Les polymères semi-cristallins : les propriétés qui ont permis leur essor

Olivier LAME

INSA-Lyon, MATEIS lab, UMR5510, F-69621, Villeurbanne, France

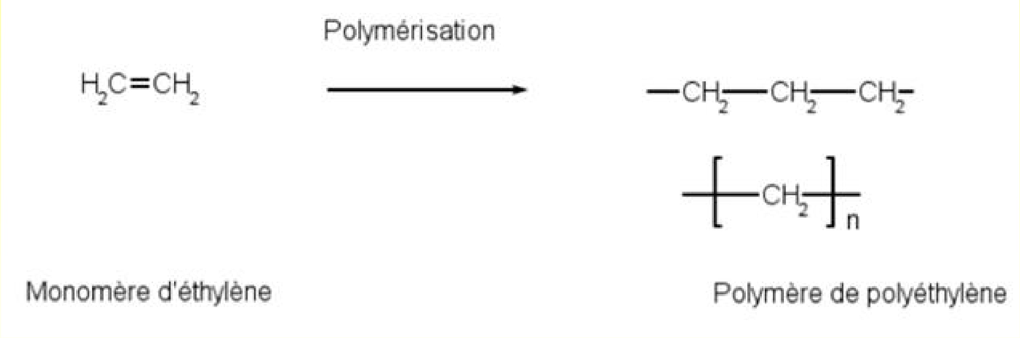
Plan

- Qu'est-ce qu'un polymère semi-cristallin?
- Origine physique des propriétés mécaniques
- Mécanismes de déformations plastiques
- Conclusions

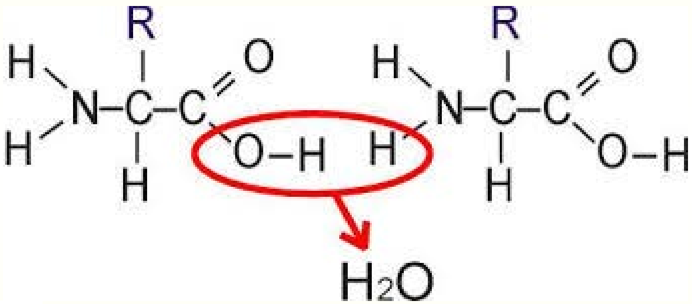
polymérisation

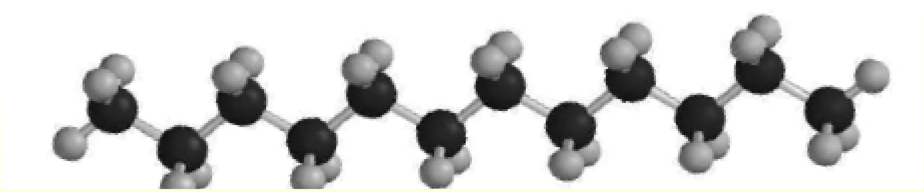
PVC : 1836 puis 1926
PE : 1933
PA : 1936
PTFE : 1938
PET : 1941
PP : 1951

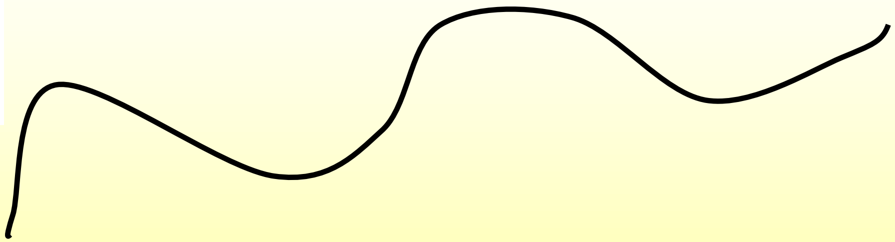
Polyéthylène



Polyamides





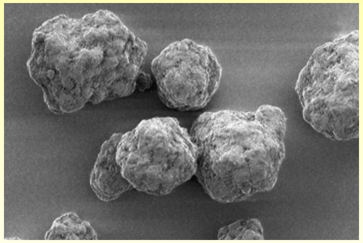


Longueur de chaines très variable : de quelques monomères au million de monomères

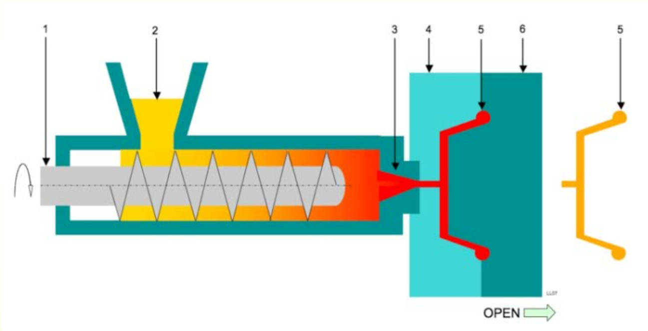
Polydispersité également très variable, souvent souhaitée

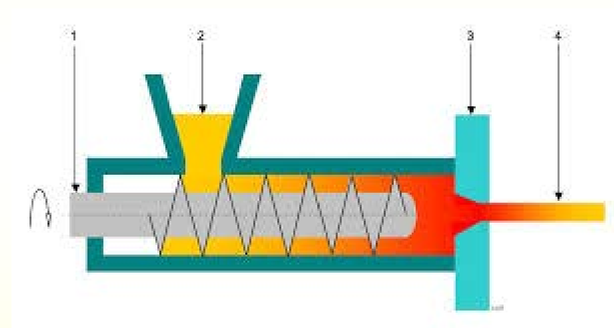
Mise en forme

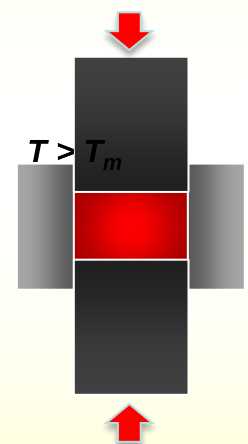
Poudres natives



Procédés de mise en forme





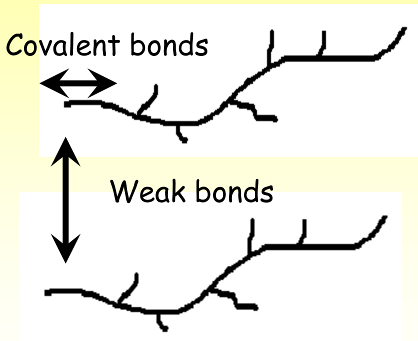


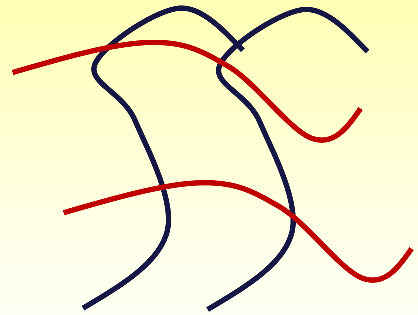
Masse molaire (Mn)

$$\eta \propto (Mn)^3$$

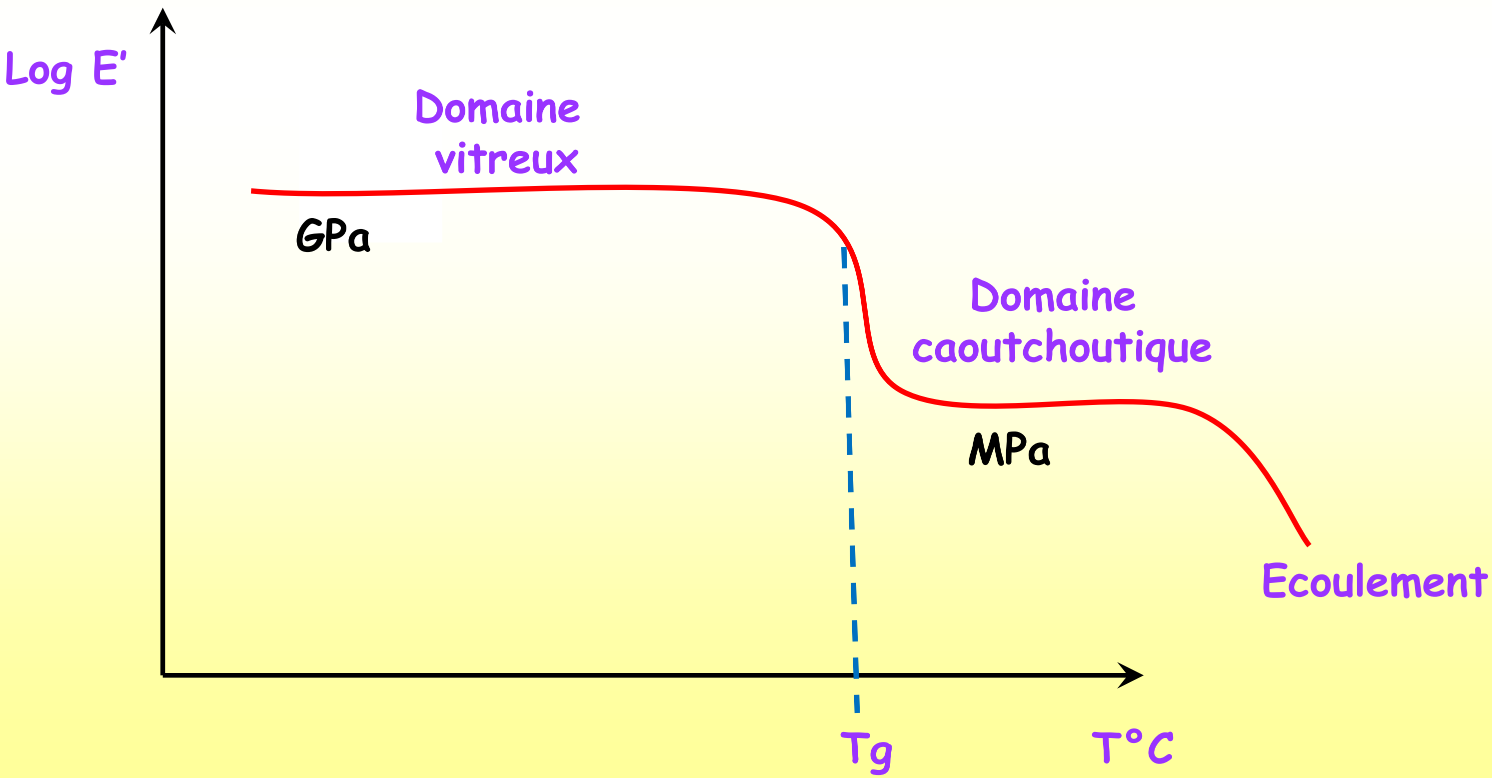
Origine de la résistance mécanique

Pour un polymère amorphe



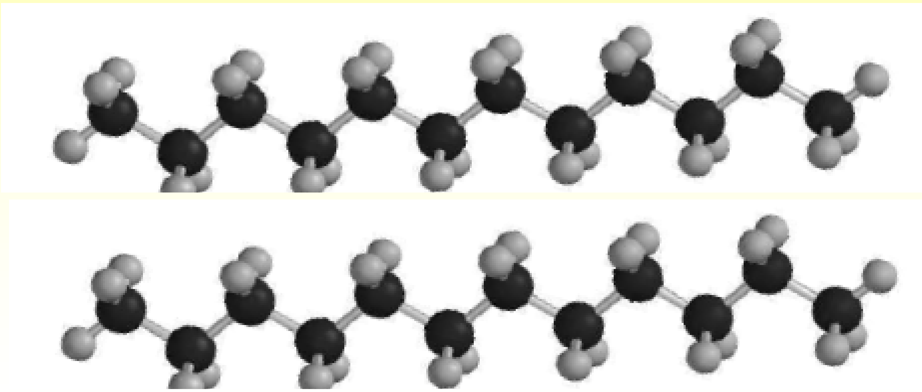


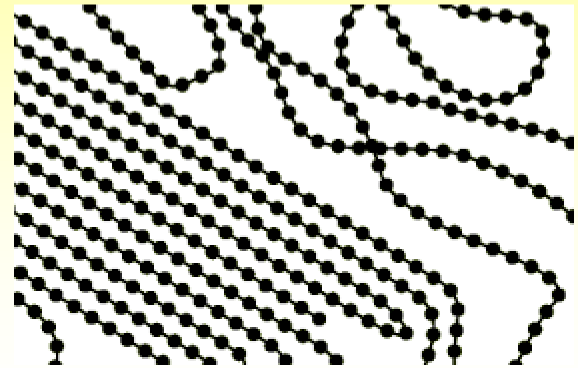
Réseau d'enchevêtrements



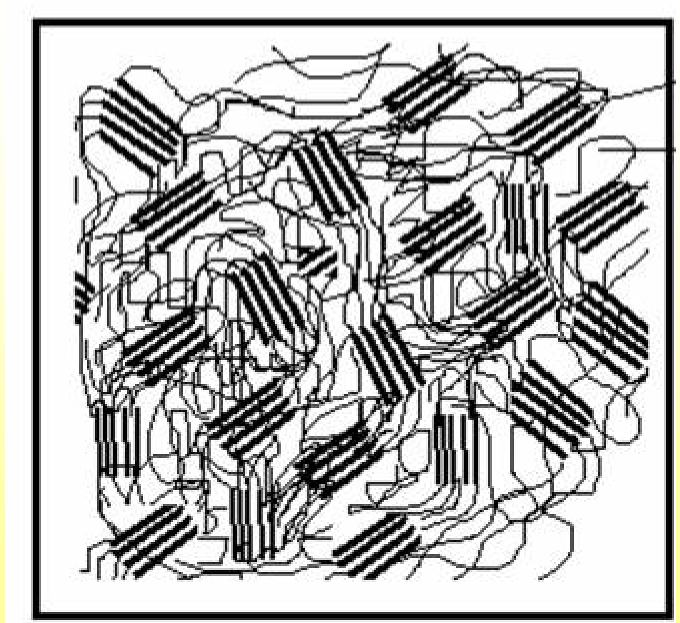
Origine de la résistance mécanique rôle des cristaux

Condition de cristallisation





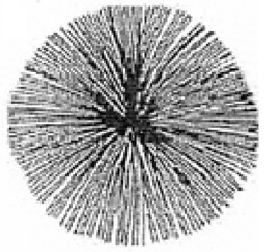
Le réseau cristallin vient « brider » le réseau caoutchoutique

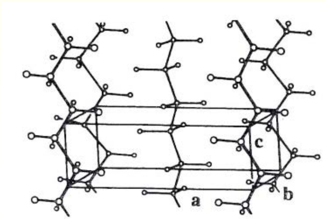


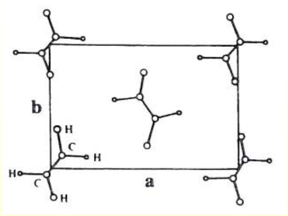
Origine de la résistance mécanique

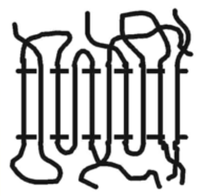
Exemple : polyéthylènes, Cristallinité > 50%

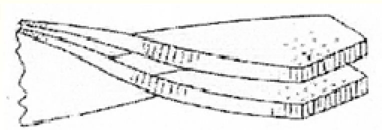
Microstructure complexe fortement multi-échelle
Matériau 'composite ' : deux phases différentes (cristalline et amorphe

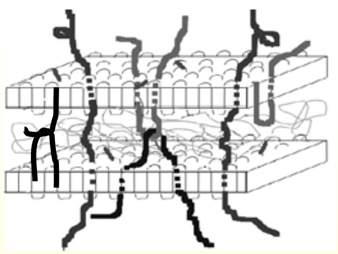


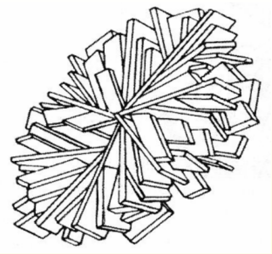






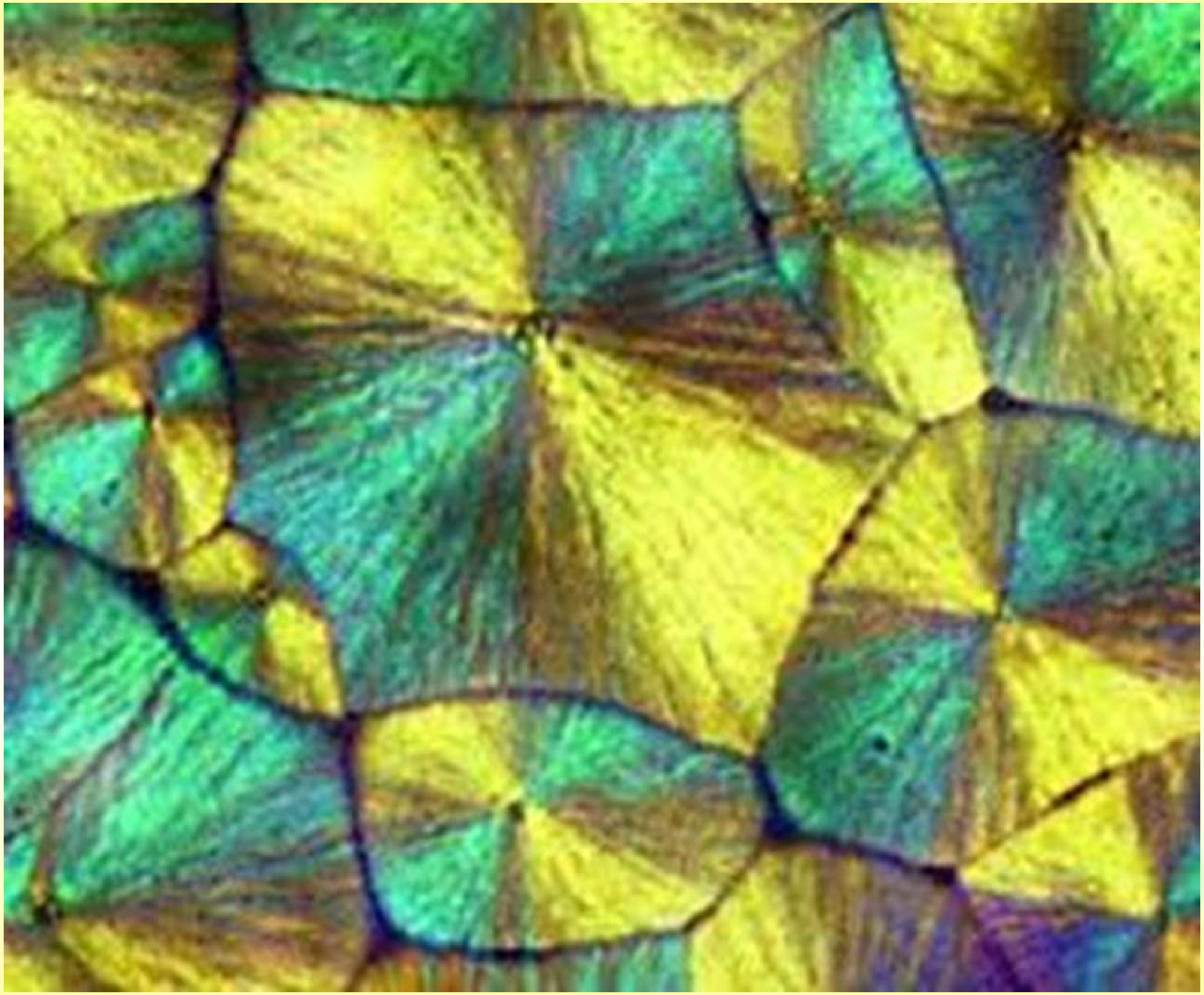




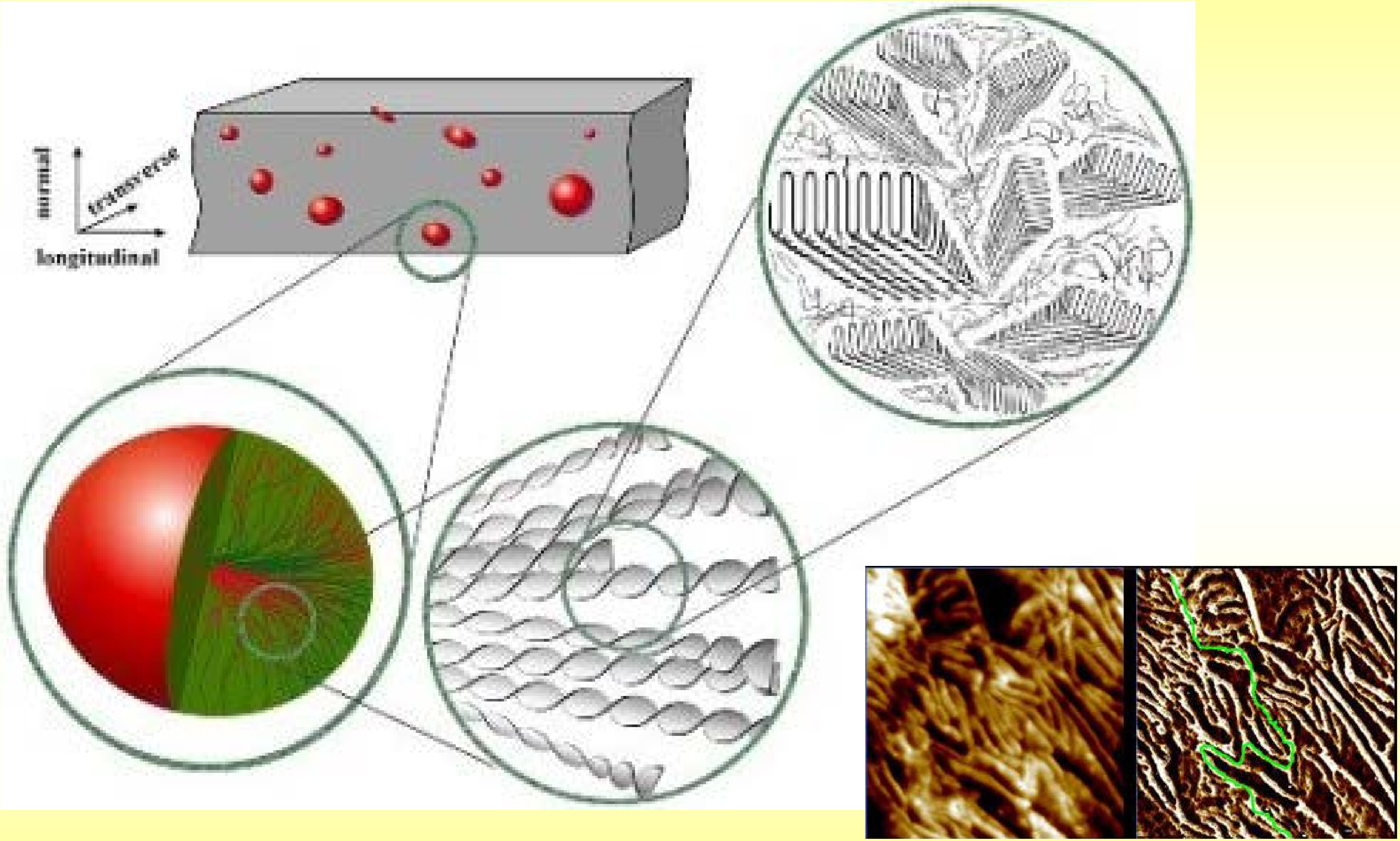


quelques angströms	quelques angströms	dizaine de nm	quelques dizaines de nm	dizaine de µm
Monomères et Comonomères	Maille cristalline	Lamelle Cristalline (épaisseur)	Empilement lamellaire	Agrégats Polycristallins (Sphérolites)

Origine de la résistance mécanique



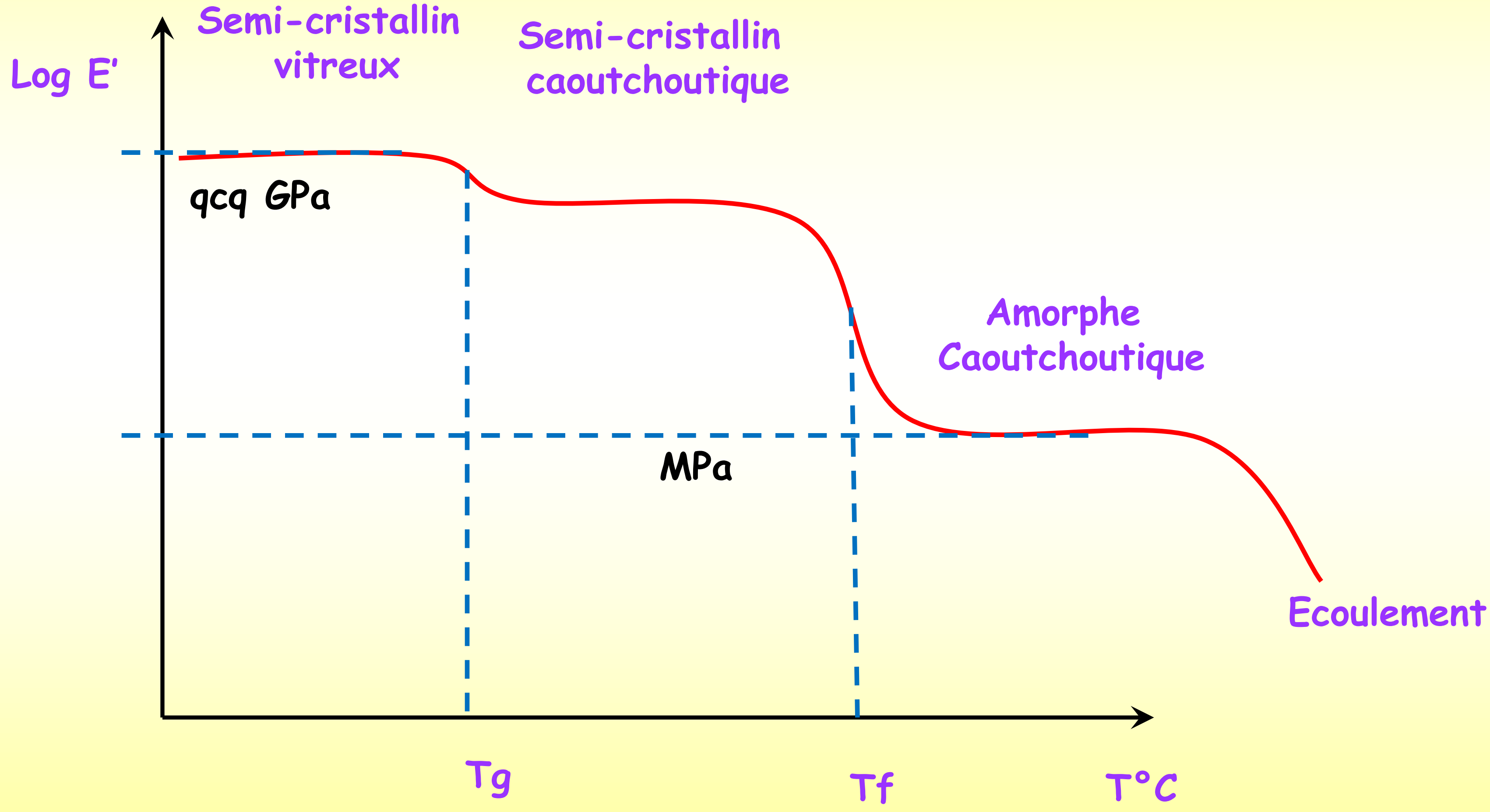
Origine de la résistance mécanique



1.5μm

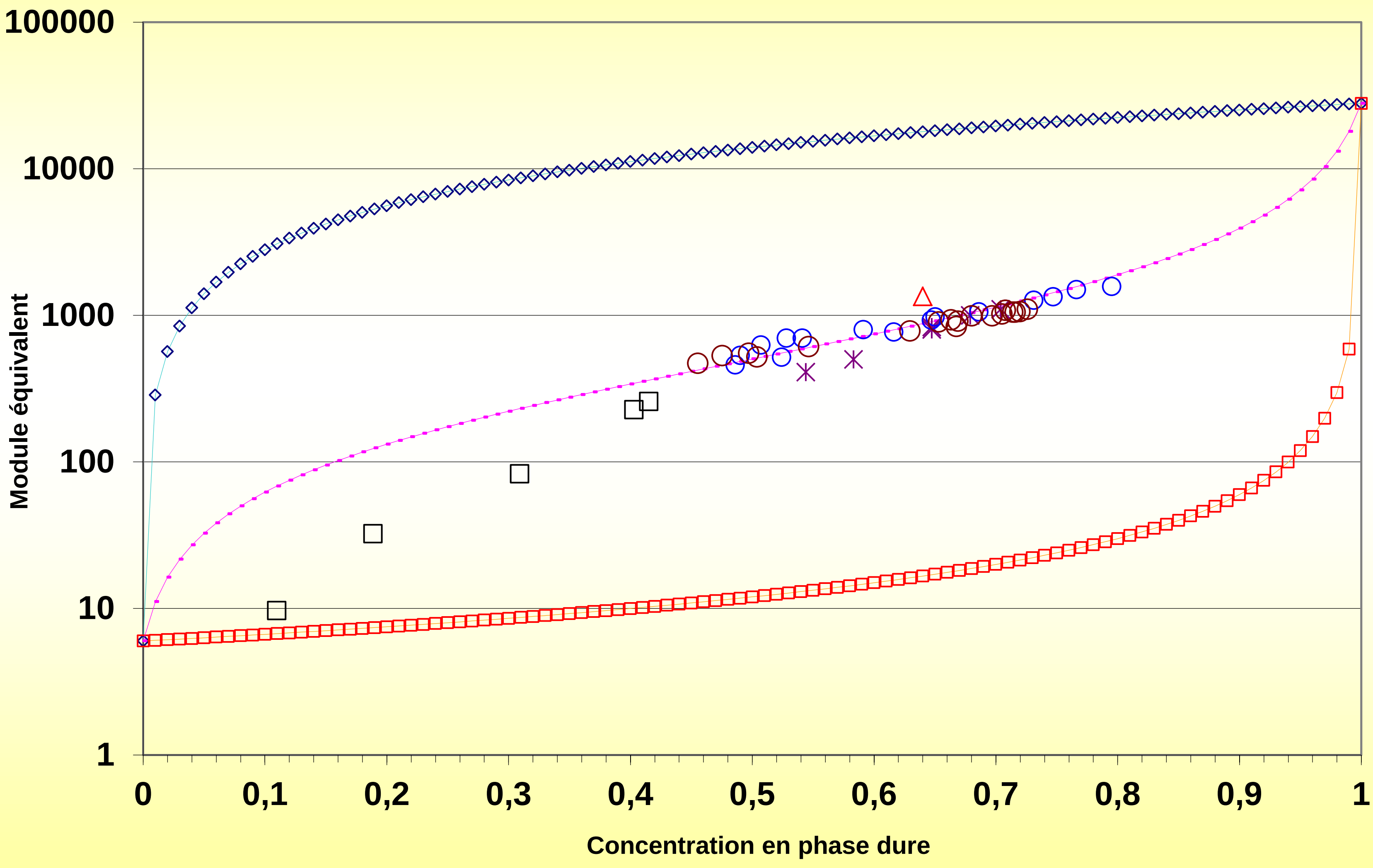
Origine de la résistance mécanique

Exemple : polyéthylènes, Cristallinité > 50%

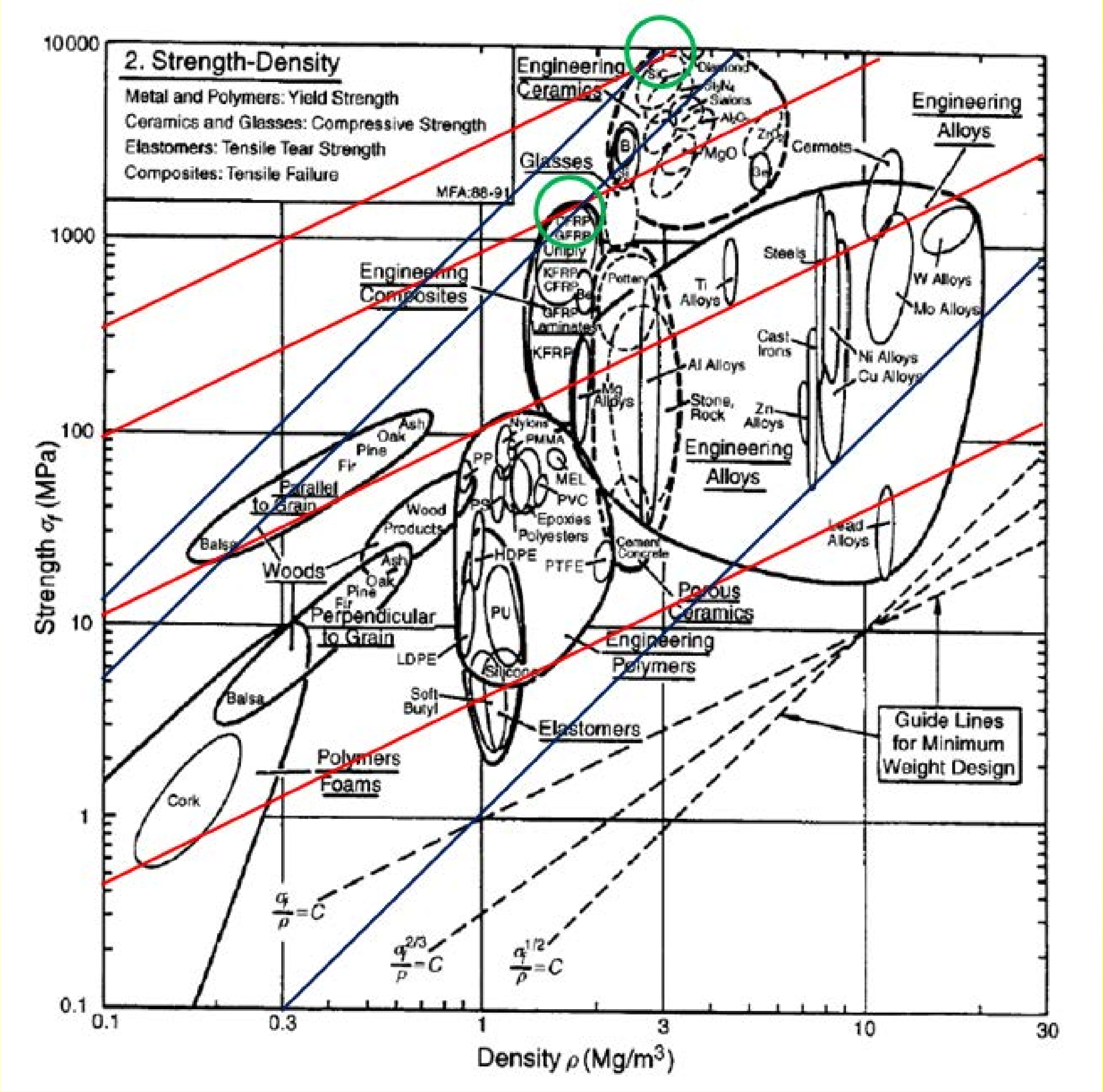


Notion de couplage mécanique

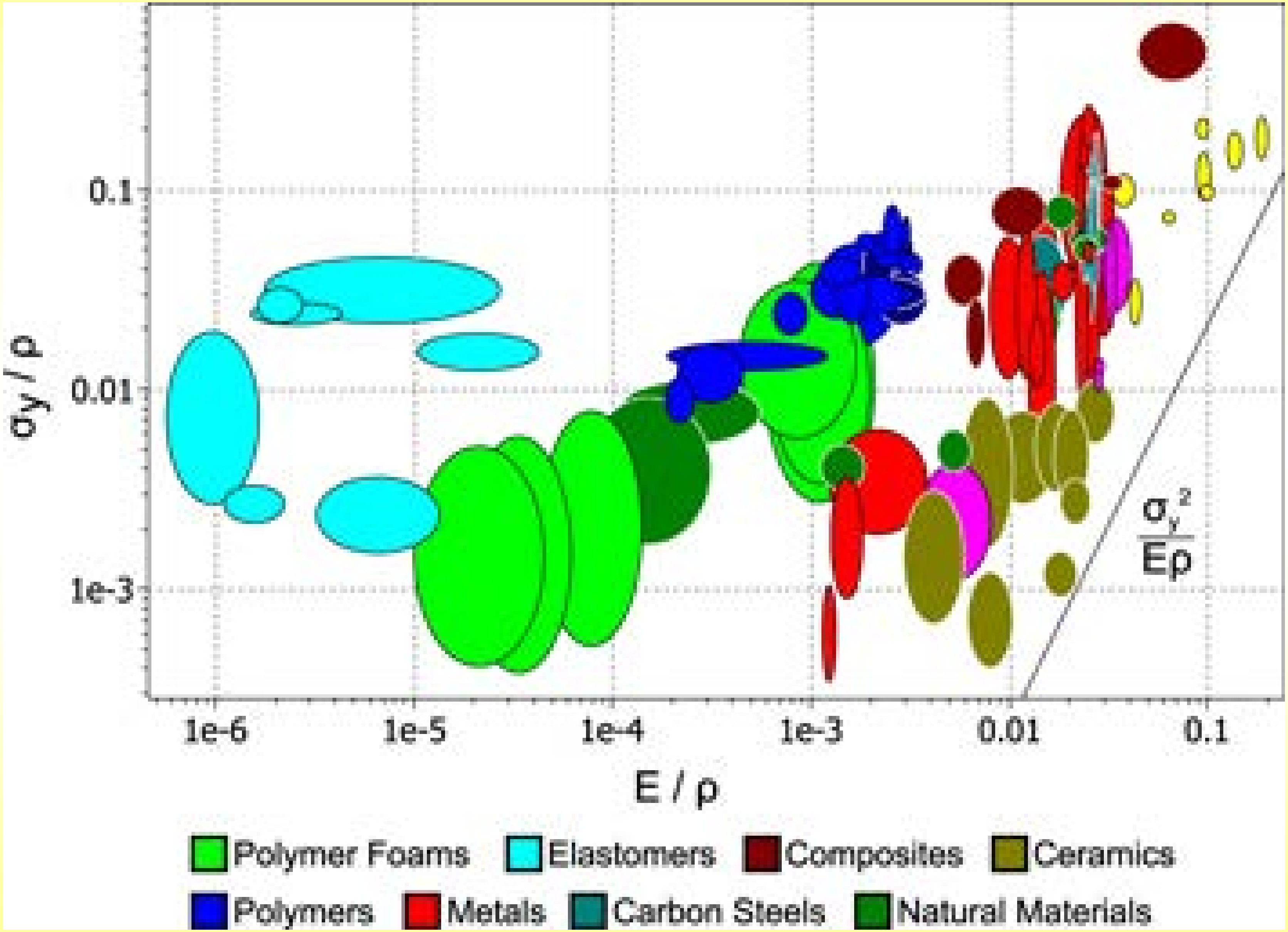
Exemple : polyethylènes



Comparaision avec d'autres matériaux

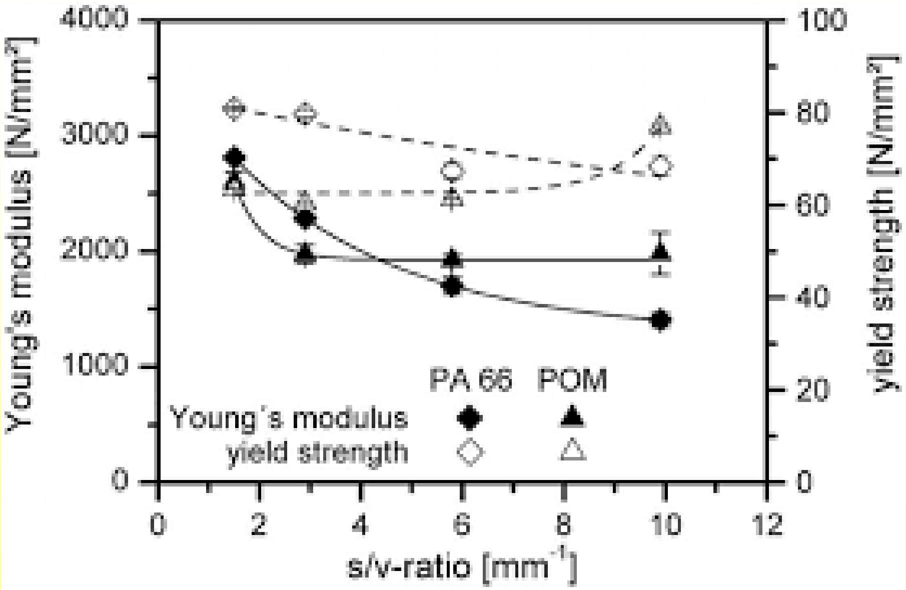


Comparaision avec d'autres matériaux

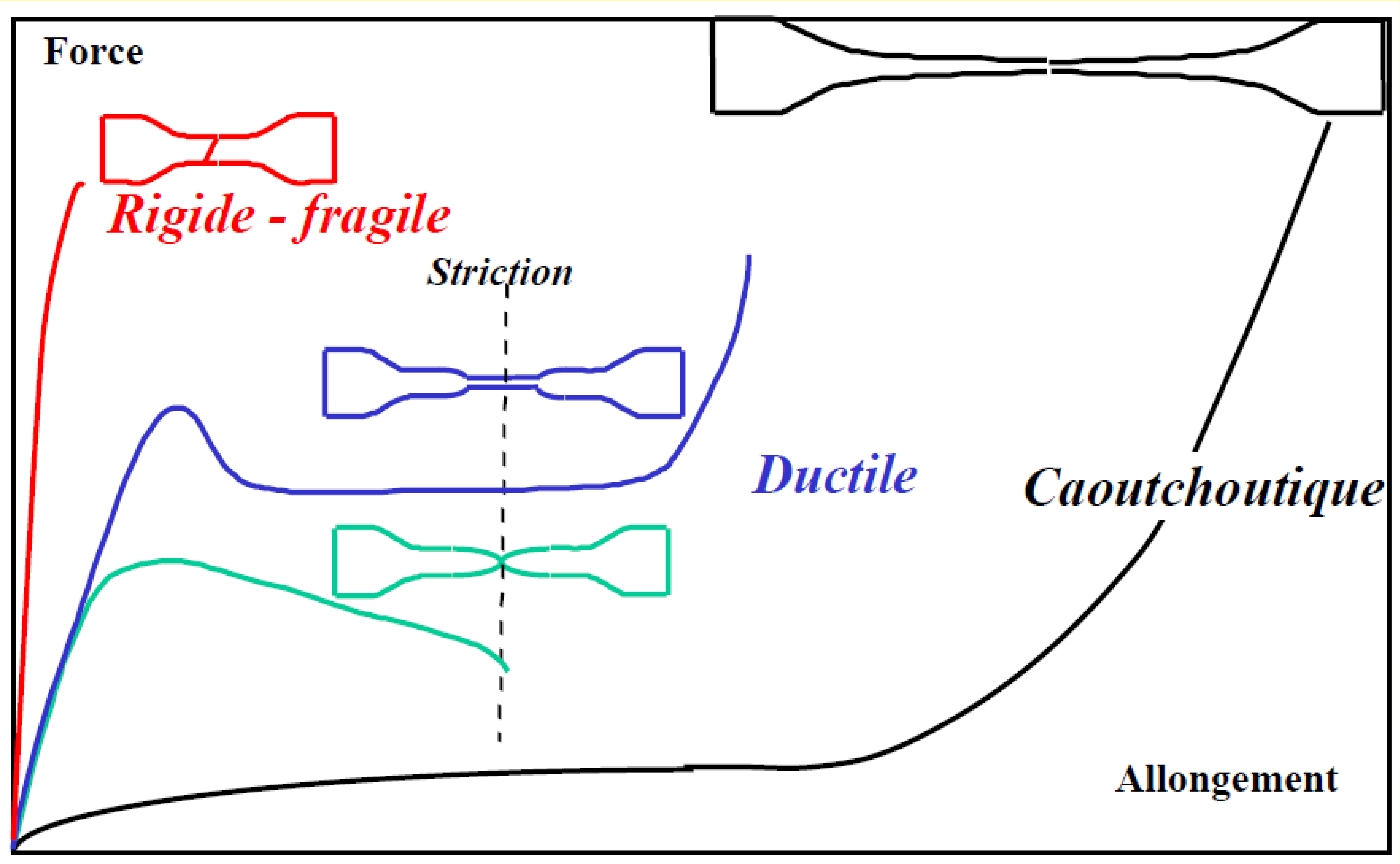


Exemples d'utilisation

Exemples d'utilisation

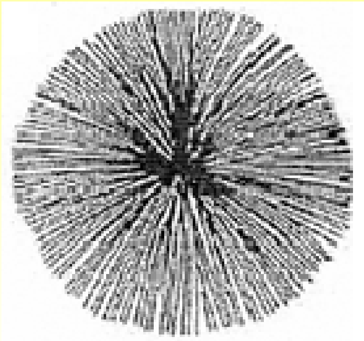


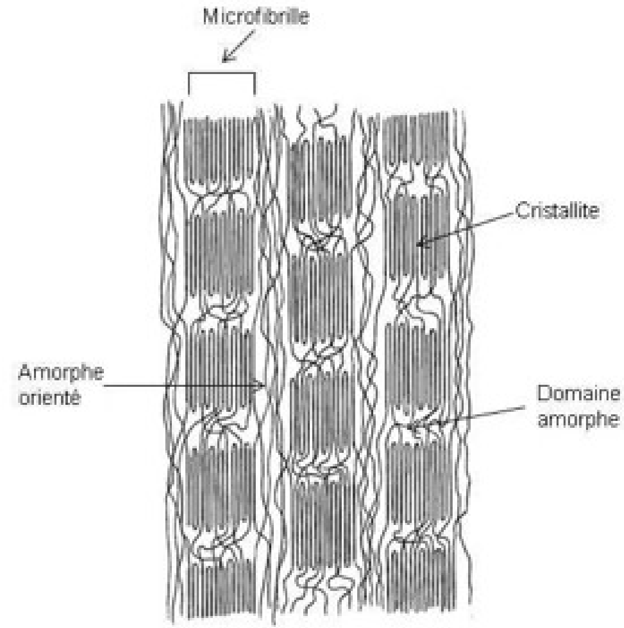
Plasticité

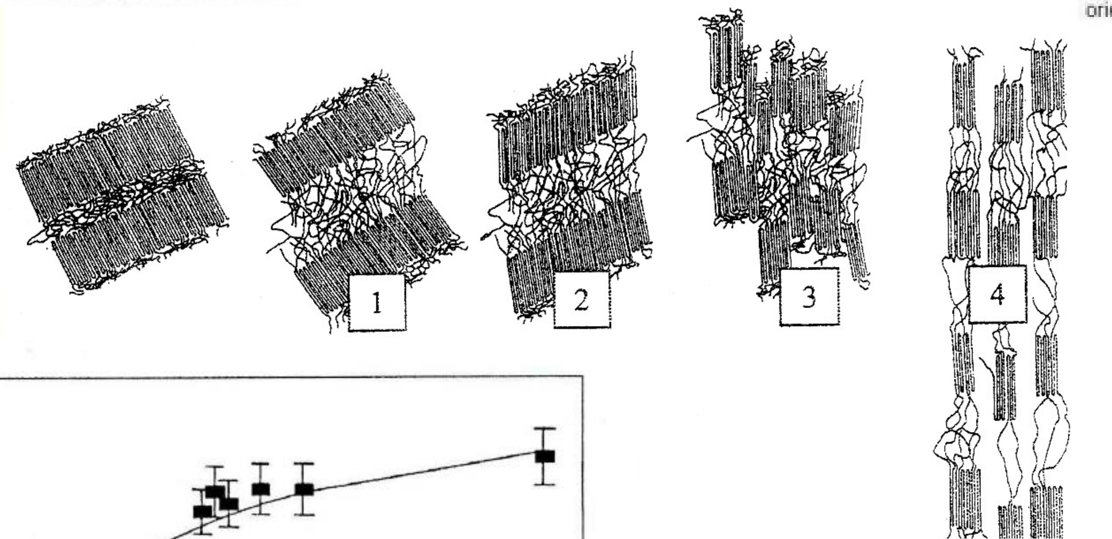


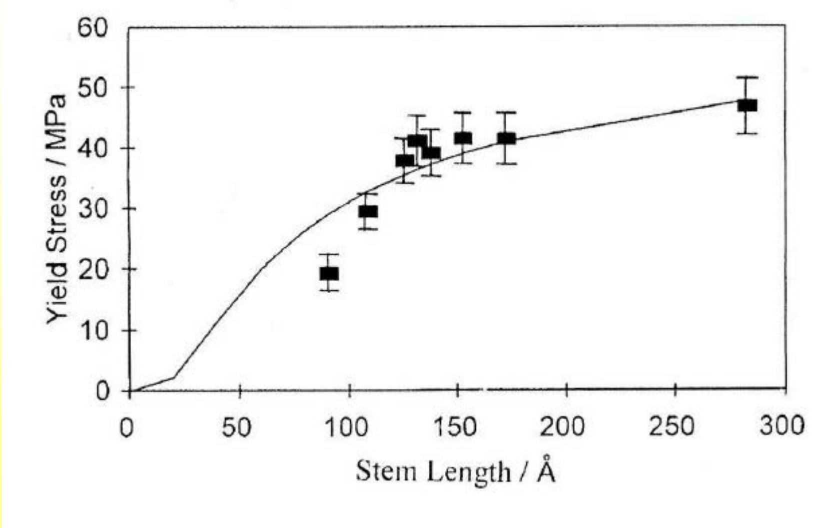
Force
Rigide - fragile
Striction
Ductile
Caoutchoutique
Allongement

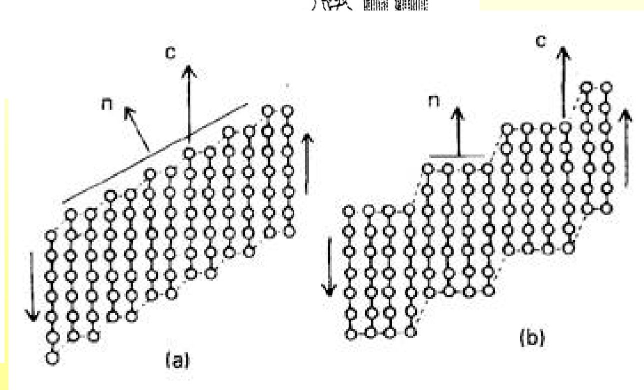
Plasticité




Microfibrille
Cristallite
Amorphe
orienté
Domaine
amorphe

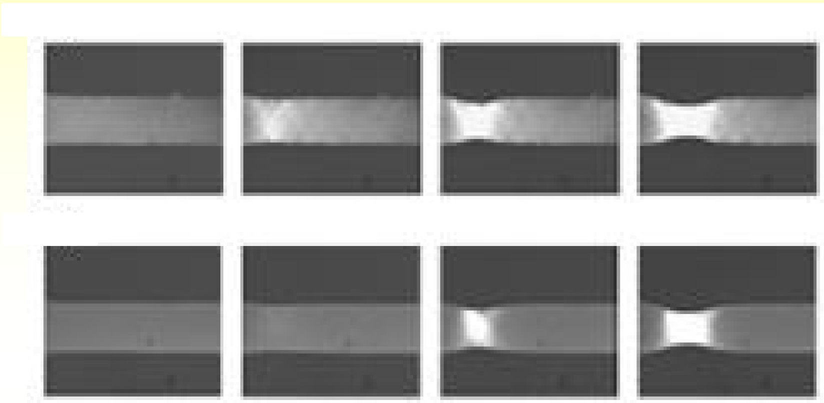

1
2
3
4


60
50
40
30
20
10
0
Yield Stress / MPa
0
50
100
150
200
250
300
Stem Length / Å

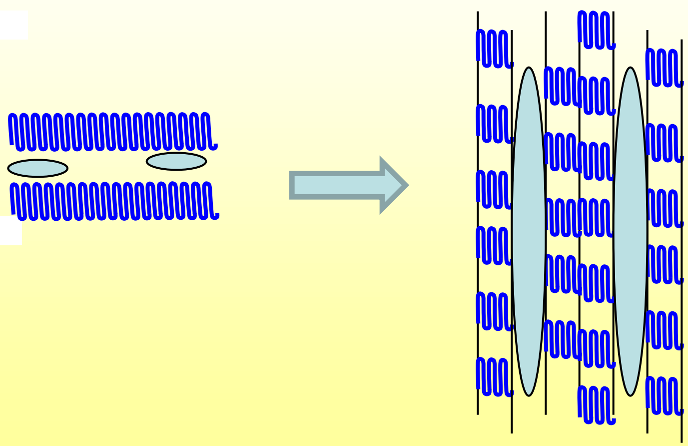

c
n
(a)
c
n
(b)

Plasticité

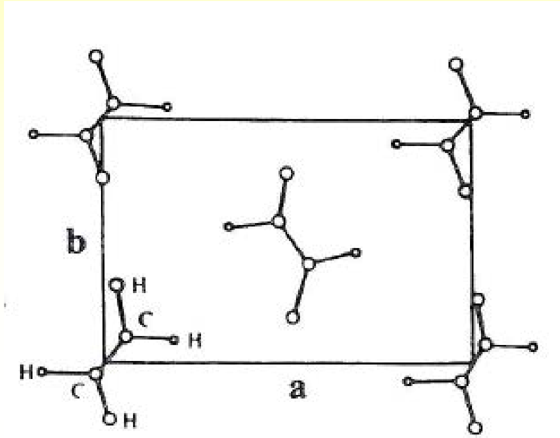
Cavitation

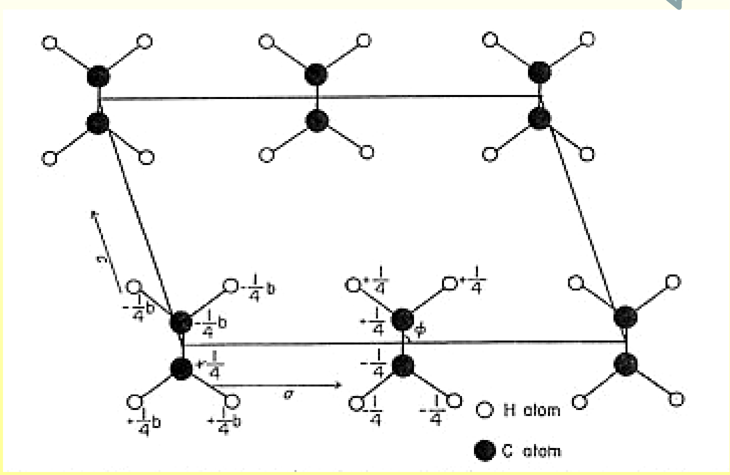


Déformation



Changement de phase : Transformation martensitique

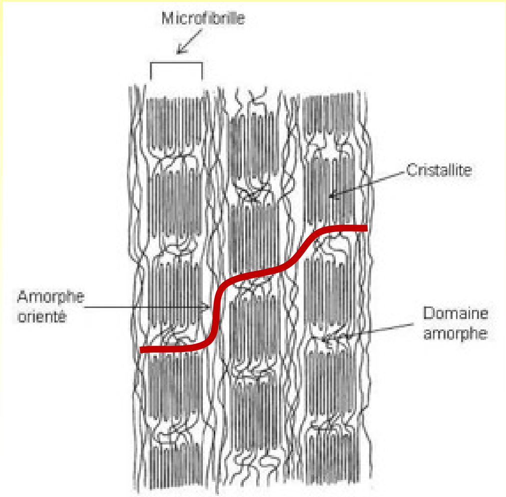


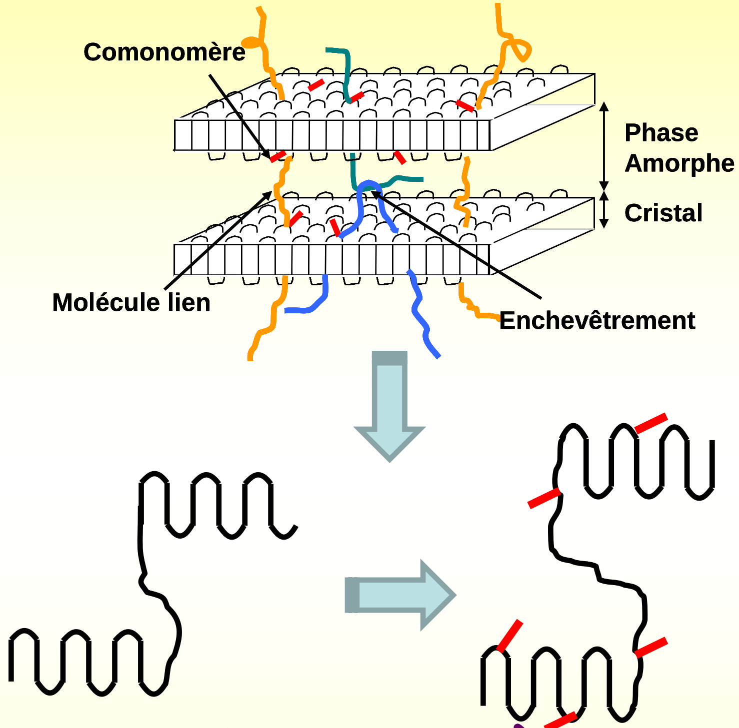


Plasticité

Propriétés de rupture ou de long-terme

Rupture du polymère





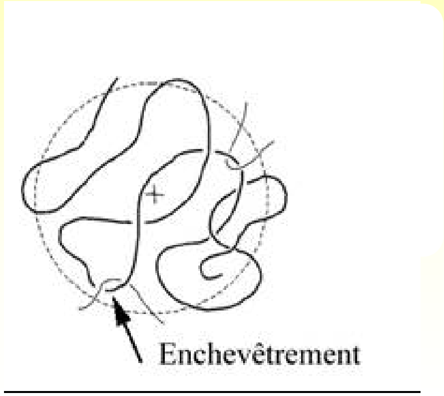
Tubes PE

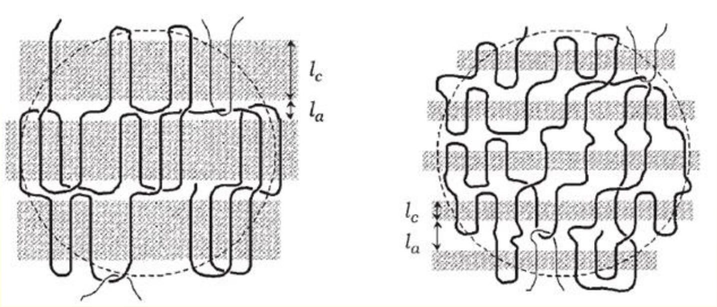
Co-monomère

Plasticité

Propriétés antichoc et usure

Stratégie extrême : toutes les chaines sont liantes





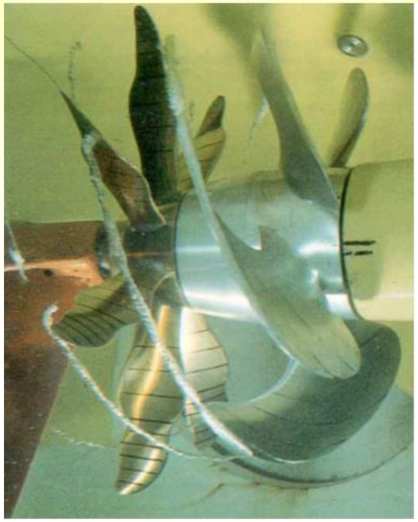
UHMWPE 1 à 10 Mg/mol:

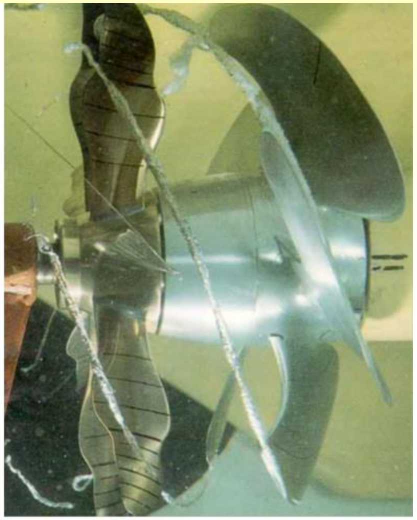
Lp≈20nm
Rg≈100nm

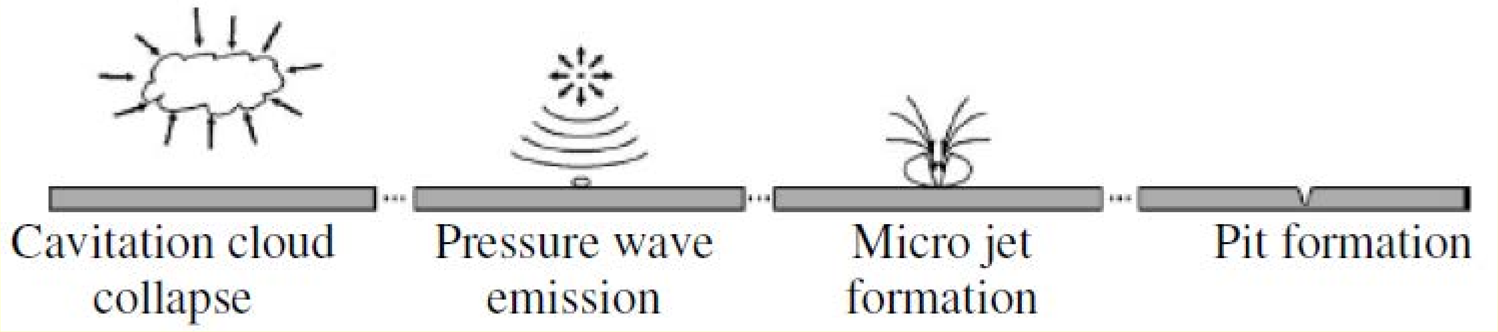
Gillet pare-balles

Prothèses

Revêtement UHMWPE : résistance à l'érosion de cavitation



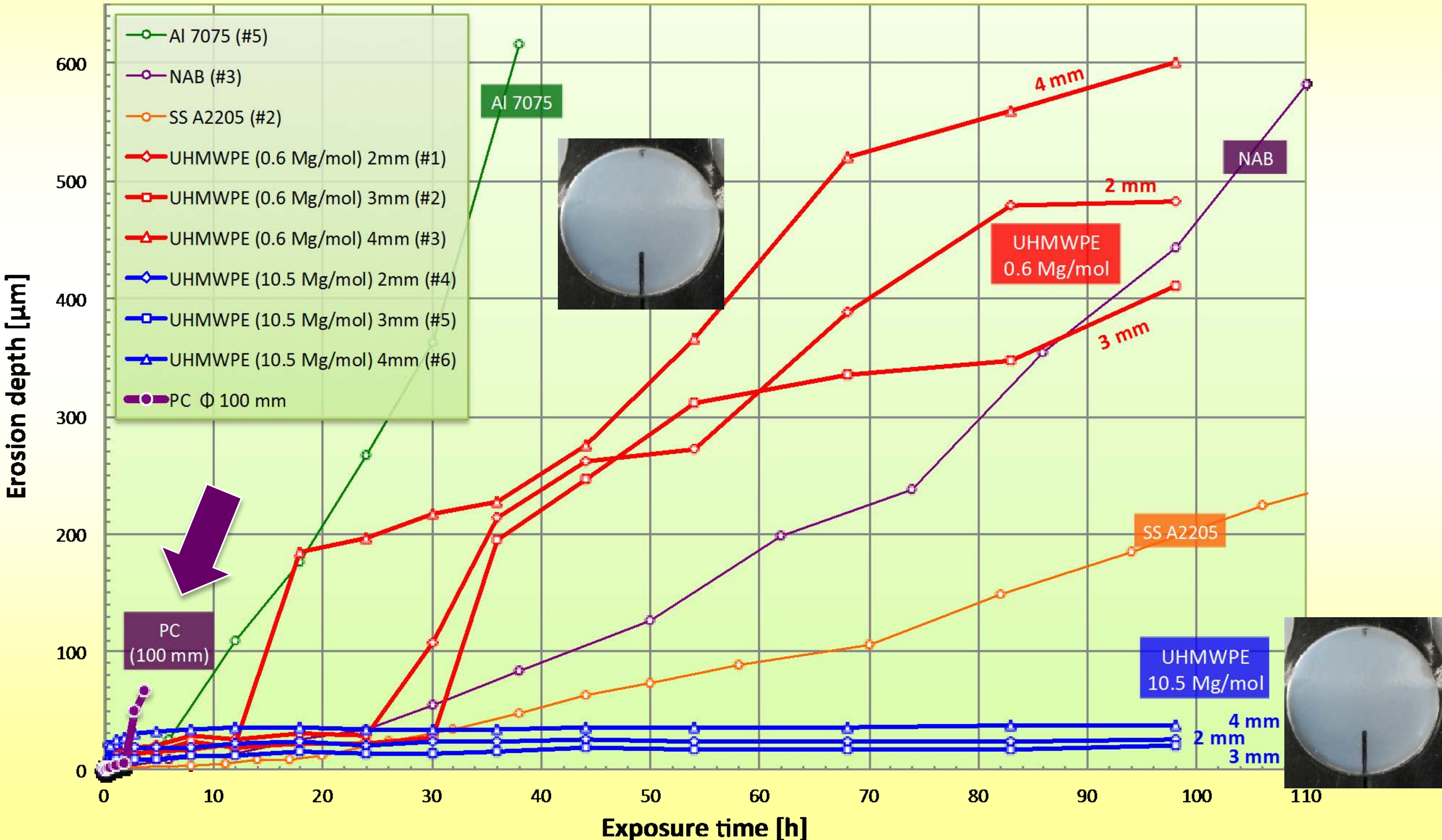




Plasticité

Revêtement UHMWPE : résistance à l'érosion de cavitation

Kinetics of erosion – Comparison with UHMWPE and NICOP metallic alloys



Conclusions

- Les polymères semi-cristallins sont des nano-composites naturels dont les propriétés dépendent au moins autant des liaisons faibles que de liaisons covalentes.

- Le taux de cristallinité, l'état (vitreux / caoutchoutique) de la phase amorphe ainsi que la « cohésion » de la phase amorphe donnent accès à une très large gamme de propriétés

  - Fragiles
  - Ductiles
  - Visco-élastiques
  - Hyper-élastiques

- **Pour l'avenir**

  Bio-sourcé

Merci