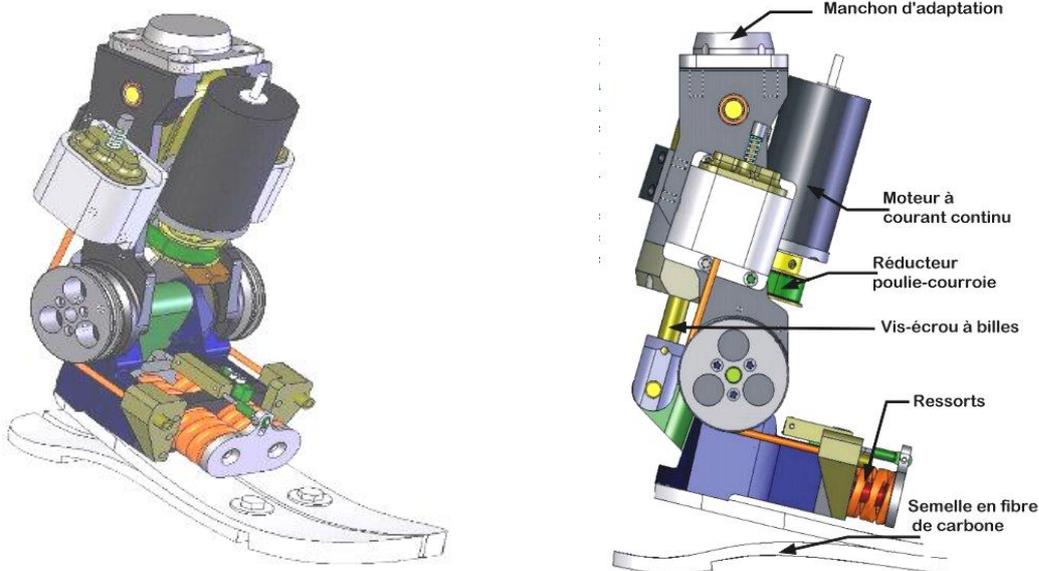


Prothèse transtibiale (d'après concours d'entrée Centrale/Supélec)

La majorité des prothèses transtibiales (pour une amputation en dessous du genou) utilisées aujourd'hui sont purement passives, c'est-à-dire que leurs propriétés mécaniques restent fixes pendant la marche. Ces prothèses sont constituées en général de semelles ressorts en carbone profilées qui emmagasinent et restituent l'énergie mécanique pendant la marche par déformation. Des ingénieurs du M.I.T. ont mis au point une prothèse active transtibiale capable de proposer un comportement similaire à celui des membres non amputés



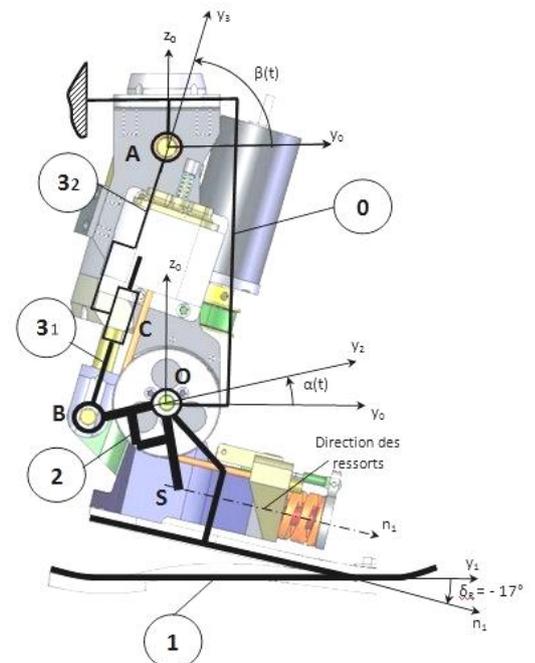
L'actionneur de la prothèse est un moteur à courant continu alimenté par une batterie rechargeable de 16 Volts. L'énergie mécanique est transmise par un réducteur de type poulies-courroie suivi d'un système vis-écrou qui adapte cette énergie mécanique pour la prothèse (ensemble de liaisons entre le pied artificiel constitué d'une semelle en fibres de carbone et le manchon ou tibia artificiel). Des ressorts permettent d'ajuster également l'énergie mécanique fournie au pied artificiel. L'effort exercé par les ressorts est directement relié au couple exercé par l'actionneur

Pour contrôler le mouvement, les muscles doivent compenser le moment imposé par le corps en déséquilibre. Cette action des muscles peut être modélisée par un **couple au niveau de la cheville agissant sur le pied 1** et noté C_{ch} appliqué au point O et tel que :

$$\vec{C}_{ch \rightarrow 1} = C_{ch} \cdot \vec{x}_0 \text{ avec } C_{ch} = 130 \text{ N.m}$$

$$\vec{OA} = a \cdot \vec{z}_0 \quad ; \quad \vec{BA} = \lambda(t) \cdot \vec{y}_3 \quad ; \quad \vec{BO} = b \cdot \vec{y}_2 \quad ;$$

avec $a = 0,117 \text{ m}$ et $b = 0,039 \text{ m}$



- 0 : Manchon d'adaptation (lié au tibia)
- 1 : Semelle
- 2 : Basculeur
- 31 : Tige du vérin électrique
- 32 : Corps du vérin électrique

L'action du manchon (0) sur la semelle (1) sera modélisée par le torseur au point O :

$$\{\mathcal{T}_O(\text{manchon} \rightarrow \text{semelle})\} = \{\mathcal{T}_O(0 \rightarrow 1)\} = \begin{cases} \overrightarrow{R_{O \rightarrow 1}} = Y_0 \cdot \overrightarrow{y_0} + Z_0 \cdot \overrightarrow{z_0} \\ \overrightarrow{M_{O \rightarrow 1}} = \overrightarrow{C_{ch \rightarrow 1}} = C_{ch} \cdot \overrightarrow{x_0} \end{cases}$$

L'action de contact du sol sur le pied (ou la semelle) sera modélisée par le torseur au point D :

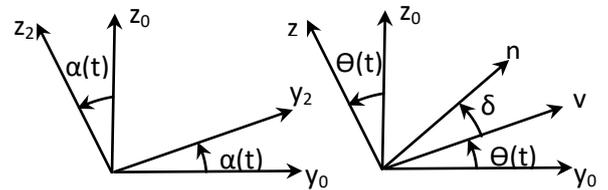
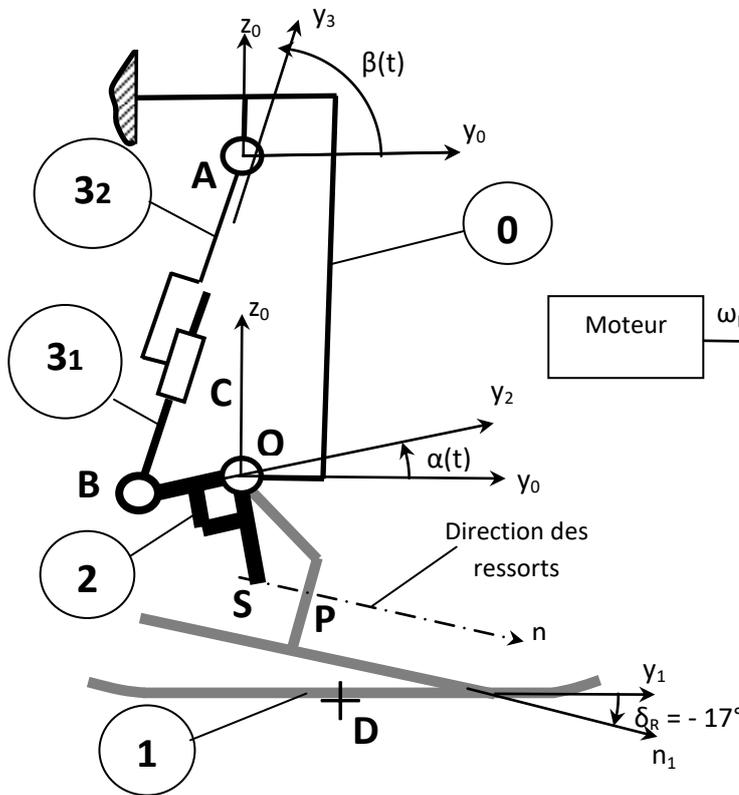
$$\{\mathcal{T}_D(\text{sol} \rightarrow \text{pied})\} = \{\mathcal{T}_D(\text{sol} \rightarrow 1)\} = \begin{cases} \overrightarrow{R_{s \rightarrow 1}} = Z_c \cdot \overrightarrow{z_0} \\ \overrightarrow{M_{C_s \rightarrow 1}} = \overrightarrow{0} \end{cases} \text{ appliqué au point C tel que : } \overrightarrow{OD} = \mathbf{c} \cdot \overrightarrow{y_0} - \mathbf{d} \cdot \overrightarrow{z_0}$$

avec $Z_c = 700 \text{ N}$; $c = 0,05 \text{ m}$ et $d = 0,06 \text{ m}$

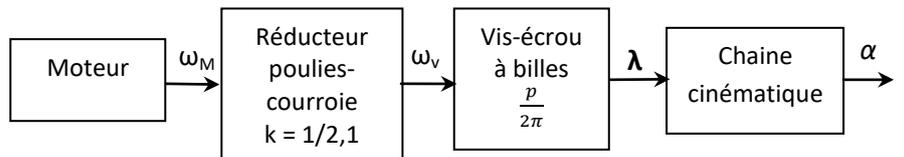
L'action des ressorts sur le basculeur(2) est modélisée par le torseur au point S :

$$\{\mathcal{T}_S(\text{ressorts} \rightarrow \text{basculeur})\} = \begin{cases} \overrightarrow{R_{r \rightarrow 2}} = -F_R \cdot \overrightarrow{n} \\ \overrightarrow{M_{S_r \rightarrow 2}} = \overrightarrow{0} \end{cases} \text{ appliqué au point S tel que : } \overrightarrow{OS} = -L \cdot \overrightarrow{z_2}$$

Le schéma cinématique représente le pied en position repos avec $\theta = 0^\circ$ et $\beta = 75^\circ$



Chaîne d'énergie de la prothèse



ω_M = vitesse de rotation de l'axe moteur (rad/s)
 ω_v = vitesse de rotation de la vis (rad/s)
 λ = déplacement en translation de l'écrou (pas de la vis : $p = 3 \text{ mm}$)
 α = angle de rotation du basculeur

Hypothèses d'étude :

- les liaisons sont géométriquement parfaites, sans jeu et sans frottement,
- le poids propre des pièces est négligé devant l'intensité des efforts mis en jeu,
- les actions d'inertie des différents solides sont négligées devant l'intensité des efforts mis en jeu
- Le système admet le plan Y_0Z_0 comme plan de symétrie

Questions

- 1) Réaliser le graphe de liaison du mécanisme considéré en indiquant le centre et l'axe principal de chaque liaison.
- 2) Déterminer le degré d'hyperstaticité du mécanisme. Préciser les différentes mobilités cinématiques
- 3) Que peut-on dire des actions en A et B ($\vec{F}_{A0 \rightarrow 32}$ et $\vec{F}_{B2 \rightarrow 31}$)?
Justifier l'affirmation : $\vec{F}_{A0 \rightarrow 32} = -Y_A \cdot \vec{y}_3$ et $\vec{F}_{B2 \rightarrow 31} = Y_B \cdot \vec{y}_3$
- 4) Ecrire les torseurs $\{\mathcal{J}_S(\text{ressorts} \rightarrow \text{basculeur})\}$ et $\{\mathcal{J}_B(31 \rightarrow 2)\}$ en O
- 5) On cherche à déterminer les actions en A et en B en fonction de F_R . Quel solide ou ensemble de solides faut-il isoler ?
- 6) Isoler ce solide ou ensemble de solides puis faire le bilan des actions qui lui sont appliquées.
- 7) Déterminer, en justifiant votre démarche, les actions mécaniques dans les liaisons en A et B en fonction de F_R , L, a, θ , α , β et δ
- 8) Sachant que $\{\mathcal{J}_S(\text{ressorts} \rightarrow \text{basculeur})\} = -\{\mathcal{J}_P(\text{ressorts} \rightarrow \text{semelle})\}$ et s'applique en P tel que $\vec{SP} = L_R \cdot \vec{n}$ écrire les torseurs $\{\mathcal{J}_D(\text{sol} \rightarrow \text{semelle})\}$ et $\{\mathcal{J}_P(\text{ressorts} \rightarrow \text{semelle})\}$ au point O

On cherche à exprimer l'expression de de F_R en fonction de C_{ch} , Z_C et des données géométriques.

- 9) Déterminer le solide ou l'ensemble de solides à isoler
- 10) Isoler ce solide ou ensemble de solides puis faire le bilan des actions qui lui sont appliquées.
- 11) Déterminer, en justifiant votre démarche, l'expression de de F_R en fonction de C_{ch} , Z_C et des données géométriques.
- 12) En déduire l'expression de Y_A en fonction de C_{ch} , Z_C et des données géométriques.

On donne ci-contre le schéma détaillé de la transmission comprenant le moteur électrique.

En C (centre de la liaison hélicoïdale), il s'applique sur l'écrou la force issue de l'action du couple moteur :

$$F_C = \frac{1}{K} \frac{2\pi}{p} C_M ;$$

$C_M =$ couple moteur

(sur l'arbre moteur),

$p =$ pas du système vis/écrou ($p = 3 \text{ mm}$)

$k = 1/2, 1$ (rapport transmission poulie-courroie)

13) Expliquer comment a été établie cette relation (isolements effectués, théorèmes appliqués ...)

14) En isolant (31), (32) ou (31)+(32) établir une relation entre F_C et F_A et(ou) F_B

15) Sachant que le couple maxi que peut fournir le moteur est de 2,5 N.m, vérifier son dimensionnement.

