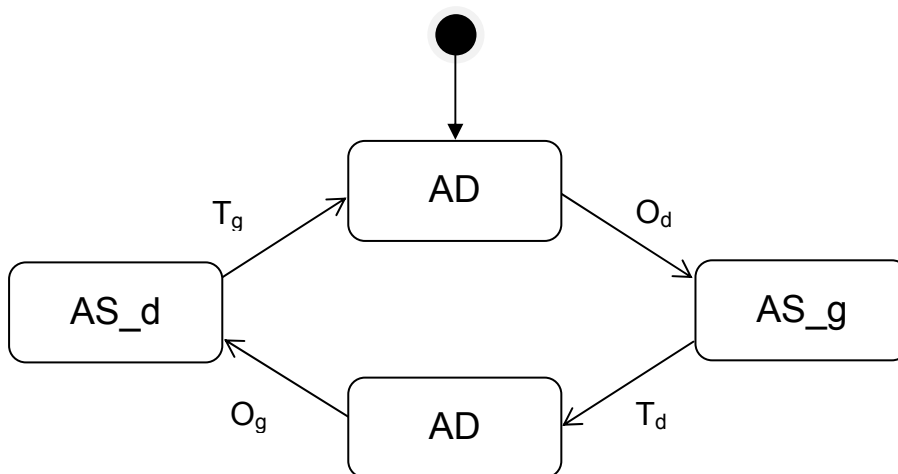


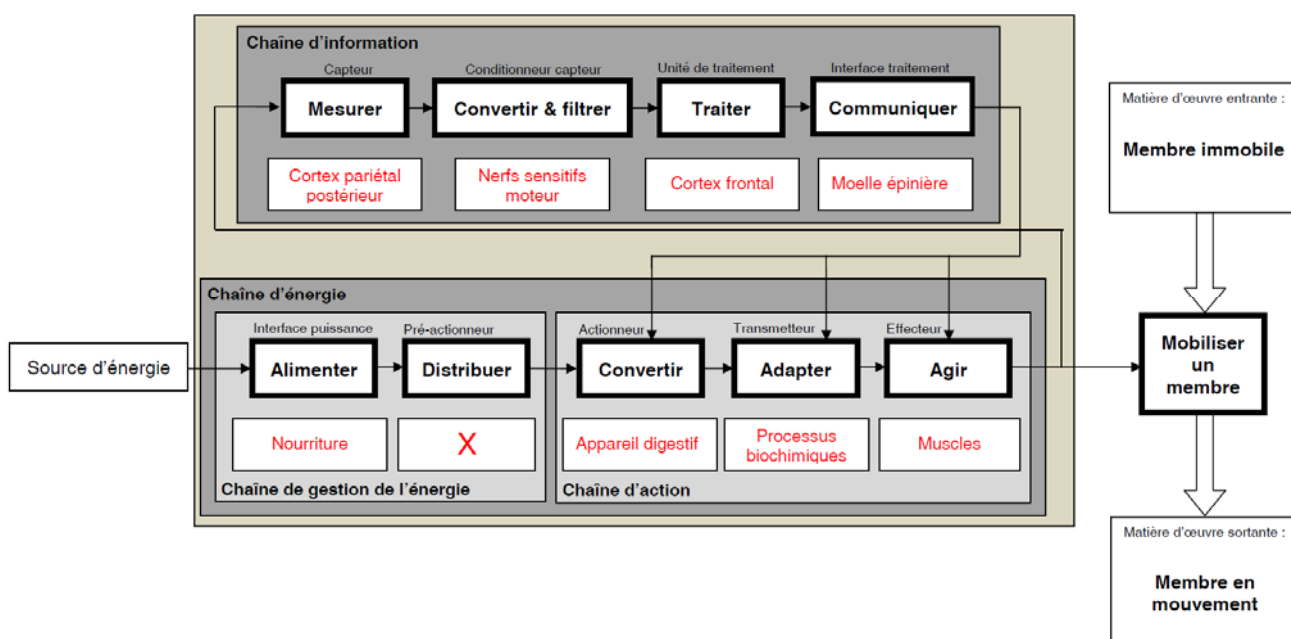
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Question 1

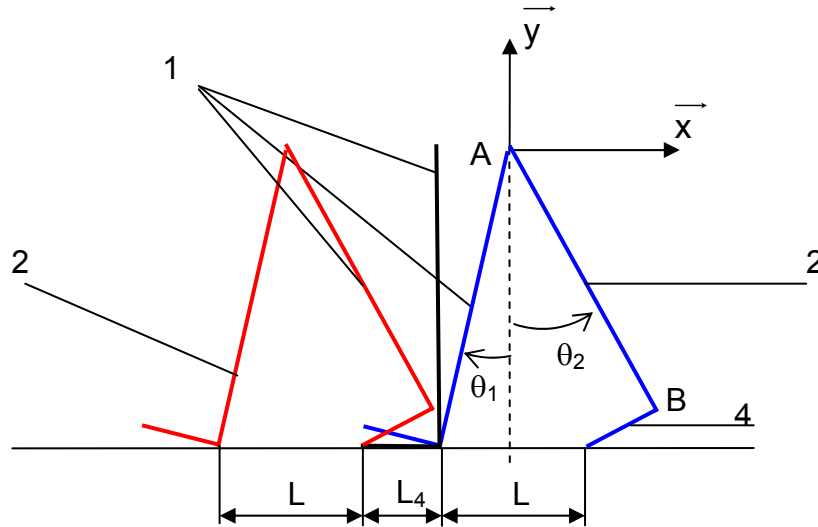


Question 2

CHAINES FONCTIONNELLES DÉDIÉES À LA MARCHÉ



Question 3



Longueur L :

$$\begin{aligned} L \cdot \vec{x} &= \overline{MM'} = \overline{MA} + \overline{AB} + \overline{BM'} = L_1 \vec{y}_1 - L_2 \vec{y}_2 - L_4 \vec{x}_2 \\ L &= -L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2 - L_4 \cos \theta_2 \\ L &= 0,276 \text{ m} \end{aligned}$$

Longueur du pas :

$$L_{pas} = 2L + L_4 = 2(-L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2 - L_4 \cos \theta_2) + L_4$$

Application numérique :

$$L_{pas} = 2 \times 0,276 + 0,25 = 0,8 \text{ m}$$

Question 4

La vitesse de marche est définie par la relation : $V(\text{m/s}) = \text{cadence}(\text{pas/min}) \times \text{pas} \times (1/60)$.

D'où la cadence : $\text{cadence} = 60 \times V/\text{pas}$

Vitesse naturelle : cadence = $60 \times 1,20 / 0,85$ ordre de grandeur : 85 pas/min

Vitesse rapide : cadence = $60 \times 1,70 / 0,75$ ordre de grandeur : 136 pas/min

Vitesse lente : cadence = $60 \times 0,95 / 0,95$ ordre de grandeur : 60 pas/min

Question 5

Détermination de la vitesse du point A :

$$\overline{V_{A20}} = \overline{V_{A10}} = \overline{V_{M10}} + \overline{AM} \wedge \overline{\Omega_{10}} = -L_1 \vec{y}_1 \wedge \dot{\theta}_1 \vec{z}_1 = -L_1 \dot{\theta}_1 \vec{x}_1$$

Énergies cinétiques :

– solide 1 :

$$T_1 = \frac{1}{2} \{C_{10}\} \otimes \{\sigma_{10}\} = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} \overline{\Omega_{10}} \\ \overline{V_{G_1,10}} \end{Bmatrix} \otimes \begin{Bmatrix} m_1 \overline{V_{G_1,10}} \\ \overline{\sigma_{G_1,10}} \end{Bmatrix}$$

avec $\overline{V_{G_1,10}} = \overline{V_{M10}} + \overline{G_1M} \wedge \overline{\Omega_{10}} = -a_1 \vec{y}_1 \wedge \dot{\theta}_1 \vec{z}_1 = -a_1 \dot{\theta}_1 \vec{x}_1$

$$\overline{\sigma_{G_1,10}} = I(\overline{G_1,1}) \times \overline{\Omega_{10}} = I_1 \dot{\theta}_1 \vec{z}_1$$

$$T_1 = \frac{1}{2} (I_1 + m_1 a_1^2) \dot{\theta}_1^2$$

– solide 2 :

$$T_2 = \frac{1}{2} \{C_{20}\} \otimes \{\sigma_{20}\} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\overline{\Omega_{20}}}{V_{G_2, 20}} \right\} \otimes \left\{ \frac{m_2 \overline{V_{G_2, 20}}}{\sigma_{G_2, 20}} \right\}$$

avec $\overline{V_{G_2, 20}} = \overline{V_{A, 20}} + \overline{G_2 A} \wedge \overline{\Omega_{20}} = -L_1 \dot{\theta}_1 \overline{x_1} + b_2 \dot{\theta}_2 \overline{x_2} \wedge \dot{\theta}_2 \overline{z} = -L_1 \dot{\theta}_1 \overline{x_1} + b_2 \dot{\theta}_2 \overline{x_2}$,

soit en projection dans la base B_0 :

$$\overline{V_{G_2, 20}} = -L_1 \dot{\theta}_1 \overline{x_1} + b_2 \dot{\theta}_2 \overline{x_2} = \begin{matrix} -L_1 \cos \theta_1 \dot{\theta}_1 + b_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 \\ -L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 + b_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 \\ 0 \end{matrix}_{B_0}$$

$$\overline{\sigma_{G_2, 20}} = \overline{I(G_2, 2)} \times \overline{\Omega_{20}} = I_2 \dot{\theta}_2 \overline{z}$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \left(I_2 \dot{\theta}_2^2 + m_2 \left[(-L_1 \cos \theta_1 \dot{\theta}_1 + b_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2)^2 + (-L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 + b_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2)^2 \right] \right)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \left((I_2 + m_2 b_2^2) \dot{\theta}_2^2 + m_2 L_1^2 \dot{\theta}_1^2 - 2m_2 L_1 b_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \right)$$

– solide 3 :

$$T_3 = \frac{1}{2} \{C_{30}\} \otimes \{\sigma_{30}\} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\overline{\Omega_{30}}}{V_{G_3, 30}} \right\} \otimes \left\{ \frac{m_3 \overline{V_{G_3, 30}}}{\sigma_{G_3, 30}} \right\}$$

avec

$$\overline{V_{G_3, 30}} = \overline{V_{B, 30}} + \overline{G_3 B} \wedge \overline{\Omega_{30}},$$

$$\overline{V_{B, 30}} = \overline{V_{B, 20}} = \overline{V_{A, 20}} + \overline{BA} \wedge \overline{\Omega_{20}}$$

$$\overline{V_{G_3, 30}} = -L_1 \dot{\theta}_1 \overline{x_1} + L_2 \dot{\theta}_2 (\overline{y_2} \wedge \overline{z}) + b_3 \dot{\theta}_3 (\overline{y_3} \wedge \overline{z}) = -L_1 \dot{\theta}_1 \overline{x_1} + L_2 \dot{\theta}_2 \overline{x_2} + b_3 \dot{\theta}_3 \overline{x_3}$$

soit en projection dans la base B_0 :

$$\overline{V_{G_3, 30}} = \begin{matrix} -L_1 \cos \theta_1 \dot{\theta}_1 + L_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 + b_3 \cos \theta_3 \dot{\theta}_3 \\ -L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 + L_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 + b_3 \sin \theta_3 \dot{\theta}_3 \\ 0 \end{matrix}$$

$$\overline{\sigma_{G_3, 30}} = \overline{I(G_3, 3)} \times \overline{\Omega_{30}} = I_3 \dot{\theta}_3 \overline{z}$$

$$T_3 = \frac{1}{2} \left(I_3 \dot{\theta}_3^2 + m_3 \left[(-L_1 \cos \theta_1 \dot{\theta}_1 + L_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 + b_3 \cos \theta_3 \dot{\theta}_3)^2 + (-L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 + L_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 + b_3 \sin \theta_3 \dot{\theta}_3)^2 \right] \right)$$

$$T_3 = \frac{1}{2} \left((I_3 + m_3 b_3^2) \dot{\theta}_3^2 + m_3 L_1^2 \dot{\theta}_1^2 + m_3 L_2^2 \dot{\theta}_2^2 + 2m_3 \left[-L_1 L_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 - L_1 b_3 \cos(\theta_1 - \theta_3) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 + L_2 b_3 \cos(\theta_2 - \theta_3) \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \right] \right)$$

Énergie cinétique totale :

$$T = \frac{1}{2} \left[(I_1 + m_1 a_1^2 + m_2 L_1^2 + m_3 L_1^2) \dot{\theta}_1^2 + (I_2 + m_2 b_2^2 + m_3 L_2^2) \dot{\theta}_2^2 + (I_3 + m_3 b_3^2) \dot{\theta}_3^2 - 2L_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) (m_2 b_2 + m_3 L_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 - 2m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 + 2m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \right]$$

Question 6

Expressions des Q_i :

Pesanteur

– solide 1 :

$$\overline{V_{G_1,10}} = \overline{V_{I,10}} + \overline{G_1 I} \wedge \overline{\Omega_{10}} = -\overline{a_1 y_1} \wedge \dot{\overline{\theta_1 z_1}} = -\overline{a_1 \dot{\theta_1} x_1}$$

$$P_1 = -m_1 g y \cdot \overline{V_{G_1,10}} = m_1 a_1 g \dot{\theta_1} x_1$$

$$P_1 = m_1 a_1 g \sin \theta_1 \dot{\theta_1}$$

– solide 2 :

$$\overline{V_{G_2,20}} = -L_1 \dot{\overline{\theta_1 x_1}} + b_2 \dot{\overline{\theta_2 x_2}} = \begin{matrix} -L_1 \cos \theta_1 \dot{\theta_1} + b_2 \cos \theta_2 \dot{\theta_2} \\ -L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta_1} + b_2 \sin \theta_2 \dot{\theta_2} \\ 0 \end{matrix}_{B_0}$$

$$P_2 = -m_2 g y \cdot \overline{V_{G_2,20}}$$

$$P_2 = -m_2 g (b_2 \sin \theta_2 \dot{\theta_2} - L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta_1})$$

– solide 3 :

$$\overline{V_{G_3,30}} = -L_1 \dot{\overline{\theta_1 x_1}} + L_2 \dot{\overline{\theta_2 x_2}} + b_3 \dot{\overline{\theta_3 x_3}} = \begin{matrix} -L_1 \cos \theta_1 \dot{\theta_1} + L_2 \cos \theta_2 \dot{\theta_2} + b_3 \cos \theta_3 \dot{\theta_3} \\ -L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta_1} + L_2 \sin \theta_2 \dot{\theta_2} + b_3 \sin \theta_3 \dot{\theta_3} \\ 0 \end{matrix}_{B_0}$$

$$P_3 = -m_3 g y \cdot \overline{V_{G_3,30}} = -m_3 g (-L_1 \sin \theta_1 \dot{\theta_1} + L_2 \sin \theta_2 \dot{\theta_2} + b_3 \sin \theta_3 \dot{\theta_3})$$

$$P_i = g ((m_1 a_1 + m_2 L_1 + m_3 L_1) \sin \theta_1 \dot{\theta_1} - (m_2 b_2 + m_3 L_2) \sin \theta_2 \dot{\theta_2} - m_3 b_3 \sin \theta_3 \dot{\theta_3})$$

On en déduit à partir de la relation : $P_i = Q_i \times \dot{\theta_i}$

$$\begin{pmatrix} Q_{\theta_1} \\ Q_{\theta_2} \\ Q_{\theta_3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (m_1 a_1 + m_2 L_1 + m_3 L_1) g \sin \theta_1 \\ -(m_2 b_2 + m_3 L_2) g \sin \theta_2 \\ -m_3 b_3 g \sin \theta_3 \end{pmatrix}$$

Couples moteur

– couple à la hanche, appliqué à la pièce 2 ; $\overline{C_2}$

– couple au genou, appliqué à la pièce 3 : $\overline{C_3}$.

On en déduit :

$$\begin{pmatrix} -C_2 \\ C_2 - C_3 \\ -C_3 \end{pmatrix}.$$

$$T = \frac{1}{2} \left[(I_1 + m_1 a_1^2 + m_2 L_1^2 + m_3 L_1^2) \dot{\theta_1}^2 + (I_2 + m_2 b_2^2 + m_3 L_2^2) \dot{\theta_2}^2 + (I_3 + m_3 b_3^2) \dot{\theta_3}^2 - 2L_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) (m_2 b_2 + m_3 L_2) \dot{\theta_1} \dot{\theta_2} - 2m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta_1} \dot{\theta_3} + 2m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta_2} \dot{\theta_3} \right]$$

Calcul de $\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta_3}}$:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta_3}} = (I_3 + m_3 b_3^2) \dot{\theta_3} - m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta_1} + m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_2) \dot{\theta_2}$$

Calcul de $\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta_3}}$:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta_3}} = (I_3 + m_3 b_3^2) \ddot{\theta_3} - m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \ddot{\theta_1} + m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_2) \ddot{\theta_2} + m_3 L_1 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_1) (\dot{\theta_3} - \dot{\theta_1}) \dot{\theta_1} - m_3 L_2 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) (\dot{\theta_3} - \dot{\theta_2}) \dot{\theta_2}$$

Calcul de $\frac{\partial T}{\partial \theta_3}$:

$$\frac{\partial T}{\partial \theta_3} = m_3 L_1 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta_3} \dot{\theta_1} - m_3 L_2 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) \dot{\theta_3} \dot{\theta_2}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}_3} - \frac{\partial T}{\partial \theta_3} = (I_3 + m_3 b_3^2) \ddot{\theta}_3 - m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \ddot{\theta}_1 + m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - m_3 L_1 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta}_1^2 + m_3 L_2 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2$$

$$(I_3 + m_3 b_3^2) \ddot{\theta}_3 - m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1) \ddot{\theta}_1 + m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_2) \ddot{\theta}_2 - m_3 L_1 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_1) \dot{\theta}_1^2 + m_3 L_2 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) \dot{\theta}_2^2 + m_3 b_3 g \sin(\theta_3) = -C_3$$

$$J_{31} = -m_3 L_1 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_1)$$

$$J_{32} = m_3 L_2 b_3 \cos(\theta_3 - \theta_2)$$

$$J_{33} = I_3 + m_3 b_3^2$$

$$N_{31} = -m_3 L_1 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_1)$$

$$N_{32} = m_3 L_2 b_3 \sin(\theta_3 - \theta_2)$$

$$N_{33} = 0$$

$$K_3 = m_3 b_3 g \sin \theta_3$$

Question 7

Les sujets sains sont caractérisés par une vitesse moyenne naturelle de 80 m/min pour une consommation d'oxygène de 15 ml/kg.min. Quel que soit le type d'amputation, on constate que la vitesse naturelle est plus faible et que la consommation en oxygène est plus importante.

L'analyse des courbes proposées permet donc de conclure que toute amputation induit lors de l'appareillage avec des prothèses passives une diminution de la vitesse de déplacement et une augmentation de la consommation d'oxygène. Cette augmentation de consommation traduit une augmentation des efforts physiques à fournir pour se déplacer.

Question 8

On note que la diminution de l'effort du côté prothétique est compensée par une augmentation du côté controlatéral. L'asymétrie s'amplifie avec l'augmentation de la vitesse de marche.

Le couple d'extension à la hanche est plus important pour le membre prothétique que pour le membre asymptotique.

L'amputation trans-fémorale qui induit l'ablation du genou interdit au sujet amputé de générer un couple entre le fémur et l'ensemble tibia-péroné. La conséquence est donc que le sujet amputé doit générer un couple à la hanche plus important.

Question 9

Flexion d'un genou sain :

- lors de la phase d'appui, le genou fléchit. Cette flexion est fonction de la vitesse de marche et est comprise entre 12 ° et 25 ° ;
- lors de la phase pendulaire, le genou fléchit. L'angle de flexion est indépendant de la vitesse et vaut 60 °.

Flexion d'un genou prothétique passif :

- lors de la phase d'appui, le genou ne fléchit pas ;
- lors de la phase oscillante, la flexion du genou est dépendante de la vitesse de marche. Cette caractéristique interdit une marche à grande vitesse.

Question 10

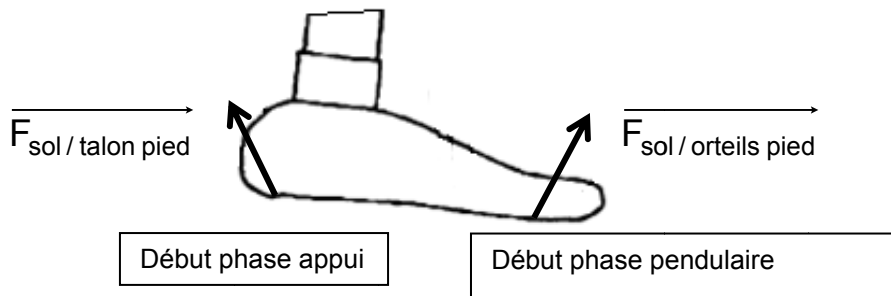
Vitesse	Les vitesses naturelles des amputés sont plus faibles que pour les sujets sains.
Consommation oxygène	Pour ces vitesses naturelles, la consommation d'oxygène des amputés est toujours plus importante que celle des sujets sains.
Flexion genou	Pour un genou prothétique, la flexion est très dépendante de la vitesse de marche et ne permet pas une grande adaptabilité. Absence de flexion lors de la phase d'appui
Effort de contact Couple à la hanche	Grande asymétrie dans les efforts appliqués aux membres prothétique et controlatéral : risque d'apparition de nouvelles pathologies au niveau des articulations.

Question 11

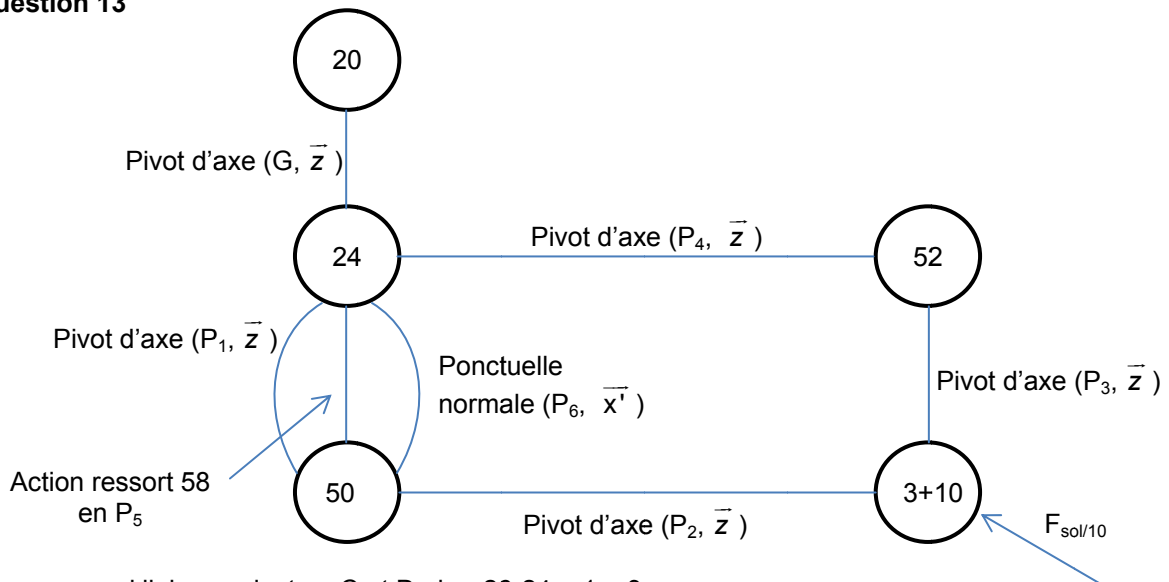
Justifications du choix de ces deux énergies différentes :

- hydraulique en phase d'appui, fluide hydraulique incompressible, facilité pour générer une force de maintien qui va permettre l'appui du corps sur la jambe appareillée ;
- pneumatique en phase pendulaire, air compressible intéressant pour générer une puissance ou énergie par effet décompression lors du retour flexion / extension.

Question 12



Question 13



- si liaisons pivot en C et D : $h = 26 - 24 + 1 = 3$.
- si liaisons rotule en C et D : $h = 15 + 1 + 6 - 24 + 2 = 0$, le système est isostatique

Dans le plan, le degré d'hyperstatisme s'écrit : $h = 11 - 12 + 1 = 0$

Le système est isostatique donc une résolution analytique est possible.

Question 14

On isole 52, soumis à 2 glisseurs.

PFS, théorème de la résultante statique selon la direction (P₃P₄).

On isole 10+3, soumis à trois glisseurs.

PFS, théorème de la résultante statique et théorème du moment écrit en P₂.

On isole 50, soumis à quatre glisseurs

IAM :

- ponctuelle en P6 ;
- ressort en P5 ;
- pivot en P1 ;
- pivot en P2.

PFS, Théorème du moment statique en P₁ en projection sur \vec{Z} .

Question 15

L'isolement de 52 permet de déterminer la direction de l'action de 52 sur 3+10, soit la droite (P₃P₄) :

$$\vec{F}_{52/3} = -F_{52/3} \vec{y}_{52}.$$

On applique le théorème de la résultante statique à 3+10

$$\begin{aligned} F_{52/3} \sin \theta_{52} - F_x + X_{50/3} &= 0 \\ -F_{52/3} \cos \theta_{52} + F_y + Y_{50/3} &= 0 \end{aligned}$$

On applique le théorème du moment statique écrit en P₂ en projection sur z :

$$\overline{M_{P_2 \vec{F}_{52/3}}} + \overline{M_{P_2 \vec{F}_{\text{sol/talon pied}}}} + \overline{M_{P_2 \vec{F}_{50/3}}} = \vec{0}$$

$$\overline{P_2 P} \wedge \overline{F_{\text{sol/talon pied}}} + \overline{P_2 P_3} \wedge \overline{F_{52/3}} = \vec{0}$$

$$\left(-(c_2 + c_3) \vec{x} - (d_2 + d_3) \vec{y} \right) \wedge \left(-F_x \vec{x} + F_y \vec{y} \right) + \left(-c_2 \vec{x} - d_2 \vec{y} \right) \wedge \left(-F_{52/3} \vec{y}_{52/3} \right) = \vec{0}$$

$$F_{52/3} = \frac{(c_2 + c_3) F_y + (d_2 + d_3) F_x}{c_2 \cos \theta_{52} + d_2 \sin \theta_{52}}$$

d'où

$$\begin{aligned} X_{50/3} &= F_x - F_{52/3} \sin \theta_{52} \\ Y_{50/3} &= -F_y + F_{52/3} \cos \theta_{52} \end{aligned}$$

avec

$$F_{52/3} = \frac{(c_2 + c_3) F_y + (d_2 + d_3) F_x}{c_2 \cos \theta_{52} + d_2 \sin \theta_{52}}$$

$$X_{50/3} = F_x - \frac{(c_2 + c_3) F_y + (d_2 + d_3) F_x}{c_2 \cos \theta_{52} + d_2 \sin \theta_{52}} \sin \theta_{52}$$

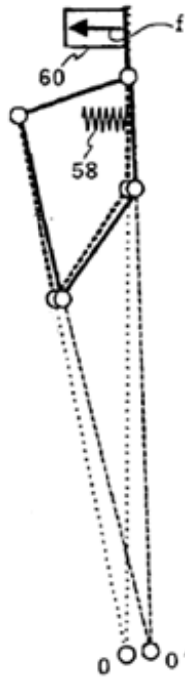
$$Y_{50/3} = -F_y + \frac{(c_2 + c_3) F_y + (d_2 + d_3) F_x}{c_2 \cos \theta_{52} + d_2 \sin \theta_{52}} \cos \theta_{52}$$

AN :

$$X_{3/50} = 729 \text{ N}$$

$$Y_{3/50} = -3326 \text{ N}$$

Lors de la pose du pied sur la partie arrière du pied (talon), les efforts générés induisent une déformation du mécanisme à 4 segments. La figure ci-dessous présente la nouvelle configuration du mécanisme 50 lors de la pose du talon.



Sous l'action de l'action de 3 sur 50, il y a une déformation dans le sens trigonométrique donc le clapet 60 est fermé ce qui conduit au verrouillage du genou, phase d'appui.

Question 16

Pose des ortels sur le sol :

On isole 50

IAM :

- ponctuelle en P6 ;
- ressort en P5 ;
- pivot en P1 ;
- pivot en P2.

PFS :

Théorème du moment statique en P_1 en projection sur \vec{z} :

$$\overline{M_{P_1 F_{60/50}}} + \overline{M_{P_1 F_{58/50}}} + \overline{M_{P_1 F_{3/50}}} = \vec{0}$$

$$\overline{P_1 P_6} \wedge \overline{F_{60/50}} + \overline{P_1 P_5} \wedge \overline{F_{58/50}} + \overline{P_1 P_2} \wedge \overline{F_{3/50}} = \vec{0}$$

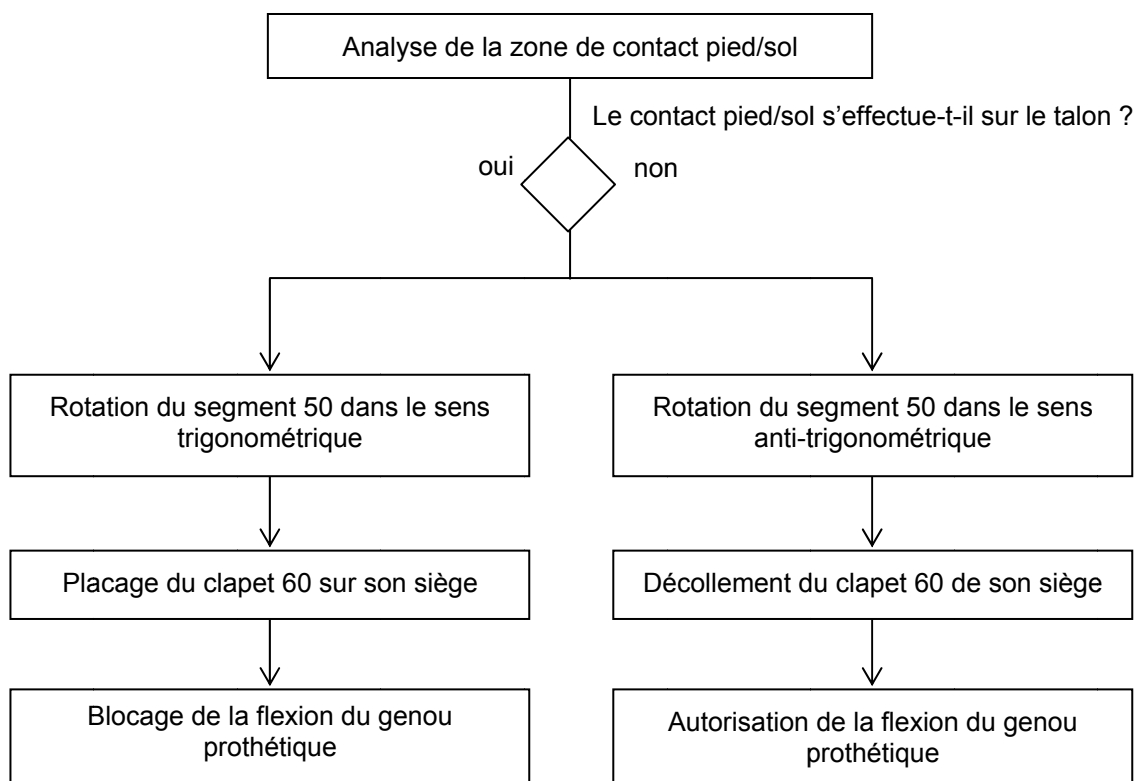
$$e \vec{y} \wedge F_{60/50} \vec{x} - f \vec{y} \wedge F_{58/50} \vec{x} - b \vec{y} \wedge (X_{3/50} \vec{x} + Y_{3/50} \vec{y}) = \vec{0}$$

$$-eF_{60/50} + fF_{58/50} + bX_{3/50} = 0$$

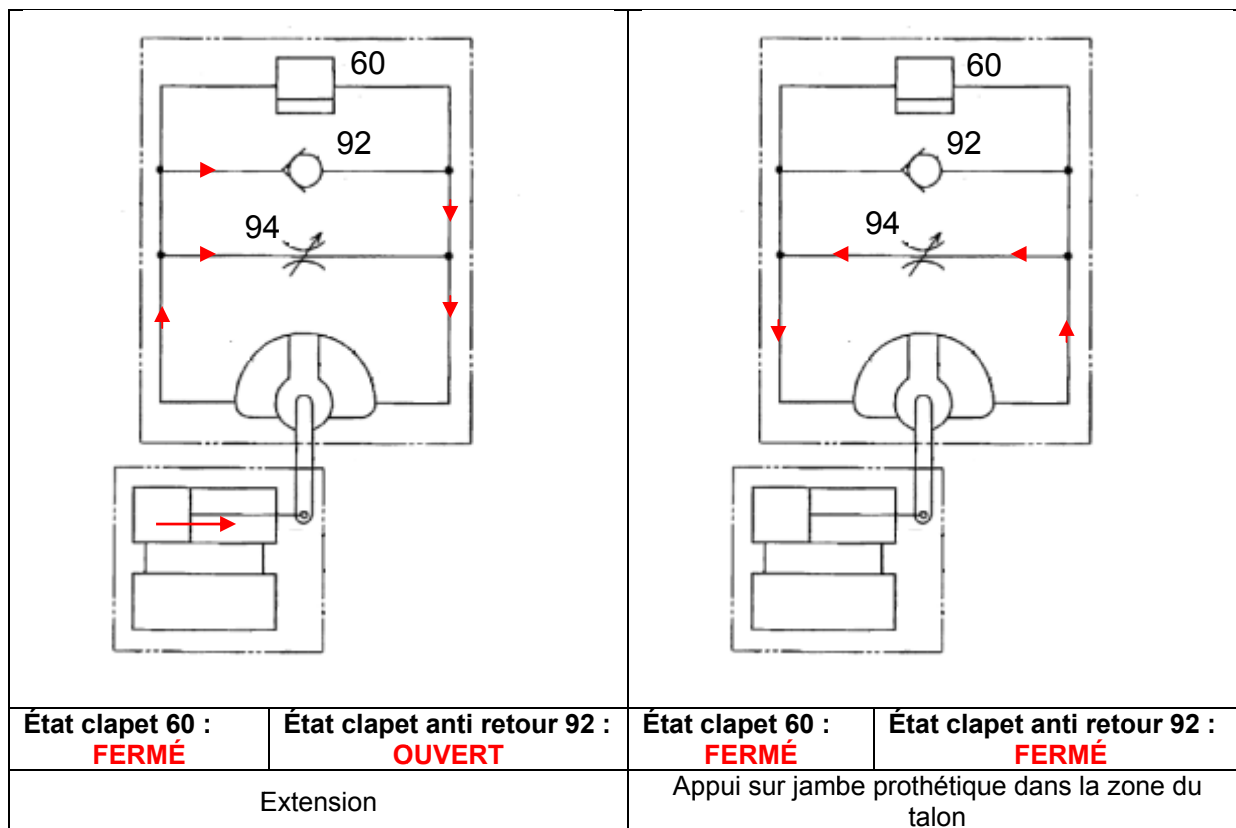
Le couple généré par l'effort $\overline{F_{3/50}}$ induit une déformation dans le sens anti trigo.

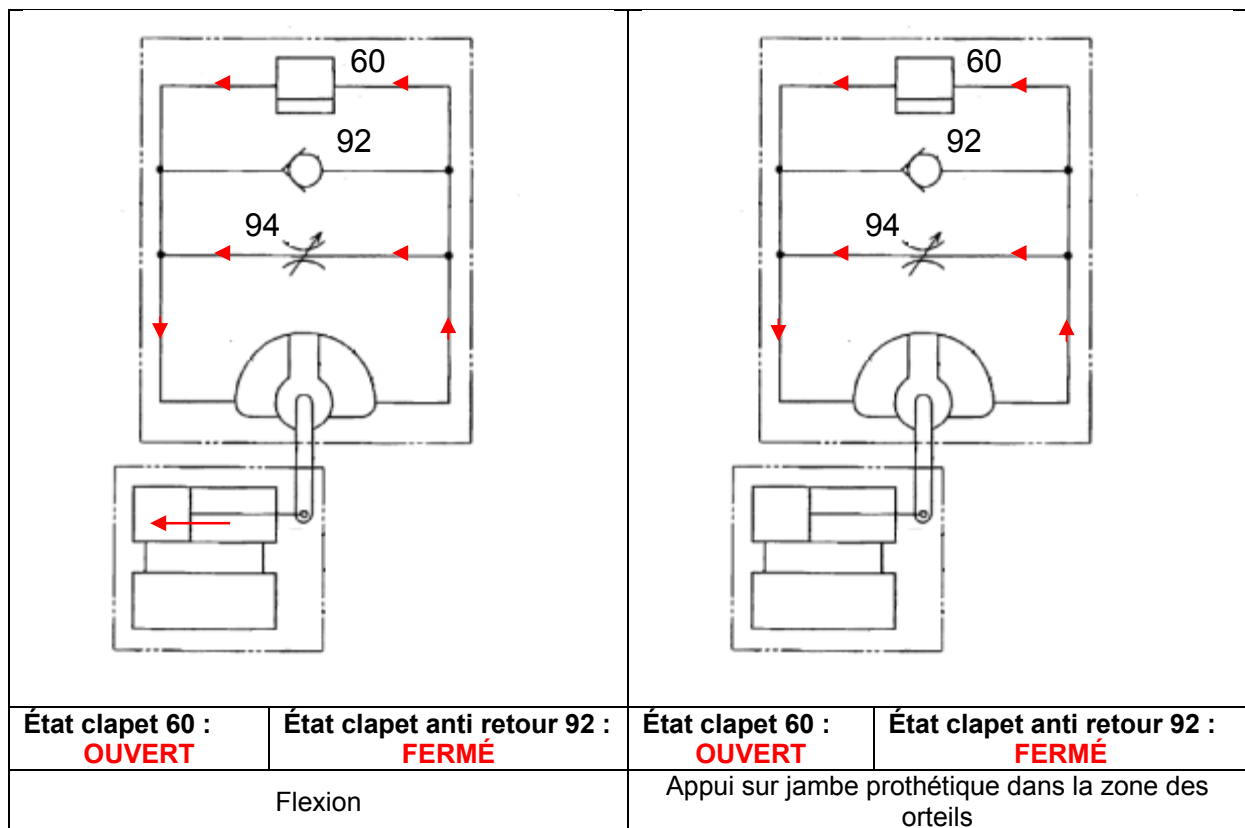
La condition d'ouverture s'écrit : $F_{60/50} = 0$.

Question 17



Question 18





Question 19

La structure du circuit hydraulique dans cette configuration permet au patient de plier son genou lors de la phase d'appui même quand le clapet 60 est fermé.

Cette structure permet aussi au patient, en appliquant son poids sur la prothèse, d'imposer une circulation de fluide au travers de 94 et ainsi fléchir sa jambe.

Question 20

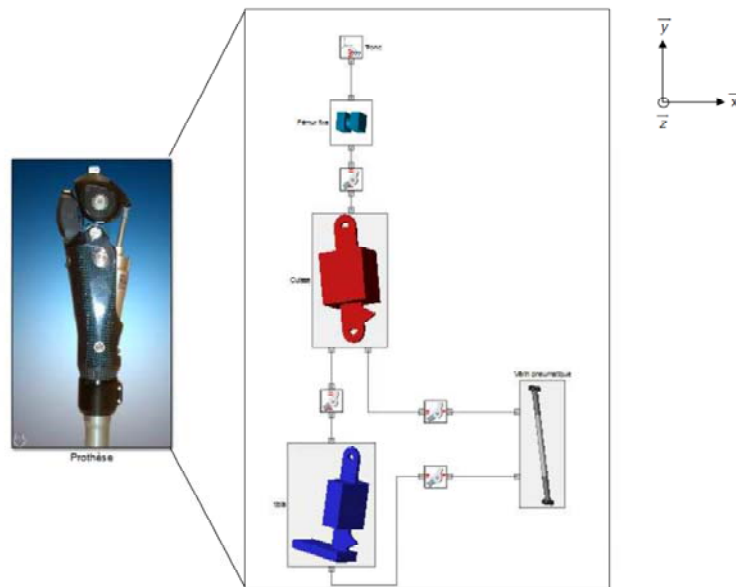
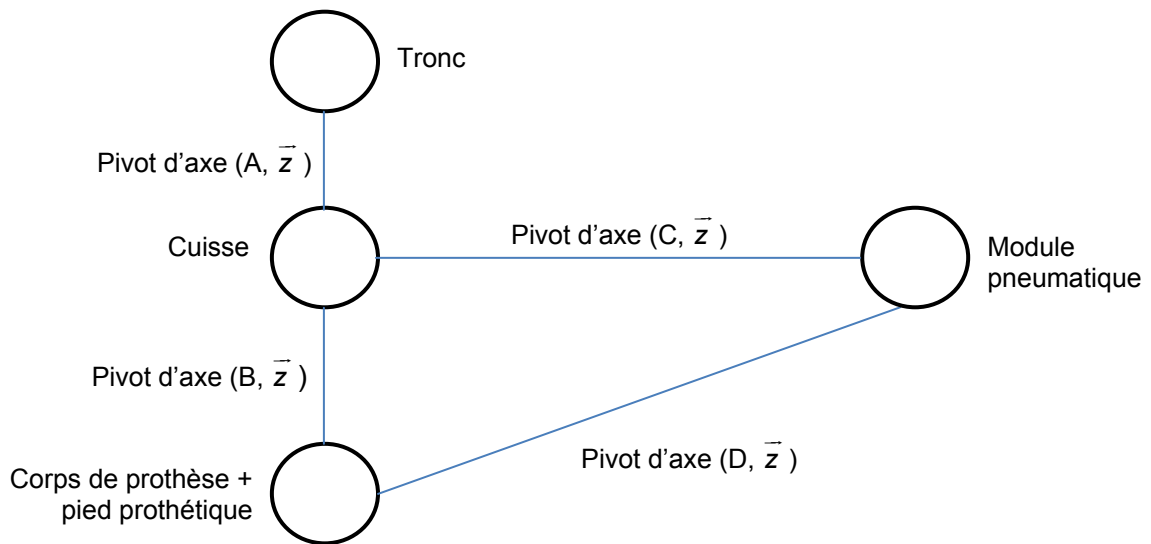
L'appui sur le talon permet de verrouiller la prothèse lors de l'appui de la jambe prothétique sur le sol. L'étrangleur 94 autorise la circulation du fluide entre les deux chambres d'où la possibilité de fléchir la jambe prothétique même en phase d'appui. Cette flexion contrôlée par le laminage du fluide à travers l'étrangleur 94 conduit à une marche plus harmonieuse en descente.

Attention la pose de la prothèse sur l'avant du pied conduit à la flexion du genou prothétique ce qui conduirait fatalement à une chute en cas d'appui fort sur la jambe d'où la nécessité d'un apprentissage de l'utilisation de cette prothèse.

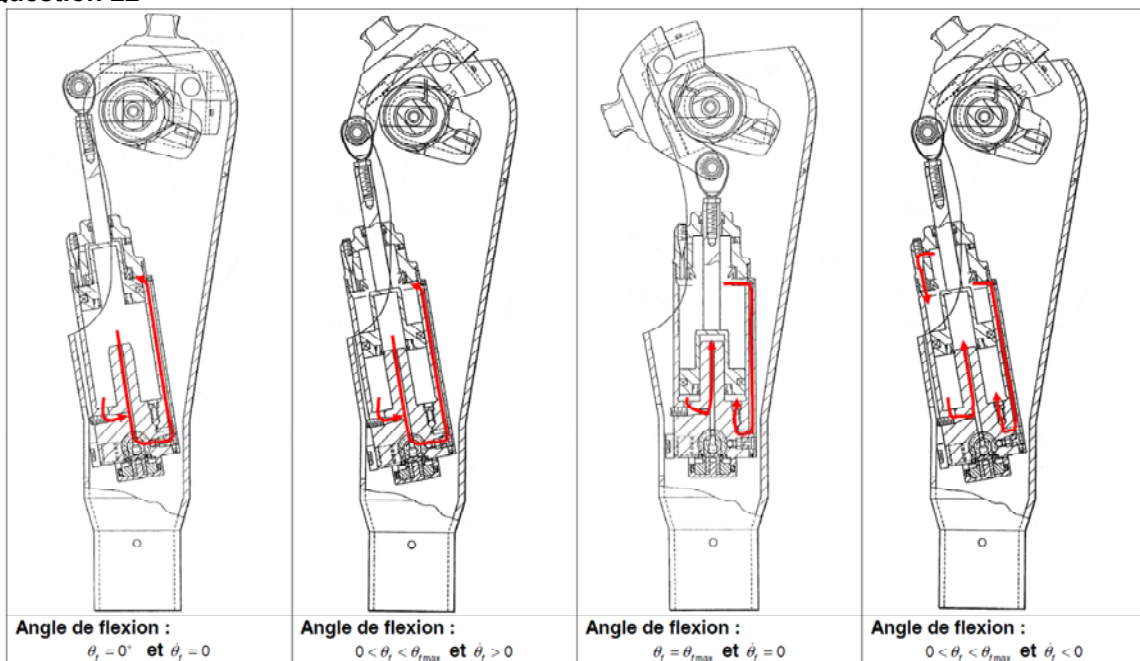
Question 21

En raison des mouvements dans le plan (\bar{x}, \bar{y}) , une modélisation plane est privilégiée.

Dans ce cas, le graphe de liaison de la jambe prothétique est :



Question 22

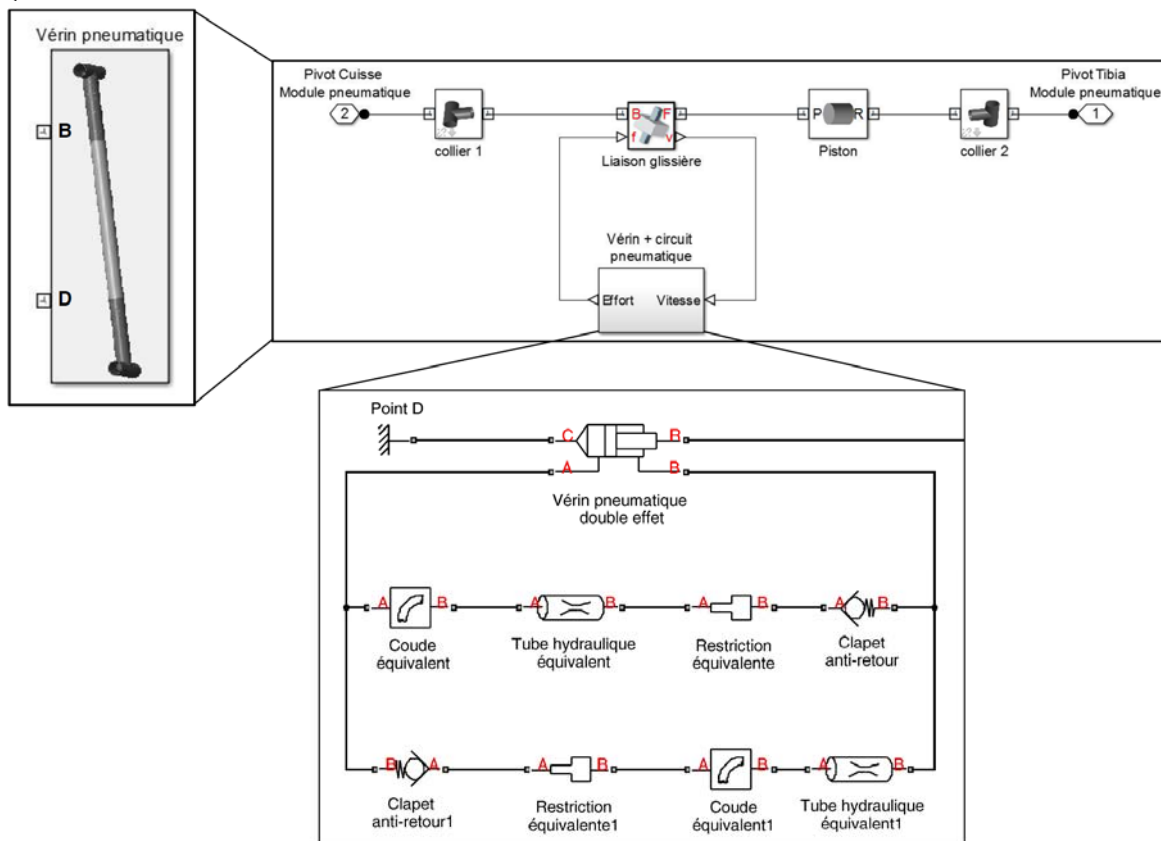


Question 23

La phase du cycle de marche durant laquelle la flexion est contrôlée par la valve pilotée est la première partie de la phase pendulaire. Cette phase correspond à la phase où $\dot{\theta}_f$ est positif. Conformément à la figure 18, l'angle de flexion varie en partie vis-à-vis de la vitesse de marche du patient équipé d'une prothèse passive. C'est donc durant cette phase qu'il est nécessaire de contrôler l'angle de flexion.

Le rôle des vis pointeau 40 et 41 est de créer un débit de fuite réglable entre les différentes chambres du vérin pneumatique. Ces débits de fuite permettent de créer des « amortisseurs » permettant un contrôle supplémentaire de l'angle de flexion. Elles agissent essentiellement lorsque l'angle de flexion est proche de l'angle maximal avec une vitesse angulaire de flexion positive, et lorsque l'angle de flexion est faible avec une vitesse angulaire de flexion négative. Elles permettent aussi aux praticiens d'adapter la prothèse aux patients par réglage des débits de fuite en fonction de la morphologie de celui-ci.

Question 24



Le bloc physique « Restriction équivalente1 » correspond à la valve pilotée, qui permet de contrôler la section de passage du fluide pneumatique, et donc les pertes de charge.

Question 25

$$\frac{dm}{dt} = q_{m,E} - q_{m,S}$$

Question 26

Équation gaz parfait : $\frac{p}{\rho} = rT$ avec $m = \rho V$ soit $p = \frac{mrT}{V}$

On dérive la relation précédente :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{rT}{V} \frac{dm}{dt} + \frac{mr}{V} \frac{dT}{dt} - \frac{mrT}{V^2} \frac{dV}{dt}$$

Or $\frac{mr}{V} = \frac{p}{T}$ et $\frac{mrT}{V} = p$

Donc :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{rT}{V} \frac{dm}{dt} + \frac{p}{T} \frac{dT}{dt} - \frac{p}{V} \frac{dV}{dt},$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{rT}{V} (q_{m_E} - q_{m_S}) + \frac{p}{T} \frac{dT}{dt} - \frac{p}{V} \frac{dV}{dt}.$$

Question 27

Le premier principe de la thermodynamique s'écrit :

$$dU + dE_c + dE_p = \delta W + \delta Q,$$

où :

dU représente la variation d'énergie interne ;

dE_c la variation d'énergie cinétique ;

dE_p la variation d'énergie potentielle ;

δW le travail des efforts extérieurs ;

et δQ la quantité de chaleur échangée avec l'extérieur.

Expression des différents termes :

Énergie interne :

$$dU = [(m + dm_e) c_v (T + dT) + dm_s c_v T_s] - [(m + dm_s) c_v T + dm_e c_v T_e]$$

$$dU = m c_v dT + dm_e c_v (T - T_e) + dm_s c_v (T_s - T)$$

Énergie cinétique :

$$dE_c = \frac{1}{2} dm_s v_s^2 - \frac{1}{2} dm_e v_e^2$$

Énergie potentielle :

$$dE_p = 0$$

Travail des forces extérieures :

$$\delta W = -pdV + p_e dV_e - p_s dV_s,$$

où $-pdV$ est le travail échangé avec le piston, $p_e dV_e$ le travail des forces de pression p_e sur la section droite d'entrée et $-p_s dV_s$ le travail des forces de pression p_s sur la section droite de sortie.

$$\delta W = -pdV + \frac{p_e}{\rho_e} dm_e - \frac{p_s}{\rho_s} dm_s.$$

Échange thermique avec la paroi de la chambre :

$$\delta Q = \lambda S_c (T_c - T) dt$$

où λ est le coefficient de transfert thermique par convection entre le gaz et la paroi, S_c l'aire totale intérieure de la chambre correspondant à la surface d'échange entre le gaz et la paroi de la chambre, et T_c la température de la paroi de la chambre, supposée constante.

$$m c_v dT + dm_e c_v (T - T_e) + dm_s c_v (T_s - T) = \frac{1}{2} dm_s v_s^2 - \frac{1}{2} dm_e v_e^2 - pdV + \frac{p_e}{\rho_e} dm_e - \frac{p_s}{\rho_s} dm_s + \delta Q$$

$$m c_v dT + c_v (dm_e - dm_s) T = -pdV + dm_e \left[c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} \right] - dm_s \left[c_v T_s + \frac{p_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} \right] + \delta Q$$

Question 28

Par dérivation, on obtient, avec $q_{m_i} = dm_i/dt$:

$$mc_v \frac{dT}{dt} + c_v \left(\frac{dm_e}{dt} - \frac{dm_s}{dt} \right) T = -p \frac{dV}{dt} + q_{me} \left[c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} \right] - q_{ms} \left[c_v T_s + \frac{p_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} \right] + \frac{\delta Q}{dt}$$

$$mc_v \frac{dT}{dt} = -p \frac{dV}{dt} + q_{me} \left[c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} - c_v T \right] - q_{ms} \left[c_v T_s + \frac{p_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} - c_v T \right] + \frac{\delta Q}{dt}$$

Question 29

Les différentes hypothèses permettent d'écrire :

- $\delta Q = 0$
- $\delta W = -p dV$
- $h = c_p T = c_v T + \frac{p}{\rho}$
- à l'entrée : $h + \frac{v^2}{2} = c_v T_e + \frac{v_e^2}{2} = c_p T_r$
à la sortie : $h + \frac{v^2}{2} = c_v T_s + \frac{v_s^2}{2} = c_p T$

Point de départ :

$$mc_v \frac{dT}{dt} = -p \frac{dV}{dt} + q_{me} \left[c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} - c_v T \right] - q_{ms} \left[c_v T_s + \frac{p_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} - c_v T \right] + \frac{\delta Q}{dt}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{p}{mc_v} \frac{dV}{dt} + \frac{q_{me}}{mc_v} \left[c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} - c_v T \right] - \frac{q_{ms}}{mc_v} \left[c_v T_s + \frac{p_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} - c_v T \right]$$

Gaz parfait : $c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} = c_p T_e = h_e$,

Formule de Zeuner : $h + \frac{v^2}{2} = c^{ste}$,

$$c_p T_e + \frac{v_e^2}{2} = c_p T$$

$$c_v T_s + \frac{v_s^2}{2} = c_p T$$

$$\frac{1}{mc_v} \left[c_v T_e + \frac{p_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} - c_v T \right] = \frac{1}{mc_v} [c_p T - c_v T] = \frac{1}{m} (\gamma T - T) = \frac{rT}{pV} (\gamma T - T)$$

$$\frac{1}{mc_v} \left[c_v T_s + \frac{p_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} - c_v T \right] = \frac{1}{mc_v} [c_p T - c_v T] = \frac{1}{m} [\gamma T - T] = \frac{rT^2}{pV} [\gamma - 1]$$

$$\frac{dT}{dt} = -(\gamma - 1) \frac{T}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{rT}{pV} (\gamma T - T) q_{me} - \frac{rT^2}{pV} [\gamma - 1] q_{ms}$$

Question 30

$$\frac{dp}{dt} = \frac{rT}{V} (q_{m_E} - q_{m_S}) + \frac{p}{T} \frac{dT}{dt} - \frac{p}{V} \frac{dV}{dt}$$

avec $\frac{dT}{dt} = -(\gamma - 1) \frac{T}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{rT}{pV} (\gamma T - T) q_{me} - \frac{rT^2}{pV} [\gamma - 1] q_{ms}$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{rT}{V} (q_{m_E} - q_{m_S}) - \frac{p}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{p}{T} \left[-(\gamma - 1) \frac{T}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{rT}{pV} (\gamma T - T) q_{me} - \frac{rT^2}{pV} [\gamma - 1] q_{ms} \right]$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{rT}{V} (q_{m_E} - q_{m_S}) - \frac{p}{V} \frac{dV}{dt} \left[-(\gamma - 1) \frac{p}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{r}{V} (\gamma T - T) q_{me} - \frac{rT}{V} [\gamma - 1] q_{ms} \right]$$

$$\frac{dp}{dt} = - \left[\gamma \frac{p}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{\gamma r T}{V} (q_{me} - q_{ms}) \right]$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\gamma r T}{V} (q_{me} - q_{ms}) - \frac{\gamma r T}{V} \frac{p}{r T} \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\gamma r T}{V} (q_{me} - q_{ms}) - \frac{\gamma r T}{V} \frac{p}{r T} S v$$

L'équation à considérer dépend de la phase de fonctionnement de la prothèse :

$$\text{Si } q_{m_E} = 0 ; \frac{dp}{dt} = -\frac{\gamma r T}{V} q_{ms} - \frac{\gamma r T}{V} \frac{p}{r T} S v$$

$$\text{Si } q_{m_S} = 0 ; \frac{dp}{dt} = \frac{\gamma r T}{V} q_{me} - \frac{\gamma r T}{V} \frac{p}{r T} S v$$

Question 31

La figure 33 montre l'évolution de l'angle de flexion en fonction du cycle de marche pour une prothèse passive pour 3 vitesses de marche. On note que l'angle de flexion est fortement influencé par la vitesse de marche du patient, ce qui est validé par les résultats expérimentaux de la figure 18. En effet, l'angle maximal de flexion du genou varie de 83° à 48° respectivement pour la vitesse rapide et la vitesse lente. Ces résultats permettent de valider le modèle proposé.

On note cependant que les résultats de simulation permettent à l'angle de flexion de devenir négatif, ce qui est impossible sur le système réel. En effet, le module hydraulique intervient pour s'affranchir de ce problème, mais n'est pas intégré dans le modèle de simulation.

De plus, on note que l'angle de flexion s'annule à la fin des 60 % de la phase pendulaire pour la vitesse de marche rapide, permettant ainsi la pose du pied prothétique sur le talon, et donc d'assurer une marche correcte du patient prothétique.

Question 32

La figure 34 montre l'évolution de l'angle de flexion pour une même vitesse de marche, avec 3 sections de passage du fluide à partir du modèle d'une prothèse hybride. La section de passage du fluide contrôlée par la valve pilotée permet de limiter la variation angulaire du genou prothétique. En effet, pour une même vitesse de marche l'angle maximal de flexion du genou est réglable de 52° à 24°. Ce réglage est réalisé par la création d'une perte de charges supplémentaire, en raison de la restriction de passage du fluide. Les résultats de simulation du modèle hybride permettent donc de valider la solution technique réalisant le contrôle de l'angle de flexion pendant la phase pendulaire.

De la même façon, l'angle de flexion devient négatif en fin de phase pendulaire sur le modèle simulé, en raison de la non modélisation du module hydraulique.

Cette simulation ne montrant que l'influence de la section de passage du fluide sur le comportement dynamique de la prothèse de genou, elle ne permet cependant pas de déterminer la loi de commande du moteur pas à pas permettant de contrôler l'angle de flexion en fonction de la vitesse de marche du patient.

Cette loi de commande pourrait être déterminée à l'aide d'un modèle inverse, mais difficile à obtenir en raison du comportement non linéaire de la prothèse.

Par conséquent, une approche par simulation est à privilégier. Cette loi de commande sera gérée par un microcontrôleur, dont l'information de vitesse de marche sera fournie par un capteur.

Question 33

La relation décrivant la contrainte normale se traduit par :

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ avec } S = \pi \left(\frac{D_{ext}^2}{4} - \frac{D_{int}^2}{4} \right)$$

Question 34

Le prix du vérin, avec le modèle simplifié adopté s'exprime par :

$$\text{Prix} = P_m \times \text{masse} = P_m \times \rho \times \text{volume} = P_m \times \rho \times \text{longueur} \times \pi \left(\frac{D_{\text{ext}}^2}{4} - \frac{D_{\text{int}}^2}{4} \right)$$

En traduisant la condition de résistance à la compression, on obtient :

$$D_{\text{ext}}^2 \geq \frac{4Fs}{\pi R_{pc}} + D_{\text{int}}^2$$

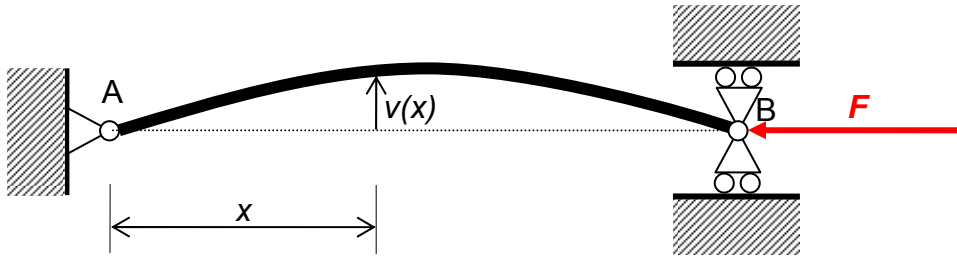
$$\text{Le prix s'exprime alors par : } \text{Prix} = P_m \times \rho \times \text{longueur} \times \frac{F \times s}{R_{pc}} = F \times \text{longueur} \times s \times \left[\frac{P_m \times \rho}{R_{pc}} \right]$$

Pour un effort F donné, un coefficient de sécurité s donné, et une longueur donnée, l'indice de performance Prix1 s'exprime par :

$$\text{Prix1} = \left[\frac{P_m \times \rho}{R_{pc}} \right]$$

Question 35

Modélisation



À l'équilibre pour $0 < x < L$: $M_z = -Fv(x)$

En prenant l'équation du moment fléchissant : $M_z + Fv(x) = 0$

Sachant que : $\frac{\partial^2 v(x)}{\partial x^2} = \frac{M_z}{EI}$

$v(x)$ est fonction que d'une variable x donc :

$$\frac{d^2 v(x)}{dx^2} = \frac{M_z}{EI}$$

$$EI \frac{d^2 v(x)}{dx^2} + Fv(x) = 0$$

Équation différentielle du second ordre à coefficients constants, sans second membre, posons :

$$\Omega^2 = \frac{F}{EI}$$

Solution générale de l'équation : $v(x) = A \cos(\Omega x) + B \sin(\Omega x)$

Conditions limites :

$$x = 0; v(0) = 0 \Rightarrow A = 0$$

$$x = L; v(L) = 0 \Rightarrow B \sin(\Omega L) = 0$$

$$\Omega = \frac{k\pi}{L}$$

Solution de l'équation : $v(x) = B \sin\left(\frac{k\pi}{L} x\right)$

La charge critique de compression est égale : $F = \frac{k^2 \pi^2}{L^2} EI$

Pour la première demi-onde (mode 1) :

$$F = \frac{\pi^2}{L^2} EI$$

Cette valeur de F correspond au seuil de flambement. Pour que la poutre ne flambe pas et reste en équilibre en compression simple, il faut que $F < F_{cc}$:

$$F_{cc} = \frac{\pi^2}{L^2} EI .$$

Le prix du vérin, avec le modèle simplifié adopté s'exprime toujours par :

$$\text{Prix} = P_m \times \rho \times \text{longueur} \times \pi \left(\frac{D_{ext}^2}{4} - \frac{D_{int}^2}{4} \right)$$

En traduisant la condition de non flambement en mode 1, on obtient :

$$D_{ext}^4 \geq \frac{64FH^2}{\pi^3 E} + D_{int}^4$$

Pour un effort F donné, un diamètre intérieur D_{int} donné, et une longueur H donnée, l'indice de performance $Prix2$ s'exprime par :

$$\text{Prix2} = \left[\frac{P_m \times \rho}{\sqrt{E}} \right]$$

Question 36

Les 2 indices de performances $Prix1$ et $Prix2$ permettent, par analyse des cartes à bulles de sélectionner une ou plusieurs familles de matériaux. L'objectif étant de minimiser le prix global du vérin, il est nécessaire, pour les indices de performances, de chercher à les minimiser.

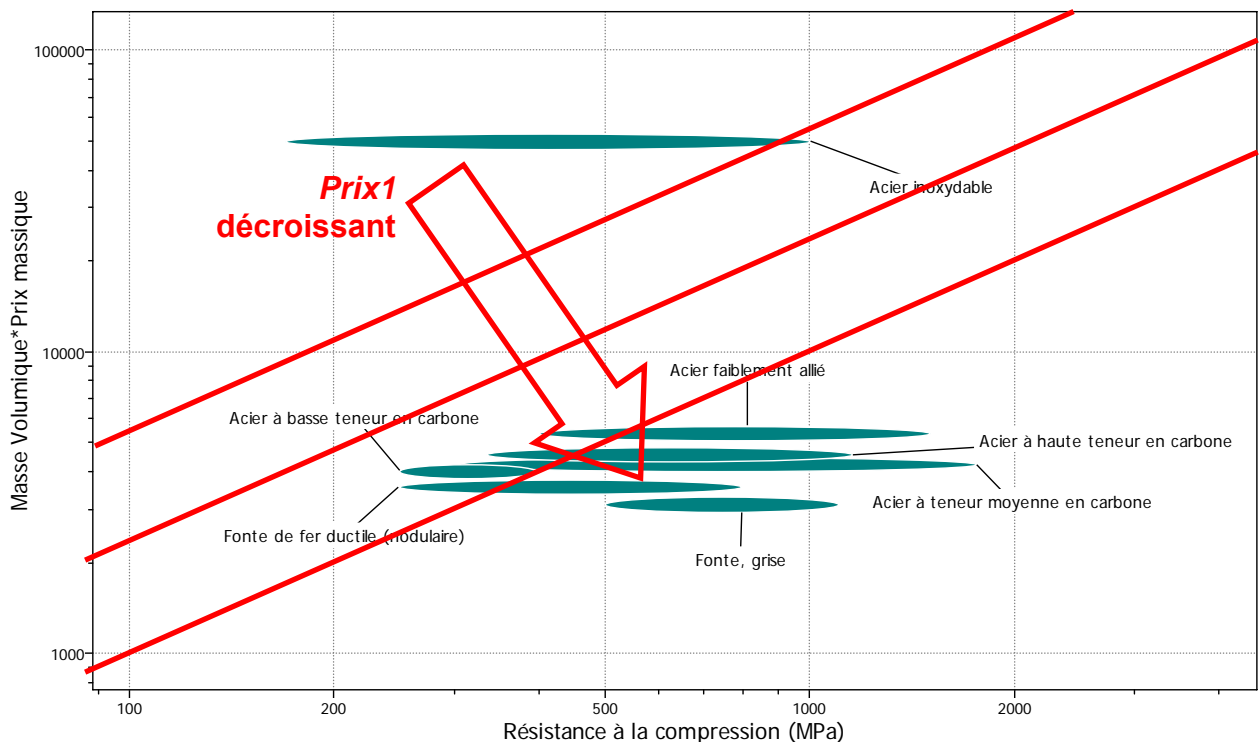
L'indice de performance $Prix1$ s'exprime par : $\text{Prix1} = \left[\frac{P_m \times \rho}{R_{pc}} \right]$.

Afin de satisfaire les objectifs 1 et 2, il faut donc choisir un matériau possédant le rapport $\frac{P_m \times \rho}{R_{pc}}$ le plus petit.

En tenant compte des échelles logarithmiques, on obtient donc :

$$\log(\text{Prix1}) = \log \left(\frac{P_m \times \rho}{R_{pc}} \right) = \log(P_m \times \rho) - \log(R_{pc}) \text{ ou alors : } \log(P_m \times \rho) = \log(R_{pc}) + \log(\text{Prix1}) .$$

En traçant les droites de pente 1 sur le graphe ($P_m \times \rho$, R_{pc}), on obtient donc les matériaux suivants :



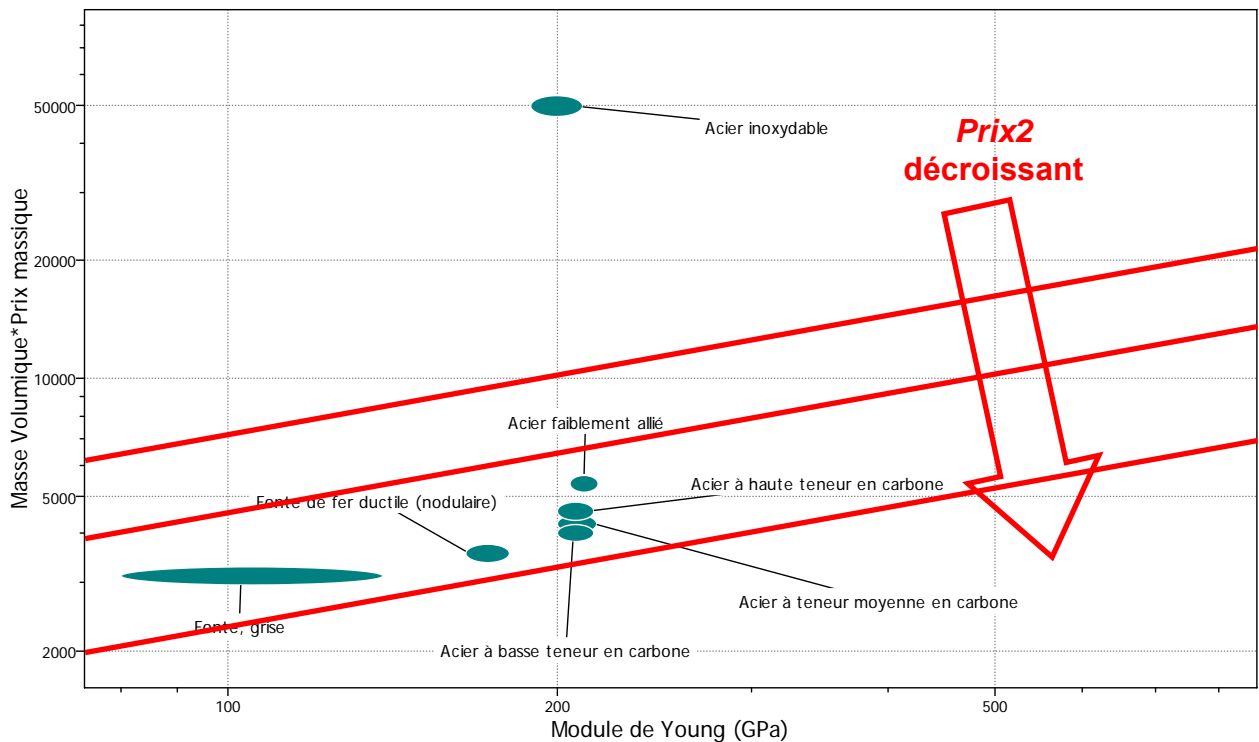
L'indice de performance $Prix2$ s'exprime par : $Prix2 = \left[\frac{P_m \times \rho}{\sqrt{E}} \right]$.

Afin de satisfaire les objectifs 1 et 2, il faut choisir un matériau possédant le rapport $\frac{P_m \times \rho}{\sqrt{E}}$ le plus petit.

En tenant compte des échelles logarithmiques, on obtient donc :

$$\log(Prix2) = \log\left(\frac{P_m \times \rho}{\sqrt{E}}\right) = \log(P_m \times \rho) - \frac{1}{2}\log(E) \text{ ou alors : } \log(P_m \times \rho) = \frac{1}{2}\log(E) + \log(Prix2).$$

En traçant les droites de pente 1/2 sur le graphe ($P_m \times \rho$, E), on obtient donc les matériaux suivants :



L'analyse des 2 cartes à bulles d'Ashby permet de sélectionner les familles de matériaux suivantes : Fonte grise, Fonte de fer ductile (nodulaire) et Acier à teneur moyenne en carbone.

Question 37

L'objectif 3 concerne le procédé d'obtention du vérin en fonction des matériaux.

La famille des matériaux imposée est la famille des métaux et alliages ferreux.

Par conséquent, les procédés d'obtention du vérin sont :

- le moulage ;
- l'usinage (par enlèvement de matière, jet d'eau, laser, ...) ;
- le forgeage ;
- l'emboutissage ;
- l'extrusion.

Afin de choisir le procédé le mieux adapté, les critères de choix sont :

- l'usinabilité ;
- la précision dimensionnelle du procédé et état de surface ;
- la consommation énergétique du procédé et écoconception ;
- le nombre de pièces à produire ;
- le coût du procédé et de sa mise en œuvre.

Procédés	Moulage	Usinage	Forgeage	Emboutissage	Extrusion
Critères					
Usinabilité	☺				
Nombre de pièces à produire	☹ ☹	☺	☹ ☹ ☹	☹	
Etat de surface et précision dimensionnelle	☹ ☹	☺ ☺	☹	☹	☹
Ecoconception	☹ ☹	☺	☺	☹	☹
Coût du procédé et de sa mise en œuvre	☹ ☹ ☹	☹	☹	☹	

Le procédé le plus adapté est l'usinage. Il serait nécessaire de faire une étude plus approfondie afin de déterminer parmi les procédés d'usinage (enlèvement de matière, oxycoupage, jet d'eau, laser, ...) précisément le procédé le plus adapté au vérin sur les critères énoncés précédemment.

Question 38

Il est possible de synthétiser les performances écologiques par le tableau ci-dessous :

Matériaux	34CrMo4	X3CrNiMoN27-5-2
Critères		
Empreinte carbone (kg CO ₂)	1,4 ☺	2,7 ☹ +93%
Eutrophisation de l'eau (kg PO ₄)	1,1.10 ⁻³ ☺	9,3.10 ⁻³ ☹ ☹ +745%
Acidification de l'air (kg SO ₂)	5,4.10 ⁻³ ☺	0,011 ☹ +103%
Energie totale consommée (MJ)	14 ☺	26 ☹ +157%

Le matériau 34CrMo4 est bien plus adapté, car bien plus écologique que le matériau X3CrNiMoN27-5-2.

Question 39

$$F_{cc} = \frac{\pi^2}{L^2} EI = \frac{\pi^2 205\,000}{280^2} = 3561N$$

La charge appliquée F (600 N) est inférieure à la charge critique F_{cc} , donc le vérin convient.

Question 40

La section se plastifie pour la valeur F_p :

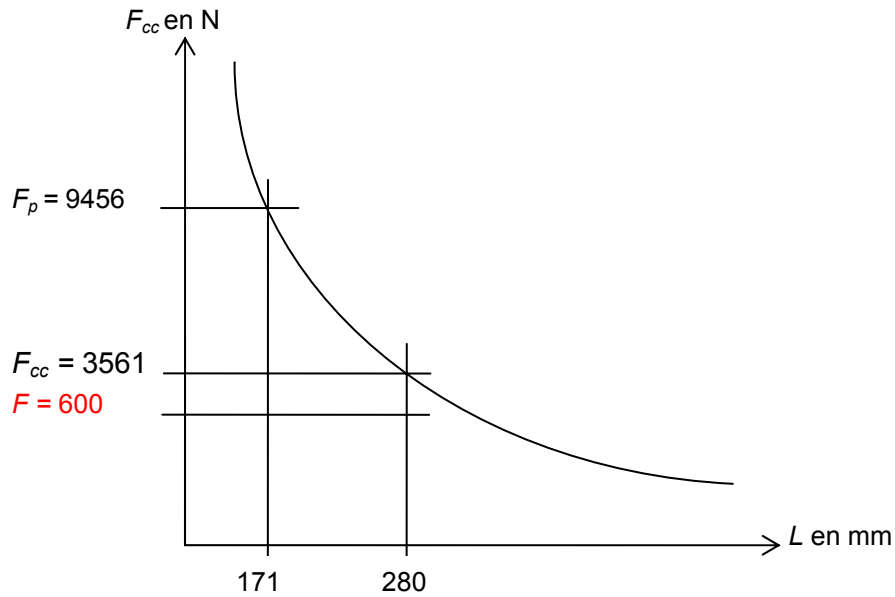
$$F_p = \sigma_e S = 430 \times \frac{\pi}{4} \times (8^2 - 6^2) = 9456 N$$

Si la force critique atteint cette valeur de F_p alors L est égale à :

$$F_p = \frac{\pi^2}{L^2} EI \text{ alors } L = \pi \sqrt{\frac{EI}{F_p}}$$

$$L = \pi \sqrt{\frac{205\,000 \times 138}{9456}} = 171mm$$

Courbe d'Euler F_{cc} en fonction de L :



Pour une valeur de L inférieure à 171 mm, la tige de vérin se détruit en compression simple car on a F_{cc} supérieure à F_p .

Question 41

$$\sigma_{cc} = \frac{F_{cc}}{S}$$

Le rayon de giration :

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{138}{22}} = 2,5 \text{ mm}$$

L'élanement (rapport sans dimension) :

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{280}{2,5} = 112$$

La contrainte critique s'écrit alors :

$$\sigma_{cc} = \frac{F_{cc}}{S} = \frac{\pi^2 EI}{L^2 S} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

La contrainte critique est égale à :

$$\sigma_{cc} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 205\,000}{112^2} = 162 \text{ MPa}$$

La contrainte normale est égale à :

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{600}{22} = 28 \text{ MPa}$$

La contrainte normale σ est inférieure à la contrainte critique σ_{cc} , donc le vérin convient.

Lorsque $\sigma_{cc} = \sigma_e$

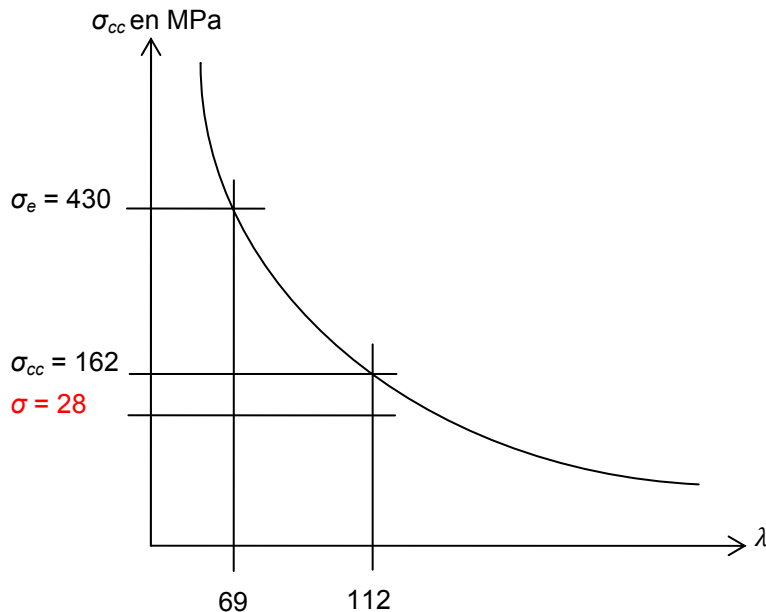
$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \Leftrightarrow \lambda = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_e}}$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt{\frac{205000}{430}} \approx 69$$

Avec une valeur de l'élongement λ inférieure à 69, il y a risque de plastification en compression simple car $\sigma_{cc} > \sigma_e$.

Question 42

Courbe d'Euler σ_{cc} en fonction de λ :



Question 43

L'étude précédente met en évidence les deux paramètres principaux qui influent sur le flambement, la longueur et l'élongement. Les calculs associés permettent de valider le matériau utilisé, le C45.

Question 44

Le sujet aborde l'amélioration des performances d'une prothèse de genou pour les amputés transfémoraux. La première partie s'intéresse à la description de la marche asymptomatique. La seconde partie propose une analyse des conséquences d'une amputation transfémorale et de la mise en place d'une prothèse passive, et des performances à améliorer en vue de la conception d'une prothèse active. L'amélioration des performances mise en évidence lors de cette seconde partie est testée par simulation, et donc par la mise en place d'un modèle de simulation multiphysique. Ce modèle de prothèse passive (partiellement élaboré dans le sujet) est validé par simulation vis-à-vis des performances recueillies sur un échantillon de genou sain.

Enfin la dernière partie s'intéresse au dimensionnement du vérin pneumatique, vis-à-vis de contraintes écologiques et de résistances mécaniques.

Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

1. Présentation du sujet

L'étude portait sur l'étude d'une prothèse de genou active 1P360 implantée suite à une amputation trans-fémorale. Le thème s'inscrit dans le contexte de la santé et du handicap : la prothèse permet de maximiser l'autonomie et la qualité de vie des personnes amputées.

Les études proposées aux candidats dans les différentes parties du sujet sont donc structurées autour de la problématique globale visant à permettre au sujet amputé de retrouver une marche proche de la marche asymptomatique.

2. Analyse globale des résultats

La majorité des candidats a abordé l'ensemble des parties du sujet. La progressivité de la difficulté dans le questionnaire a permis d'identifier les candidats les plus performants.

Le jury encourage les futurs candidats à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur à poursuivre leur effort de formation afin de développer les compétences spécifiques de sciences de l'ingénieur.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Partie 1 : description et modélisation de la marche asymptomatique

Le questionnaire proposait aux candidats de décrire à l'aide d'un diagramme états-transitions, le cycle simplifié de la marche puis d'établir un modèle de connaissance décrivant le comportement dynamique des membres lors de la marche d'un sujet sain, destiné à la conception d'un genou prothétique devant reproduire un comportement similaire.

Les méthodes énergétiques ne sont maîtrisées que par trop peu de candidats.

Partie 2 : description de la marche prothétique des amputés trans-fémoraux

Le questionnaire proposait aux candidats d'identifier et d'analyser les modifications inhérentes à la marche prothétique dans le cas d'une amputation trans-fémorale. Cette partie est consacrée essentiellement à l'étude comparative de la marche asymptomatique et de la marche prothétique.

Les analyses produites par les candidats sont souvent trop descriptives et n'aboutissent pas à des conclusions pertinentes vis-à-vis des problématiques abordées.

Partie 3 : étude de la prothèse active 1P360

Le questionnaire proposait aux candidats de décrire le fonctionnement de la prothèse active 1P360, de modéliser son comportement et de valider ses performances vis-à-vis des limites identifiées pour les prothèses passives.

L'aspect thermodynamique permettant d'obtenir un modèle de connaissance de la chambre du vérin pneumatique, a été très peu abordé, et les rares candidats l'ayant traité n'ont pas su convaincre le jury.

Le jury rappelle que la thermodynamique fait partie intégrante des sciences industrielles de l'ingénieur.

La modélisation multiphysique, découlant de l'analyse du fonctionnement du module pneumatique, sous forme de bloc physique, n'est que peu abordée et globalement non maîtrisée. Les analyses produites par les candidats sont trop souvent succinctes. De plus aucun bouclage sur la problématique globale et la validation d'un modèle n'est réalisé.

Partie 4 : dimensionnement du vérin pneumatique de la prothèse active 1P360

Le questionnement proposait aux candidats de déterminer le couple matériau – procédé pour le vérin pneumatique vis-à-vis de contraintes imposées et de valider le choix de ce matériau.

Partie 5 : synthèse de l'étude menée

Le questionnement proposait aux candidats de faire une synthèse décrivant et justifiant la démarche mise en œuvre dans le questionnement de ce sujet, pour répondre à la problématique globale d'amélioration des prothèses passives pour les sujets prothétiques ayant subi une amputation trans-fémorale.

La synthèse produite, par un très faible nombre de candidats, se réduit trop souvent à un argumentaire très éloigné de l'étude scientifique et technique attendue.

Le jury encourage les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury apprécie les copies où les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet.

Pour ce qui est de la présentation des copies, il est exigé de bien indiquer la démarche de résolution. Cette dernière doit être exposée avec rigueur, les hypothèses doivent être explicitées et les notations doivent être précises, claires et respecter scrupuleusement celles imposées dans le sujet.

De plus, les expressions littérales doivent être impérativement présentées de la façon suivante :

- l'expression littérale, sans aucune application numérique, est présentée encadrée ;
- l'expression est ensuite donnée en remplaçant les termes littéraux par leurs valeurs numériques, dans le même ordre que l'expression littérale ;
- le résultat numérique est ensuite indiqué avec l'unité, encadré.

Le jury apprécie les candidats qui justifient, ou même simplement expliquent, les démarches adoptées pour répondre aux questions posées.

Les réponses aux questions de synthèse doivent être argumentées et concises, et ne doivent pas se limiter à une simple lecture des courbes.

Si la majorité des candidats présente des copies claires, proprement rédigées, certains rendent des copies comportant de nombreuses ratures, ce qui est inadmissible de la part d'un futur enseignant.

4. Conclusions

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans le cadre de cette épreuve de l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur. Le champ couvert était large et l'accent a été mis tout particulièrement sur les aspects modélisation qui doivent être de plus en plus présents dans les préoccupations des formateurs des disciplines de sciences industrielles de l'ingénieur. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus (arrêté du 25/11/2011).

5. Résultats

169 copies ont été évaluées, dont 16 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8,3 / 20 et l'écart-type 3,5 / 20 avec :

- 18,9 comme meilleure note ;
- 0,5 comme note la plus basse.

