



### **Epreuve collaborative 2025**

**« Et c'est le temps qui court »**

**1. Réalisez un schéma légendé indiquant les différents éléments constituant une prothèse de membre inférieur, en précisant la nature des matériaux utilisés et leur spécificité.**

*(Temps indicatif de présentation : 5 minutes)*

**2. Un athlète vous consulte car il souhaite remplacer sa prothèse cassée. Vous devez analyser la composition des différentes parties de sa prothèse défectueuse, comprendre les choix de matériaux utilisés par le fabricant précédent et si besoin proposer des modifications à apporter. Tout résultat numérique doit être commenté.**

*(Temps indicatif de présentation : 13 minutes)*

## **DOCUMENT 1** Les prothèses sportives

D'après Ossür, <https://www.ossur.com/fr-fr/solutions-protheses/les-solutions-sport>

L'histoire des prothèses montre l'évolution de l'ingéniosité humaine et de la résilience face aux défis. Depuis l'Antiquité, des dispositifs simples ont été conçus pour remplacer des membres perdus, offrant principalement stabilité et mobilité. Les premières prothèses, fabriquées en bois, en cuir ou en métal, se limitaient à une fonction de support, sans vraiment prendre en compte le confort de l'utilisateur ou la capacité à reproduire des mouvements naturels. Ce n'est qu'à partir du XX<sup>e</sup> siècle, avec les avancées technologiques et médicales, que les prothèses sont devenues plus performantes et plus adaptées aux besoins spécifiques des utilisateurs.

Aujourd'hui, les prothèses destinées aux athlètes représentent l'apogée de cette innovation. Ces dispositifs spécialisés permettent aux sportifs de repousser leurs limites grâce à un design optimisé pour le confort, la stabilité et les performances dans des conditions de haute intensité. Voici les principaux composants d'une prothèse pour membre inférieur, conçus pour répondre aux exigences spécifiques des athlètes :

**Le Manchon**, situé à l'intérieur de la prothèse, est en contact direct avec la peau de l'athlète. Son rôle est de fournir un soutien confortable en réduisant les frottements et en répartissant la pression uniformément. Le manchon doit combiner souplesse, pour s'adapter parfaitement à la forme du moignon, et une bonne capacité d'absorption des impacts pour amortir les chocs. De plus, il doit offrir une adhérence suffisante pour éviter tout glissement dans l'emboîture, permettant à l'athlète de garder un contrôle total sur sa prothèse. Enfin, dans les activités sportives intenses, la gestion de la transpiration est cruciale pour éviter les irritations, et le manchon doit donc permettre une bonne évacuation de l'humidité.

**L'Emboîture** est la structure externe de la prothèse, qui enveloppe et soutient le manchon et le moignon. Elle relie solidement le membre de l'athlète aux autres composants de la prothèse. Pour un confort optimal, elle doit être moulée précisément à la forme du moignon, ce qui réduit les points de pression. Sa composition doit lui permettre de supporter des pressions répétées sans se déformer, assurant ainsi une durabilité et une stabilité parfaites pour les mouvements intenses.

**Le Système de Fixation** relie l'emboîture au reste de la prothèse, assurant ainsi une fixation solide. Souvent composé d'un alliage métallique rigide, il doit garantir que la prothèse reste en place même sous de fortes contraintes, ce qui permet à l'athlète de se mouvoir en toute confiance. Le système de fixation doit aussi être rapide et intuitif à utiliser pour que l'athlète puisse facilement attacher et retirer la prothèse, ce qui contribue à réduire les risques de blessure.

Dans le cas des prothèses conçues spécifiquement pour les performances de course, le dispositif comprend **une lame de course**, blade en anglais, aux formes incurvées, permettant aux athlètes de gagner en vitesse et en puissance. Elle restitue une partie de l'énergie absorbée lors de l'impact au sol : elle produit un effet de rebond qui permet à l'athlète de courir plus vite et plus efficacement. Les Blades doivent résister aux chocs et aux sollicitations intenses sans se détériorer, même avec une utilisation prolongée. Elles doivent également être légères pour ne pas gêner les mouvements de l'athlète ou le ralentir en augmentant de manière trop significative sa masse totale.



## DOCUMENT 2 La chimie des matériaux

*D'après La chimie des matériaux hybrides, Clément Sanchez*

La chimie des matériaux est un domaine multidisciplinaire central, qui se situe au croisement de la chimie, de la physique et de l'ingénierie. Elle vise à concevoir et à optimiser des matériaux aux propriétés ciblées pour répondre aux besoins de secteurs variés. Ces matériaux modernes peuvent être classés en plusieurs familles distinctes en fonction de leur structure microscopique et de leur composition.

Les polymères sont des matériaux constitués de longues chaînes carbonées possédant la répétition d'un motif moléculaire, leur conférant légèreté, flexibilité et résistance chimique. Ils sont divisés en trois grandes catégories :

- Les thermoplastiques : tels que le polyéthylène ou le polypropylène, ils peuvent être chauffés, moulés et refroidis plusieurs fois sans altération de leurs propriétés, ce qui les rend recyclables mais moins résistants à l'usure.
- Les thermodurcissables : ces polymères comme les résines ou les polyuréthanes durcissent de manière irréversible sous l'action de la chaleur, offrant une grande rigidité et résistance thermique. Une fois formés, ils ne peuvent plus être fondus, ce qui les rend idéaux pour des structures permanentes.
- Les élastomères : ces polymères, comme le caoutchouc ou élasthane, se distinguent par leur élasticité. Ils peuvent s'étirer puis revenir à leur forme initiale, offrant ainsi une grande résilience et des propriétés d'amortissement. Cela les rend très adaptés aux situations qui demandent souplesse et absorption de chocs.

Les métaux et leurs alliages sont des matériaux durs et résistants, dotés d'une excellente conductivité thermique et électrique ainsi que d'une grande robustesse mécanique. Les métaux purs comme l'aluminium, le nickel ou le titane sont utilisés pour leur légèreté ainsi que pour leurs propriétés intrinsèques, tandis que les alliages (combinaisons de plusieurs éléments chimiques, comme l'acier) permettent d'améliorer certaines caractéristiques, comme la résistance à la corrosion ou à la déformation. Cette catégorie de matériaux est précieuse pour des structures durables et résistantes.

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité électrique est modulable, se situant entre celle des isolants et des conducteurs comme le silicium et le germanium. En dopant ces matériaux avec d'autres éléments chimiques, leur conductivité peut être ajustée de manière spécifique, rendant les semi-conducteurs essentiels dans les systèmes électroniques.

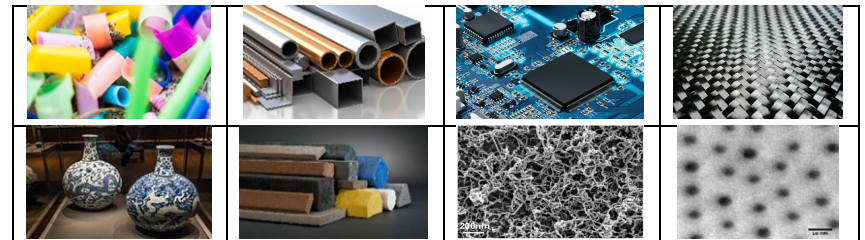
Les fibres de verre et de carbone sont des matériaux constitués de fibres très fines, offrant une combinaison unique de légèreté et de résistance. Les fibres de verre sont résistantes aux chocs, à la corrosion et aux changements de température tandis que les fibres de carbone offrent une rigidité et une résistance encore plus élevées, ainsi qu'une légèreté remarquable, ce qui en fait un choix privilégié pour des structures devant supporter des contraintes importantes tout en minimisant leur poids.

Les céramiques sont des matériaux inorganiques et non métalliques, fabriqués à partir de silicates, d'oxydes, de carbure, .... Elles se caractérisent par une résistance exceptionnelle aux températures élevées, à l'usure et aux produits chimiques. Bien qu'elles soient très dures et durables, les céramiques sont souvent fragiles et sensibles aux chocs mécaniques.

Les matériaux composites sont créés en combinant plusieurs matériaux aux propriétés différentes, tels qu'une matrice (polymère, métal ou céramique) renforcée par des fibres (comme les fibres de verre ou de carbone). Cette structure en couches permet d'obtenir des propriétés spécifiques, comme la légèreté et la résistance aux chocs, tout en dépassant les limitations des matériaux individuels.

Les biomatériaux sont spécialement conçus pour interagir avec les systèmes biologiques. Par exemple, le titane et certains polymères biocompatibles, comme le polyéthylène de poids moléculaire élevé, sont utilisés pour les implants médicaux car ils sont bien tolérés par le corps humain. D'autres matériaux comme certains polymères sont utilisés en chirurgie pour des dispositifs qui se dégradent naturellement dans le corps sans nécessité de retrait.

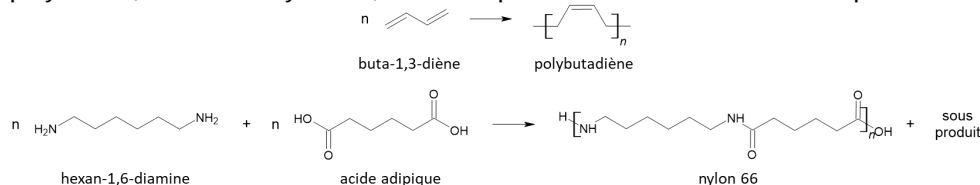
Les matériaux nanostructurés, comme les nanoparticules, les nanotubes de carbone possèdent des propriétés uniques dues à leur structure à l'échelle nanométrique. Ils offrent souvent une bonne conductivité thermique et électrique ainsi qu'une bonne résistance mécanique. Ces matériaux tirent parti des propriétés spéciales de la nanostructure pour offrir des performances accrues dans des domaines où la réduction de la taille des composants permet de mieux contrôler leurs réactions et leurs interactions.



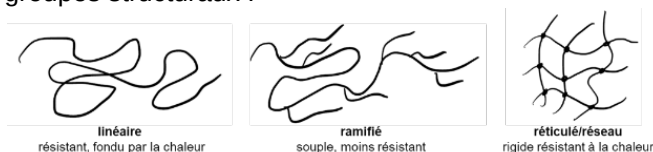
## DOCUMENT 3 Analyses structurales et mécaniques des polymères

D'après Chimie et physico-chimie des polymères Michel Fontanille, Yves Gnanou, Jean-Luc Six

Les polymères sont constitués de longues chaînes de macromolécules composées de motifs répétitifs provenant de réactifs appelés monomères. Ils peuvent se retrouver dans la nature ou être obtenus de manière synthétique. On distingue les homopolymères, comme le caoutchouc (polybutadiène), formés à partir d'un seul monomère et les copolymères, comme le nylon 66, formés à partir de deux monomères ou plus.



Les polymères peuvent être également classés, selon l'agencement de leurs chaînes, en trois grands groupes structuraux :

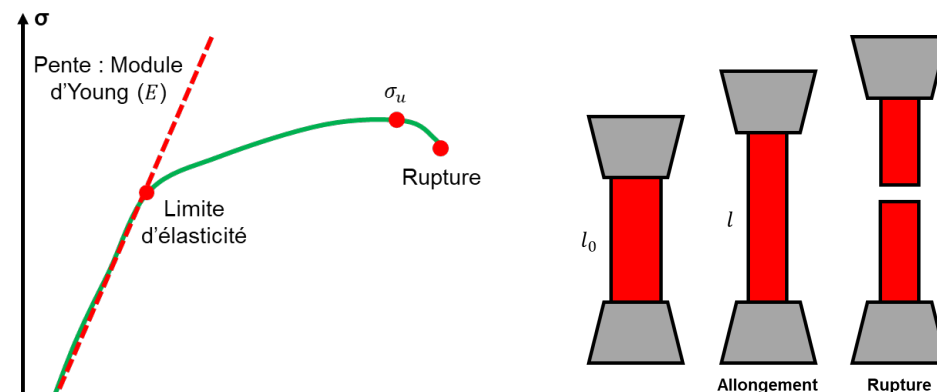


Le nombre de motifs répétitifs appelés unités de répétition ainsi que la longueur ou encore l'organisation des chaînes peuvent être déterminés par les analyses suivantes :

- La chromatographie d'exclusion stérique sépare les chaînes polymères en fonction de leur taille comme un tamis dont la taille de la maille est connue parfaitement.
- Les spectroscopies de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) et Infra-Rouge (IR) fournissent des signaux proportionnels au nombre de motifs et de groupements terminaux.
- Le titrage des groupes terminaux permet de comparer le nombre de groupement terminaux par rapport à la masse de l'échantillon.
- L'osmométrie (la mesure de la pression osmotique d'une solution diluée est directement liée à la concentration en polymère de celle-ci).

Ces différentes analyses permettent de remonter généralement à la masse molaire du polymère obtenu, qui est en réalité une moyenne de toutes les masses molaires des chaînes qui se sont formées. On peut ainsi déterminer le degré de polymérisation  $DP$ , qui correspond au nombre moyen d'unités de répétition par chaîne, dont vont dépendre les applications du polymère.

La détermination de la composition et de la structure des chaînes d'un polymère est parfois insuffisante pour comprendre ses propriétés. La réalisation de tests comme le test de traction va permettre de connaître les propriétés mécaniques de celui-ci :



Le module d'Young ou coefficient d'élasticité longitudinale, est une propriété mécanique qui mesure la rigidité ou la résistance à la déformation élastique des matériaux lorsqu'ils sont soumis à une contrainte. Il est généralement noté  $E$  dans les équations. Plus le module d'Young est faible plus le matériau est élastique, plus il est élevé plus il est résistant. Il correspond à la pente de la partie linéaire de cette courbe.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$E$  le module d'Young en Pa ;  $\sigma$  la contrainte exercée en Pa ;  $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$  l'allongement du matériau sans unité.

La résistance à la traction  $\sigma_u$  est une valeur qui définit la contrainte maximale que peut subir un matériau avant de se rompre.

## DOCUMENT 4 Composition du manchon

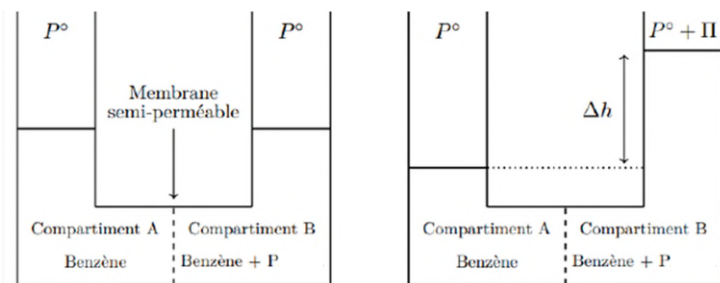
D'après Techniques de l'ingénieur « Masses molaires moyennes »

Le manchon de la prothèse est généralement constitué d'un matériau polymère. Les plus rencontrés sont des polymères thermoplastiques, comme les polyamides. Le poly(p-phénylènetéréphtalamide), commercialisé sous le nom Kevlar®, fait partie de la famille des polyamides aromatiques ou aramides et est constitué de cycles aromatiques séparés par des groupes amide. Les nylons sont des polyamides aliphatiques. Dans tous les cas, leurs propriétés mécaniques dépendent de leur structure et de leur degré de polymérisation (DP).

Le degré de polymérisation moyen en nombre, DP, est égal au rapport de la masse molaire moyenne en nombre du polymère,  $M_n$ , sur la masse molaire de l'unité de répétition,  $M_0$  :

$$DP = \frac{M_n}{M_0}$$

Afin de déterminer la masse molaire moyenne en nombre du polymère, une expérience d'osmométrie est réalisée. Dans un compartiment A est placé un solvant pur, ici du benzène, séparé d'un compartiment B contenant lui aussi du benzène et le soluté (le polymère), une membrane semi-perméable ne permettant que le passage du benzène. Un passage spontané de benzène du compartiment A vers le compartiment B est alors observé. C'est le phénomène d'osmose.



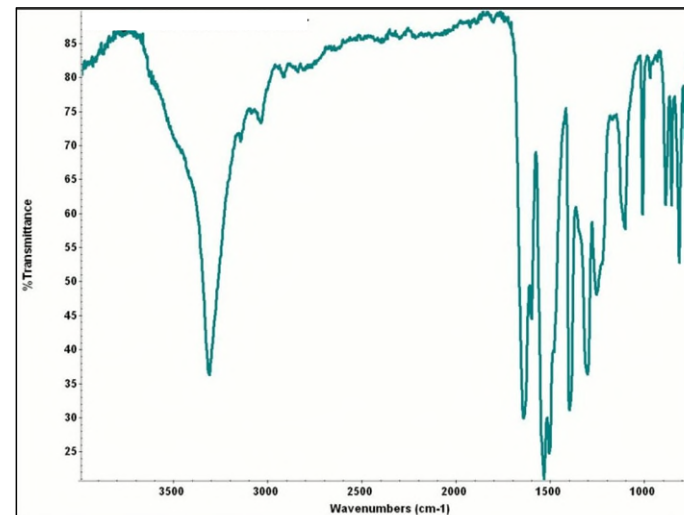
La pression osmotique  $\Pi$  est la pression qu'il faut appliquer à la solution du compartiment B afin d'empêcher le flux de benzène du compartiment A vers le compartiment B. Elle

suit la loi de Van't Hoff qui, dans le cas d'un polymère solubilisé, s'écrit :  $\Pi = \frac{RTC_m}{M_n}$

avec  $R = 8,31$  SI ;  $T$  : température (K) ;  $C_m$  : concentration en masse du polymère ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) ;  $M_n$  en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La composition du manchon est déterminée en réalisant les analyses suivantes :

- Spectroscopie infrarouge :**



(source : Infrared Spectroscopy Lab, Analytical Answers, Inc., Woburn, MA)

| Liaison        | Nombre d'onde $\sigma$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) |
|----------------|---------------------------------------------|
| O-H            | 3150-3650                                   |
| N-H            | 3100-3500                                   |
| C-H alcène     | 3030-3100                                   |
| C-H alcane     | 2850-2970                                   |
| C=O amide      | 1650                                        |
| C=C alcène     | 1620-1690                                   |
| C=C aromatique | 1400-1600                                   |

- Osmométrie (à 25 °C = 298 K) :**

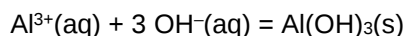
| $C_m$ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 1     | 5     | 10    | 15    |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Pi$ (Pa)                               | 0,069 | 0,347 | 0,694 | 1,040 |

## DOCUMENT 5 Analyse du système de fixation

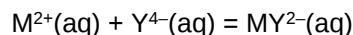
D'après M. Blétry Chimie des solutions 2019

La composition de l'alliage constituant le système de fixation peut être déterminée en utilisant plusieurs dosages volumétriques. Pour cela, 1,00 g d'alliage est solubilisé dans l'acide nitrique et après dilution, on obtient 1 L d'une solution (S) de pH = 1,00 contenant notamment des ions  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$ .

**Dosage A** : la concentration en ions  $\text{Al}^{3+}$  est déterminée par dosage par la soude ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ ) de concentration  $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Après la réaction acide fort / base forte, il se produit une réaction de précipitation quantitative selon la réaction :



**Dosage B** : un second dosage est réalisé par l'Ethylène Diamine Tétra Acétate noté  $\text{Y}^{4-}$  de concentration  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . A pH maintenu à 10,0 par ajout d'une solution tampon, les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Zn}^{2+}$  sont dosés simultanément selon la réaction quantitative :



Les dosages d'un volume  $V_0 = 10 \text{ mL}$  de solution (S) conduisent aux résultats suivants :

| Dosage A                           |                                    | Dosage B                         |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| $V_{\text{eq1}} = 10,0 \text{ mL}$ | $V_{\text{eq2}} = 20,5 \text{ mL}$ | $V_{\text{eq}} = 8,5 \text{ mL}$ |

Composition massique de quelques alliages d'aluminium (source : [euralliage.com/alliage.html](http://euralliage.com/alliage.html)) :

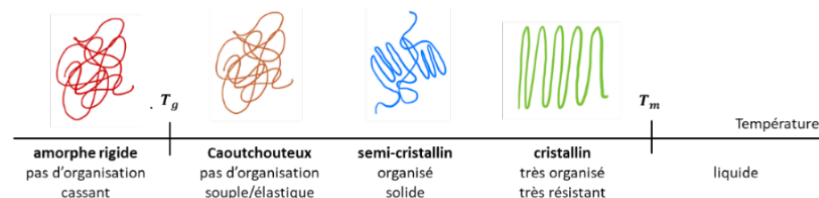
| Nom de l'alliage | Al | Mg  | Zn | Propriétés                                       |
|------------------|----|-----|----|--------------------------------------------------|
| 5083             | 95 | 4   | 0  | Résistance à la corrosion                        |
| 6061             | 95 | 0,8 | 0  | Résistance mécanique                             |
| 7075             | 90 | 2,5 | 6  | Résistance mécanique<br>biocompatibilité limitée |

Masses molaires : ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) :  $\text{Al} = 27$  ;  $\text{Mg} = 24$  ;  $\text{Zn} = 65$

## DOCUMENT 6 Analyse de l'emboîture

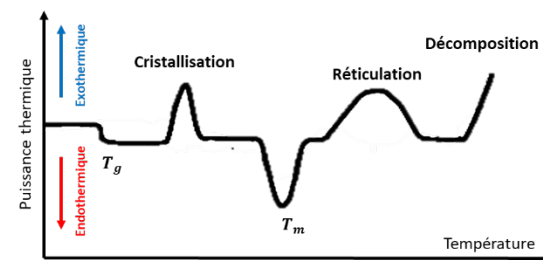
D'après M. Blétry Chimie des solutions 2019

Les polymères peuvent éventuellement exister sous plusieurs états selon la température, leur type et leur cristallinité. On repère généralement deux températures de changement d'état :  $T_g$  la température de transition vitreuse et  $T_m$  la température de fusion.



L'analyse par DSC (Differential Scanning Calorimetry), ou calorimétrie différentielle à balayage, est une technique utilisée pour étudier les propriétés et la stabilité thermiques des matériaux, en mesurant les variations du transfert thermique entre un échantillon et une référence en fonction de la température (par convention, une variation de transfert thermique positive indique que l'échantillon subit une transformation exothermique et une variation de transfert thermique négative indique que l'échantillon subit une transformation endothermique).

Certains phénomènes de changement d'état tels que la transition vitreuse ou la fusion nécessitent un apport d'énergie tandis que les phénomènes de réorganisations structurales vont faire gagner en résistance et en stabilité le composé et donc lui faire perdre de l'énergie. La valeur de l'aire sous ces pics de réorganisation est proportionnelle à la quantité de matière présente mais indique également le taux de cristallisation ou de réticulation.

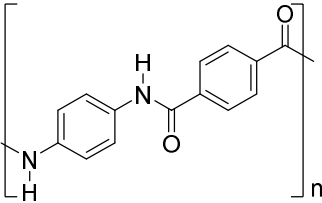
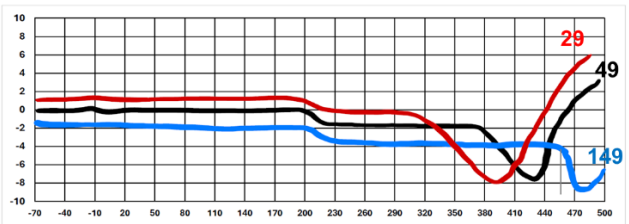
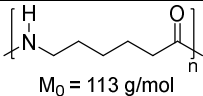
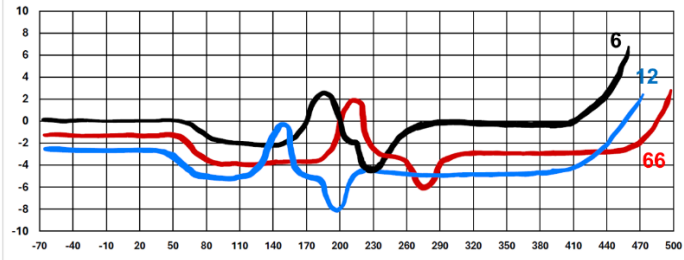
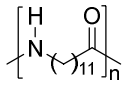
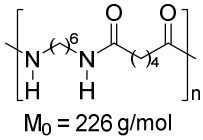
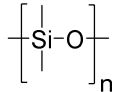
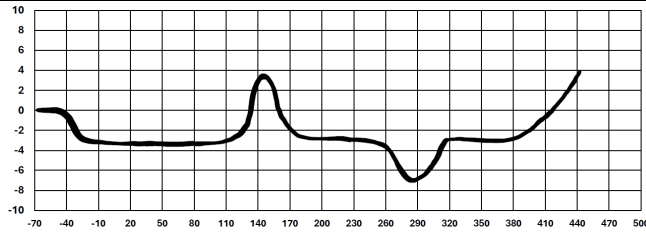
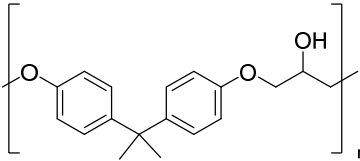
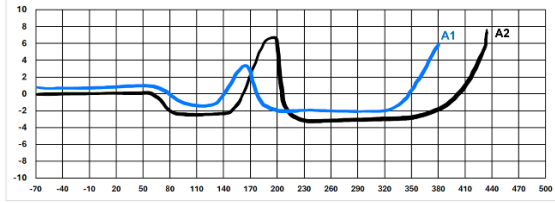


L'analyse par DSC du matériau constituant l'emboîture actuelle, présente :

- un comportement de polymère thermodurcissable fortement réticulé.
- une variation légère de la ligne de base dans le sens endothermique vers  $70^\circ \text{C}$ .

## DOCUMENT 7 Données physico-chimiques de polymères usuels

D'après [www.broncesval.com](http://www.broncesval.com) ; [www.boyiprototyping.com](http://www.boyiprototyping.com)

| Type            | Structure                                                                                                     | DP        | Résistance à la traction $\sigma_u$ (MPa) | Module d'Young $E$ (GPa) | Applications                | DSC<br>Puissance thermique en kJ = f (T en °C)                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Kevlar 29       |  $M_0 = 238 \text{ g/mol}$   | 100 - 200 | 1500                                      | 30                       | prothèses à usage quotidien |    |
| Kevlar 49       |                                                                                                               | 200 - 300 | 2000                                      | 40                       | prothèses sportives         |                                                                                       |
| Kevlar 149      |                                                                                                               | 300 - 500 | 2500                                      | 50                       | aérospatial                 |                                                                                       |
| Nylon 6         |  $M_0 = 113 \text{ g/mol}$   | 100 - 200 | 84                                        | 4                        | éléments semi-flexibles     |    |
| Nylon 12        |  $M_0 = 197 \text{ g/mol}$   | 50 - 100  | 46                                        | 1,5                      | interfaces souples          |                                                                                       |
| Nylon 66        |  $M_0 = 226 \text{ g/mol}$   | 80 - 150  | 72                                        | 3                        | éléments rigides            |                                                                                       |
| Silicone        |  $M_0 = 74 \text{ g/mol}$  | 200 - 900 | 8                                         | 0,3                      | pièces mécaniques           |   |
| Poly-époxyde A1 |  $M_0 = 284 \text{ g/mol}$ | 200 - 400 | 60                                        | 3                        | impression 3D               |  |
| Poly-époxyde A2 |                                                                                                               | 400 - 700 | 100                                       | 4                        | composants automobiles      |                                                                                       |

## DOCUMENT 8 Analyse de la lame

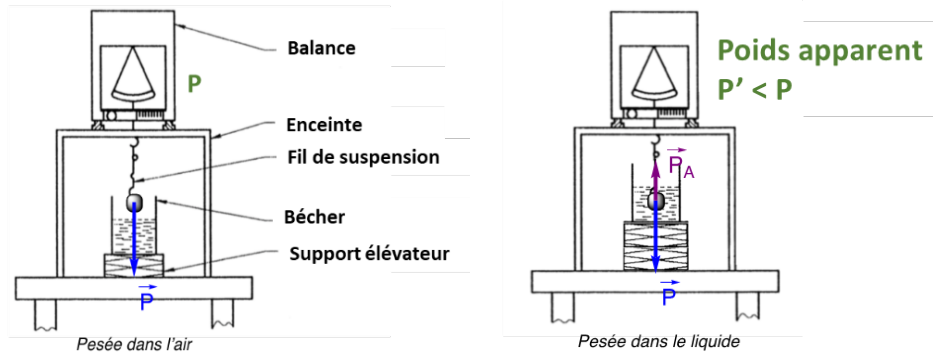
D'après Norme ISO 10119, [www.matweb.com](http://www.matweb.com), RoyMech Stress Strain Diagram et M.Szpieg, Journal of Composite Materials **2012**, 46(12) 1503–1517

On détermine expérimentalement la masse volumique du matériau de la lame actuelle par immersion.

### • Protocole expérimental :

Pour chaque échantillon, prélever une masse au moins égale à 0,2 g, puis la placer sur un porte-échantillon.

L'échantillon est pesé dans l'air (masse  $m_1$ ), puis pesé dans un liquide où il est parfaitement immergé (masse  $m_2$ ) et qui a une masse volumique connue, inférieure d'au moins  $0,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  à celle de l'échantillon. La différence en masse de l'échantillon entre les deux milieux est due à la poussée d'Archimède. Cette différence de masse, divisée par la masse volumique du liquide, donne le volume de l'échantillon.



Expression de la poussée d'Archimède :

$$\vec{P}_A = -m_{\text{fluide déplacé}} \times \vec{g}$$

Avec  $\vec{g}$  le champ de pesanteur

### • Résultats de la mesure en utilisant l'eau comme milieu d'immersion :

- o Masse  $m_1 = 1,00 \text{ g}$
- o Masse  $m_2 = 0,44 \text{ g}$

Donnée : masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

### • Propriétés comparées de divers matériaux pouvant constituer une lame de course :

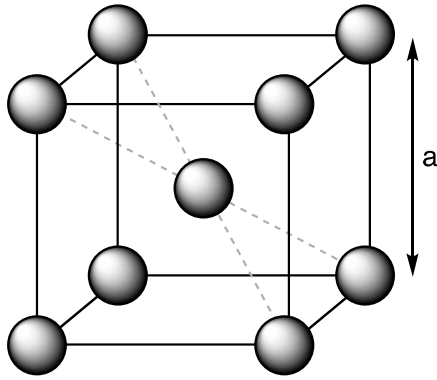
|                                                                     | Bois        | Acier   | Fibres de carbone | Fibres de verre | Alliage d'aluminium 7075 | Alliage de titane Ti-6Al-4V |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|---------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------|
| Résistance à la traction $\sigma_u$ (MPa)                           | 30-100      | ?       | ?                 | 3500            | ?                        | 950                         |
| Densité d                                                           | 0,5 à 0,9   | ?       | 1,8               | 2,6             | 2,7                      | ?                           |
| Module d'Young E (GPa)                                              | 12          | ?       | ?                 | 70              | ?                        | 114                         |
| Durabilité vis-à-vis des contraintes répétées et de l'environnement | Faible      | Moyenne | Excellente        | Bonne           | Moyenne                  | Très bonne                  |
| Coût initial                                                        | Très faible | Moyen   | Très élevé        | Elevé           | Moyen                    | Très élevé                  |

## DOCUMENT 9 Caractérisations complémentaires de divers alliages

D'après B. Fosset Chimie tout-en-un **2013**, [www.matweb.com](http://www.matweb.com), RoyMech Stress Strain Diagram et M.Szpieg, Journal of Composite Materials **2012**, 46(12) 1503–1517

- Détermination de la masse volumique théorique de deux alliages à l'aide de la cristallographie

Le Ti-6Al-4V est un alliage de titane Ti, contenant des pourcentages massiques de 6 % en aluminium Al et 4 % de vanadium V. Le titane cristallise dans une maille de type cubique centrée (cf ci-dessous), comportant un atome de Ti à chaque sommet et un atome au centre de la maille. L'aluminium et le vanadium occupent des espaces vides dans la maille, appelés sites interstitiels. On considère que la présence d'aluminium et de vanadium influe peu sur la densité.



L'acier est un alliage de fer et de carbone. La maille est de type cubique centrée également, dont le motif est un atome de fer. Le carbone occupe des sites interstitiels. On considère que l'acier contient un pourcentage massique de 0,5 % en carbone, ce qui influe peu sur sa densité.

Données :

Masses molaires :  $M(\text{Ti}) = 48 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$      $M(\text{Fe}) = 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Paramètres de maille :  $a(\text{Ti-6Al-4V}) \approx a(\text{Ti}) = 332 \text{ pm}$      $a(\text{acier}) \approx a(\text{Fe}) = 287 \text{ pm}$

- Stress strain diagrams for various materials

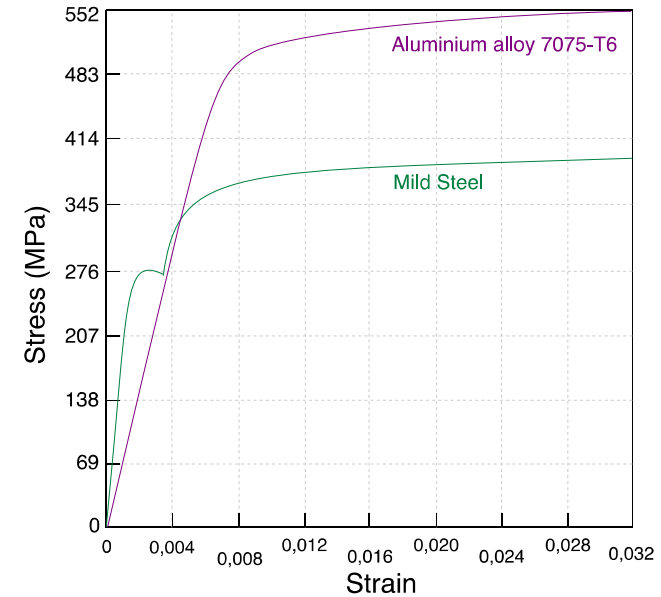


Figure 1 – Stress strain diagrams for aluminium alloy 7075-T6 and mild steel

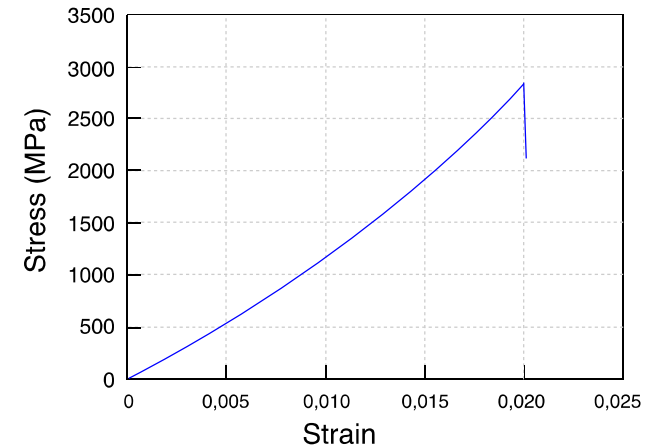


Figure 2 – Stress strain diagram for recycled carbon fibers

Glossary:

- stress strain diagram = courbe contrainte-déformation
- alloy = alliage
- steel = acier