

## Activation 1



### Assistance pour le maniement de charges dans l'industrie

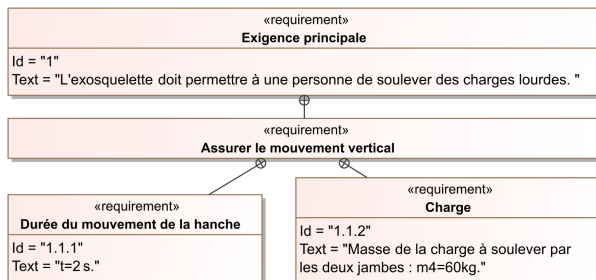
Concours Centrale Supélec TSI 2017

#### Savoirs et compétences :

- Mod2.C17.SF1 : déterminer le torseur dynamique d'un solide, ou d'un ensemble de solides, par rapport à un autre solide
- Res1.C2 : principe fondamental de la dynamique

### Mise en situation – Assurer le mouvement vertical

L'exosquelette est un appareil qui apporte à un être humain des capacités qu'il ne possède pas ou qu'il a perdues à cause d'un accident. Ce type d'appareil peut permettre à une personne de soulever des charges lourdes et diminuer considérablement les efforts à fournir sans la moindre fatigue. Après avoir revêtu un exosquelette adapté à sa morphologie et à sa taille, l'utilisateur peut faire ses mouvements en bénéficiant d'une grande fluidité.



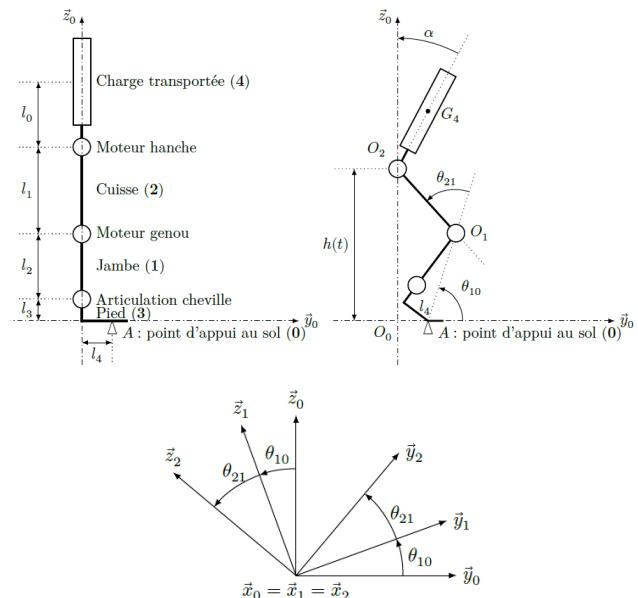
**Objectif** Proposer un modèle de connaissance des éléments réalisant l'exigence fonctionnelle « assurer le mouvement vertical » puis valider les performances attendues listées par le cahier des charges.

### Élaboration du modèle dynamique

**Objectif** Dimensionner le moteur situé au niveau d'un genou permettant à l'exosquelette de soulever une masse de 60 kg de la position accroupie à la position debout.

Ces calculs visent à déterminer l'équation dynamique qui permet d'obtenir le couple moteur (minimal) en fonction des caractéristiques géométriques et massique de la

charge à soulever ainsi que des conditions d'utilisation. Le modèle d'étude est celui représenté à la figure suivante correspondant au modèle d'étude plan position fléchie.



#### Hypothèses :

- L'étude est modélisable dans le plan.
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites.
- Les inerties des pièces sont négligées sauf la masse de la charge à soulever.
- L'angle  $\alpha$  entre la charge transportée et la verticale  $\vec{z}_0$  reste constant.
- $G_4$ , centre de gravité de la charge transportée (4), reste en permanence à la verticale du point A d'appui au sol.

#### Données :

- $\vec{O_1 G_4} = \lambda(t) \vec{z}_0 - L \cos \theta_{10} \vec{y}_0$  ;
- Accélération de la pesanteur  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$  ;
- Longueur de la cuisse  $l_1 = 43,1 \text{ cm}$ .
- Longueur de la jambe  $l_2 = 43,3 \text{ cm}$ .
- Longueur de l'articulation de la cheville à la plante arrière du pied  $l_3 = 6,9 \text{ cm}$ .
- Longueur de la plante arrière du pied au point d'appui sur le sol  $l_4 = 13 \text{ cm}$ .
- Longueur  $\vec{O_0 O_1} = L \vec{y}_1$  avec  $L = 51,8 \text{ cm}$ .
- Rapport de réduction :  $r = \frac{1}{120}$ .

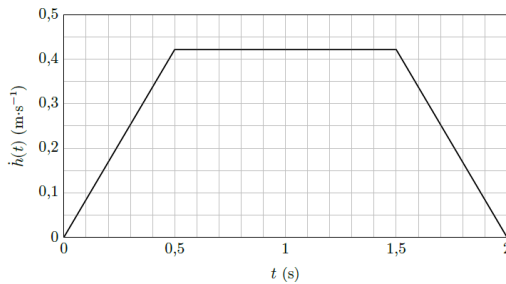
On note  $E = \{\text{cuisse}(2) + \text{charge transportée}(4)\}$ .

**Question 1** Donner qualitativement le mouvement de 4 par rapport à 0. Tracer le graphe de structure du système.

**Question 2** Déterminer  $\vec{\sigma}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0$  en fonction de  $m_4$ ,  $\dot{h}(t)$ ,  $L$  et  $\cos \theta_{10}$ .

**Question 3** Déduire  $\vec{\delta}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0$  en fonction de  $m_4$ ,  $\ddot{h}(t)$ ,  $L$  et  $\cos \theta_{10}$ .

La loi d'évolution de la vitesse de la hanche est donnée à la figure suivante.



**Question 4** Déterminer l'expression littérale du couple  $C_r$  exercé par l'arbre de sortie du réducteur sur le genou imposé par la loi d'évolution de la hanche et calculer numériquement ce couple pour une valeur de  $\theta_{10}$  égale à  $54,5^\circ$  correspondant à la valeur maximale du couple.

**Question 5** Calculer le couple  $C_m$  au niveau de l'arbre moteur du genou en prenant un facteur de perte  $\eta = 0,75$  (estimé à l'aide du modèle multiphysique).

**Question 6** Expliquer en moins de 5 lignes comment estimer un rendement à partir d'un modèle multiphysique.

### Validation du dimensionnement du moteur

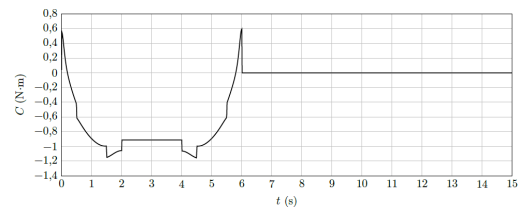
**Objectif** Vérifier que le moteur choisi convient pour une utilisation intensive comprenant 4 cycles par minute de descente suivie d'une montée.

Le cycle suivant obtenu à l'aide du modèle multiphysique de représente l'évolution du couple moteur, et ce en tenant compte du moment d'inertie du rotor, sur un cycle de période  $T = 15$  s.

Quatre phases sont définies sur cette période :

- phase 1 pour  $0 \leq t < 2$  s, valeur efficace du couple moteur  $C_1 = 0,838$  Nm;

- phase 2 pour  $2 \leq t < 4$  s, couple moteur constant  $C_2 = -0,912$  Nm;
- phase 3 pour  $4 \leq t < 6$  s, valeur efficace du couple moteur  $C_3 = 0,838$  Nm;
- phase 4 pour  $6 \leq t < 15$  s, couple moteur nul.



**Question 7** Préciser à quels mouvements correspondent les 4 phases de ce cycle.

Le couple efficace est également appelé couple thermiquement équivalent, il est défini par :  $C_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T c(t)^2 dt}$ . On a aussi  $C_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n C_{i,\text{eff}}^2 T_i}$

**Question 8** Calculer la valeur efficace du couple moteur du genou pour ce cycle périodique de 15 s.

### Retour sur l'objectif

Le couple moteur varie entre  $-1,156$  Nm et  $0,596$  Nm. Les caractéristiques du moteur choisi sont :

- vitesse à vide de  $3120 \text{ tr min}^{-1}$  pour une alimentation nominale en amont de l'onduleur de  $36 \text{ V}$ ;
- couple permanent admissible de  $0,560$  Nm;
- pente de la courbe de la vitesse en fonction du couple de  $423 \text{ tr min}^{-1} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ .

De plus une étude cinématique précédente a montré que le moteur permettant d'actionner le moteur doit pouvoir atteindre une vitesse de  $2200 \text{ tr min}^{-1}$ .

**Question 9** Conclure quant au choix de ce moteur au regard de la valeur maximale de la vitesse angulaire calculée lors d'une étude précédente et du couple efficace calculé à la question précédente et compléter le schéma bilan.

Éléments de corrigé :

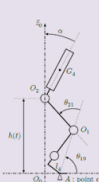
1.  $\vec{\sigma}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0 = -L m_4 \cos \theta_{10} \dot{h}(t)$ .
2.  $\vec{\delta}(O_1, E/0) \cdot \vec{x}_0 = -L m_4 \cos \theta_{10} \ddot{h}(t)$ .
3.  $C_r = -m_4 L \cos \theta_{10} (g + \ddot{h}(t)) \simeq 190,5 \text{ Nm}$ .
4.  $C_m \simeq 2,12 \text{ Nm}$ .
5. ...
6. ...
7. ...
8.  $C_{\text{eff}} \simeq 0,546 \text{ Nm}$ .

### Problématique

Le moteur pré-choisi permet d'assurer le fonctionnement de l'exosquelette ?

#### Domaine de la modélisation

Modèle cinématique



#### Résolution Cinématique

- $N_{\text{mot}} = 2200 \text{ tr min}^{-1}$

#### Domaine du client

##### Moteur choisi

- Vitesse à vide :  $3120 \text{ tr min}^{-1}$
- Couple permanent admissible :  $0,56 \text{ Nm}$

