

### 1. Mise en situation



L'hypertension artérielle est définie comme une élévation de la pression du sang dans les artères, par rapport à une valeur dite « normale ».

Les personnes souffrant d'hypertension doivent périodiquement mesurer leur tension pour adapter leur traitement.

Le tensiomètre étudié permet au patient de mesurer facilement et rapidement sa tension artérielle au niveau du poignet et d'avoir un historique des mesures réalisées.

### 2. Choix de la famille de matériaux

La conception du brassard et le choix du matériau de la coque du brassard sont guidés par la déformation engendrée par le gonflage de la poche.

En effet, la coque doit permettre une déformation élastique suffisante pour permettre l'enfilage du brassard tout en ne subissant pas d'endommagement à cause de la pression exercée par la poche gonflable.

Quand un matériau est soumis à une contrainte, il se déforme élastiquement puis éventuellement plastiquement jusqu'à la rupture.

La déformation limite dans le domaine élastique est donnée par la relation suivante :

$$\varepsilon_f = \frac{C \cdot K_{IC}}{\sqrt{\pi} \cdot a_c \cdot E} \quad (1)$$

Avec :  $\varepsilon_f$  déformation limite en % ;

$E$  module de Young en MPa ;

$K_{IC}$  ténacité en  $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  ;

$a_c$  longueur de la plus grande fissure contenue dans le matériau en m ;

$C$  constante dépendant de la géométrie qui vaut généralement  $1 \text{ m}^{1/2}$ .

Les meilleurs matériaux pour la conception de la coque limitée par la déformation sont ceux qui ont les plus grandes valeurs de l'indice de performance  $M_I$  (défini ci-après) afin de maximiser la déformation sans risquer l'endommagement.

$$M_I = \frac{K_{IC}}{E} \quad (2)$$

Un diagramme d'Ashby permettant le choix du meilleur matériau vis-à-vis du critère  $M_I$  est proposé sur le **DR3** qui détaille son utilisation.

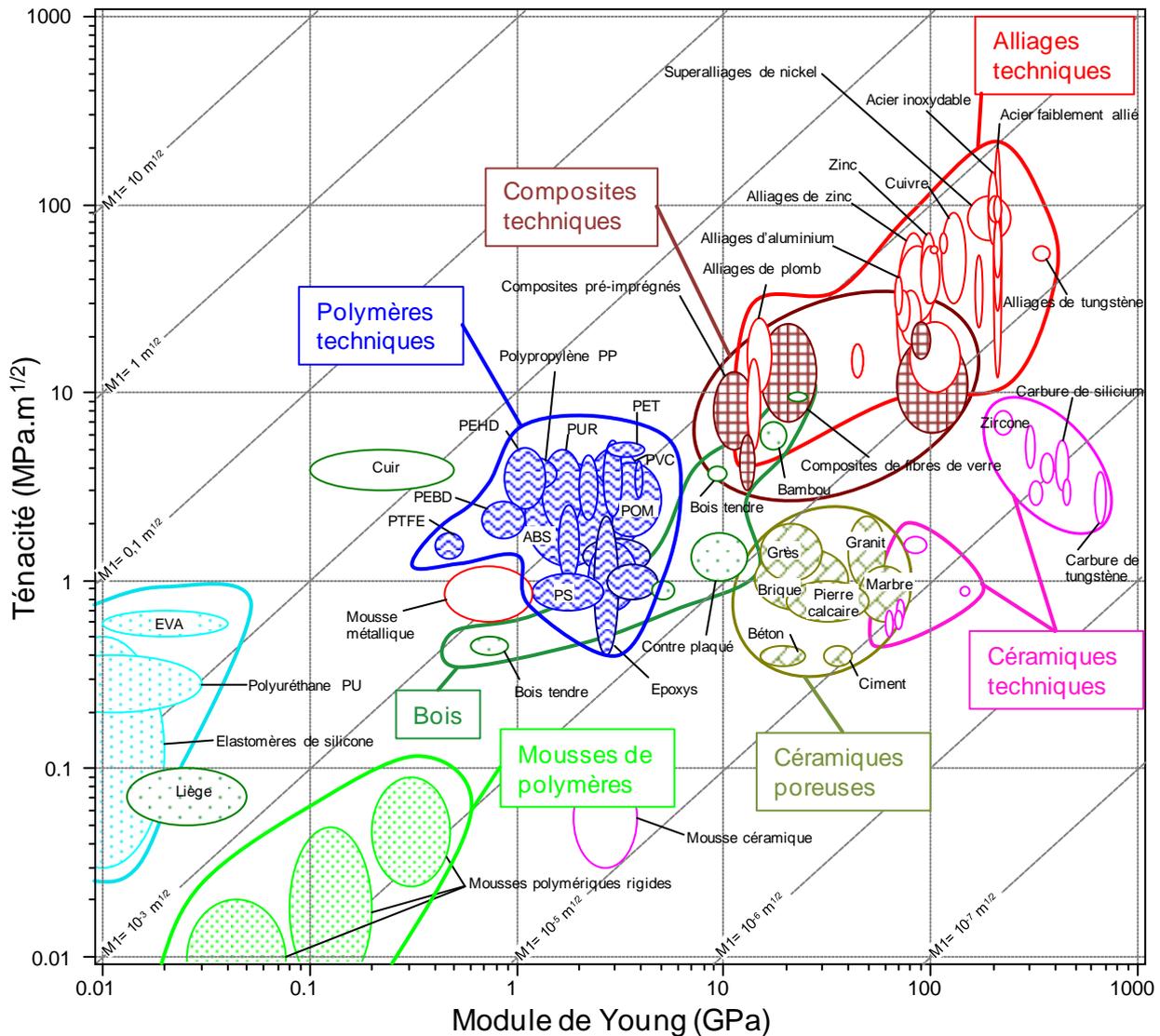
Les matériaux ayant un module de Young inférieur à  $E_{limite} = 0,4 \text{ GPa}$  sont écartés car leur rigidité est trop faible.

**Q1. Tracer** sur le **DR3** la droite du module de Young limite  $E_{limite}$ . **Identifier** la famille de matériaux (parmi les polymères techniques, les alliages techniques, les céramiques poreuses...) la plus performante vis-à-vis du critère  $M_I$ . Pour cela, **tracer** la droite oblique correspondant à la plus grande valeur de  $M_I$  possible pour les matériaux envisageables de la coque. **Préciser** le nom du meilleur matériau dans cette famille, puis **justifier** la réponse en donnant la valeur de  $M_I$  pour le matériau choisi.

### Document réponse DR3 : diagramme ténacité / module de Young

Le diagramme d'Ashby ci-dessous se lit de la façon suivante :

- les familles de matériaux (polymères, métaux, céramiques, etc.) sont représentées dans des bulles avec un motif particulier ;
- l'abscisse du graphe est le module de Young  $E$  en  $\text{GPa} = 10^3 \text{ MPa}$  ;
- l'ordonnée du graphe est la ténacité  $K_{IC}$  en  $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  ;
- compte tenu des échelles logarithmiques en abscisse et en ordonnée, les iso-valeurs de l'indice de performance  $M_I$  sont des droites obliques parallèles entre elles, représentées ici en pointillés ; c'est-à-dire que  $M_I$  est constant pour les matériaux situés sur une de ces droites ; les composites pré-impregnés de la famille des composites techniques les plus performants ont un  $M_I$  de l'ordre de  $10^{-3} \text{ m}^{1/2}$



Des considérations économiques orientent le choix vers des matériaux non métalliques. Ainsi les polymères sont privilégiés. Afin de respecter la fonction FS4 : « être facilement transportable », il convient de réduire la masse de la coque. Pour cela, il s'agit de maximiser l'indice de performance suivant :

$$M_2 = \frac{E}{\rho} \quad (3)$$

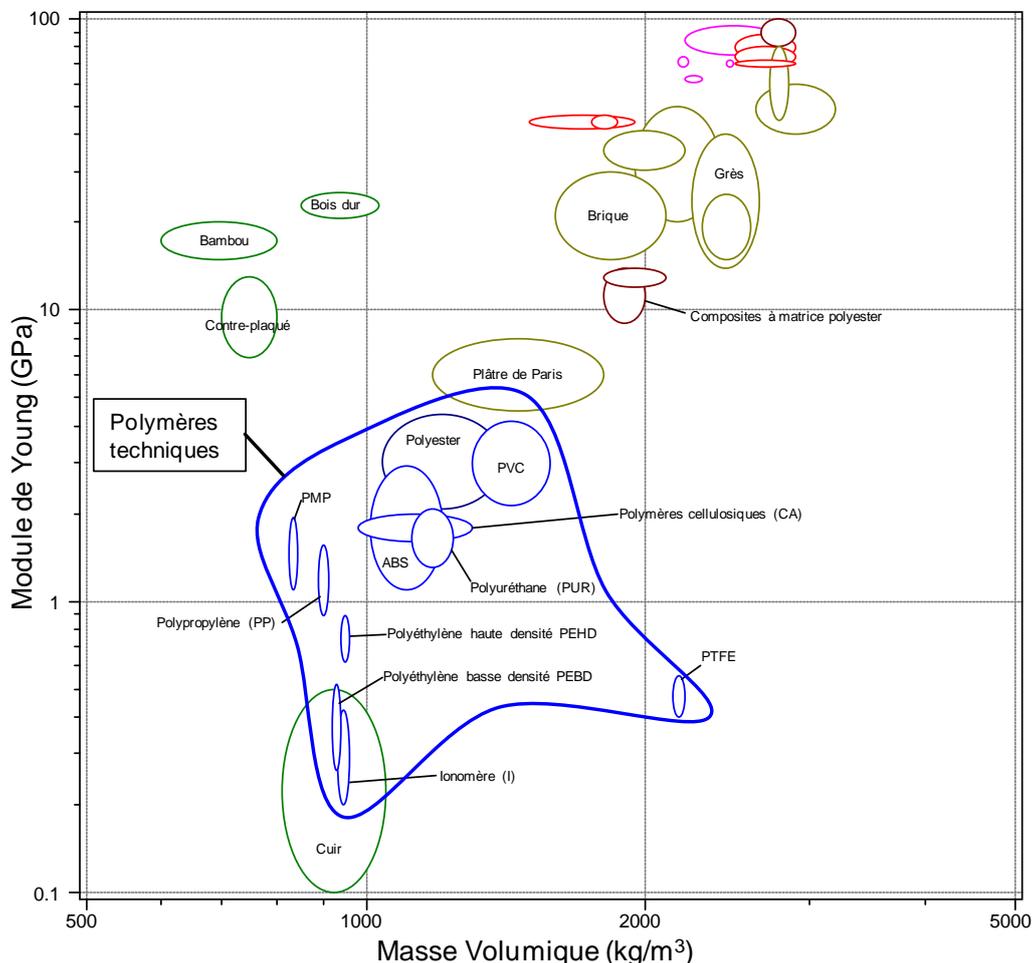
Avec :  $\rho$  masse volumique en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;  
 $E$  module de Young en MPa.

**Q2. Identifier** sur le **DR4** le ou les polymères techniques les plus adaptés à la maximisation du critère  $M_2$ . Pour cela, commencer par **tracer** la droite d'iso-valeur  $M_2 = 1 \text{MPa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3$  à partir des points d'abscisses 500 et 5000  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . **Tracer** ensuite la droite parallèle correspondant à la plus grande valeur de  $M_2$  possible pour les matériaux envisageables. **Préciser** le matériau finalement retenu.

### Document réponse DR4 : diagramme module de Young / masse volumique

Ce diagramme d'Ashby se lit de la façon suivante :

- les familles de matériaux sont représentées dans des bulles ; on s'intéresse plus particulièrement ici aux polymères techniques ;
- l'abscisse du graphe est la masse volumique en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;
- l'ordonnée du graphe est le module de Young en  $\text{GPa} = 10^3 \text{MPa}$ .



### 3. Validation du matériau

#### Validation du matériau

Pour enfiler le brassard il faut un matériau déformable et léger. Quelles que soient les conclusions des questions précédentes, pour des raisons de coût et de facilité de mise en œuvre, le matériau finalement choisi appartient à la famille des PEBD, le PE40.

Afin de valider le matériau et la géométrie (notamment l'épaisseur de la coque), un calcul par éléments finis réalisé avec un logiciel de modélisation volumique est mené (voir **DT4**). On considère un poignet moyen d'une circonférence de 17 cm.

Les conditions aux limites choisies pour cette étude sont les suivantes :

- les cinq ilots de la face supérieure sont considérés fixes ;
- un déplacement de 24 mm de l'arête extérieure de la coque est imposé (par l'intermédiaire d'un contact avec une pièce intermédiaire simulant le poignet) pour modéliser l'écartement du brassard autour du poignet ;
- une surpression de  $1,250 \cdot 10^5$  Pa est imposée sur la face intérieure de la coque pour modéliser l'action de la poche gonflable.

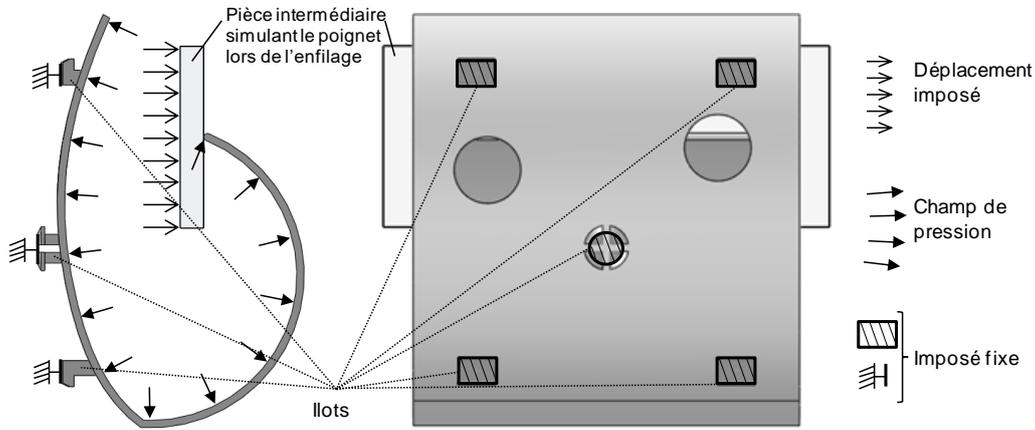
Le **DT4** présente les résultats de la simulation ainsi qu'une photographie de la coque réelle après plusieurs cycles d'utilisation du tensiomètre où des zones blanches sont apparues.

**Q3. Analyser** les résultats de la simulation en traitant les points suivants :

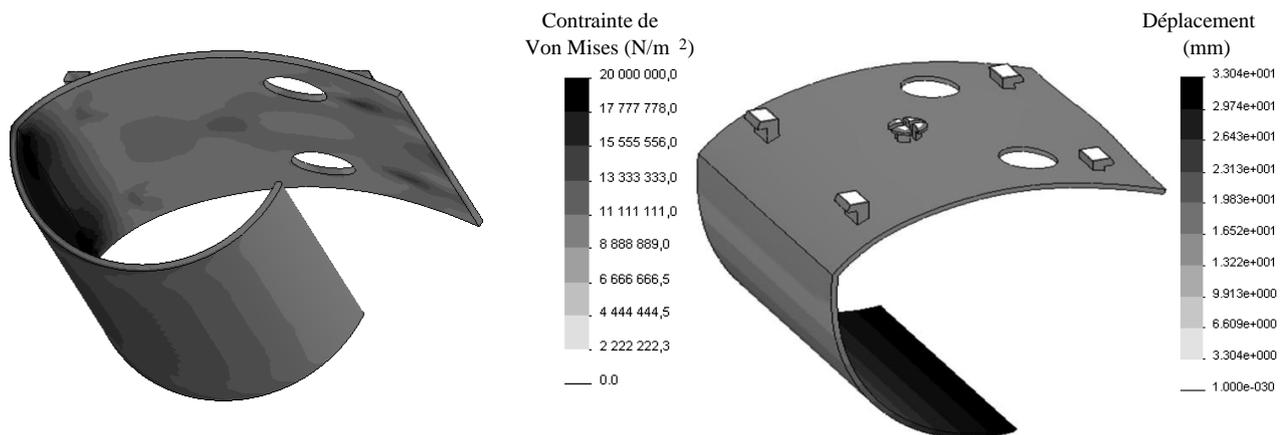
- **comparer** la contrainte maximale donnée par la simulation par rapport aux caractéristiques du matériau choisi (voir **DT4**) et conclure quant à la tenue de la pièce ;
- **expliquer** le phénomène observé sur la photographie par rapport aux résultats de la simulation ;
- **proposer** d'éventuelles modifications de conception.

### Document technique DT4 : étude de la déformation de la coque

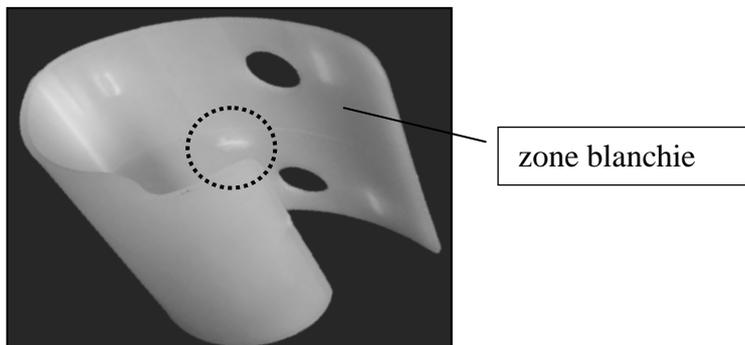
#### Conditions initiales et conditions aux limites du calcul éléments finis



#### Résultats du calcul éléments finis



#### Photo de la coque après plusieurs cycles d'utilisation



#### Caractéristiques des matériaux envisagés pour la coque

	Densité	Résistance à la traction (MPa)	Limite d'élasticité (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Module d'élasticité (MPa)
PE HD (PE100)	0,960	30	25	600	1500
PE BD (PE40)	0,920	25	15	400	1000