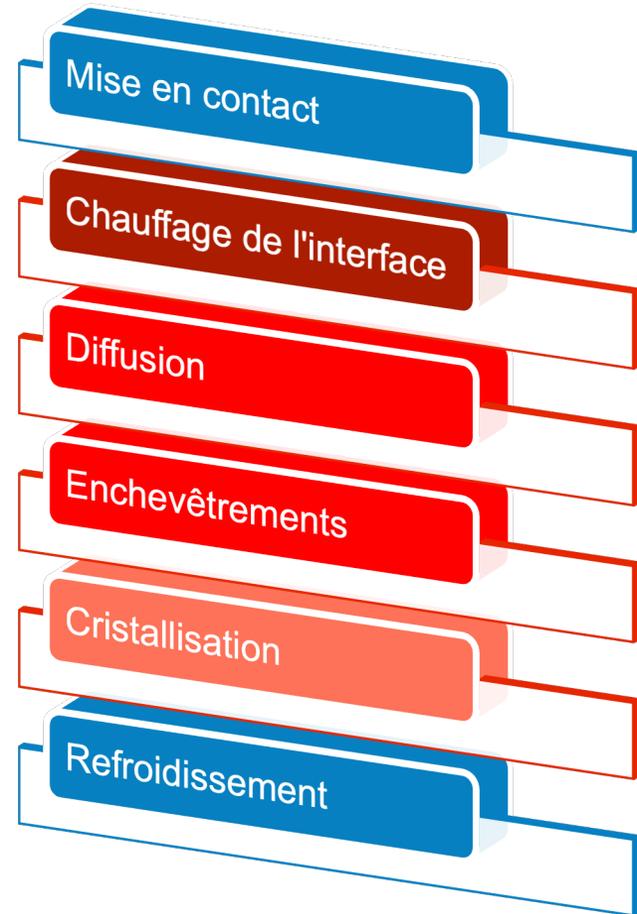
Module
élastique E



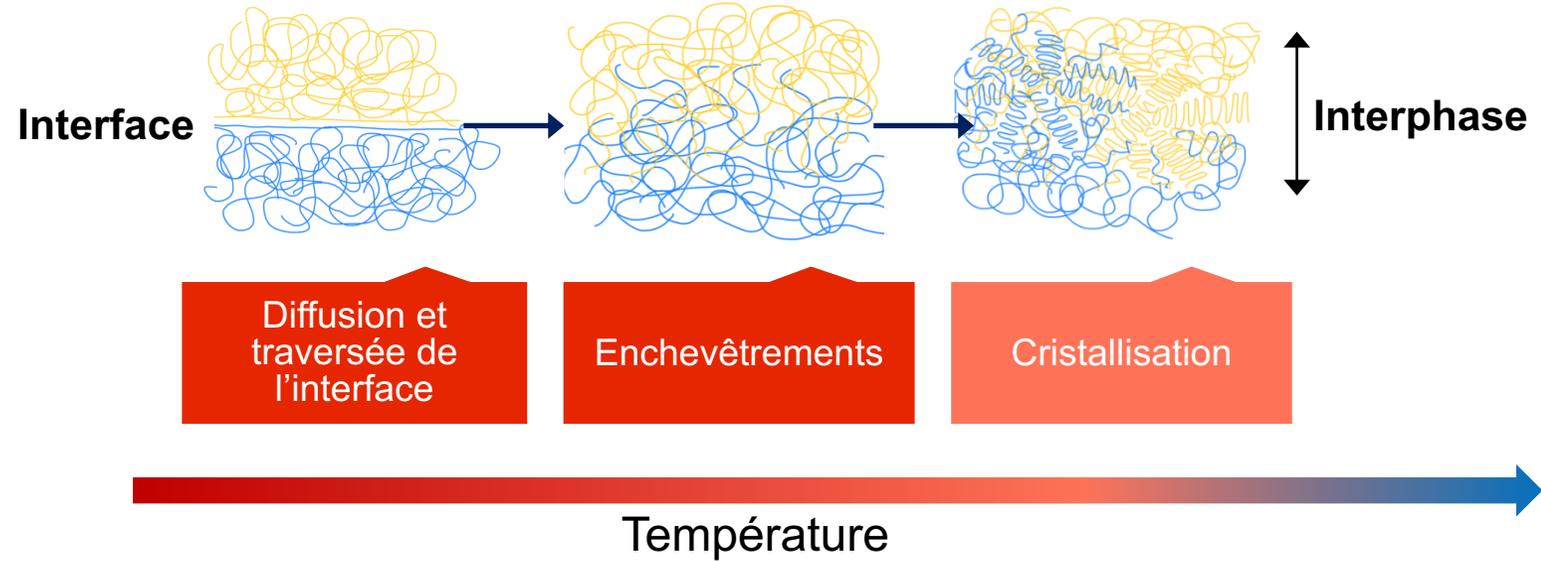
- **Comportement élastique**
 - 1 • Mouvement moléculaire à faible distance
 - Sollicitation des liaisons faibles
- **Comportement viscoélastique**
 - 3 • Mouvement moléculaire à très grande distance
 - Glissement des molécules les unes sur les autres : frottement moléculaire
 - Sollicitation des liaisons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

