

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2020

Corrigé

Ce corrigé comporte 11 pages numérotées de 1 sur 11 à 11 sur 11.

Robot nettoyeur multi-surfaces

1. Présentation

Q1. En prenant appui sur les remarques négatives communes aux deux structures de robot lave-vitres actuels, **citer** au moins deux besoins fonctionnels auxquels devra répondre le nouveau modèle de robot lave-vitres.

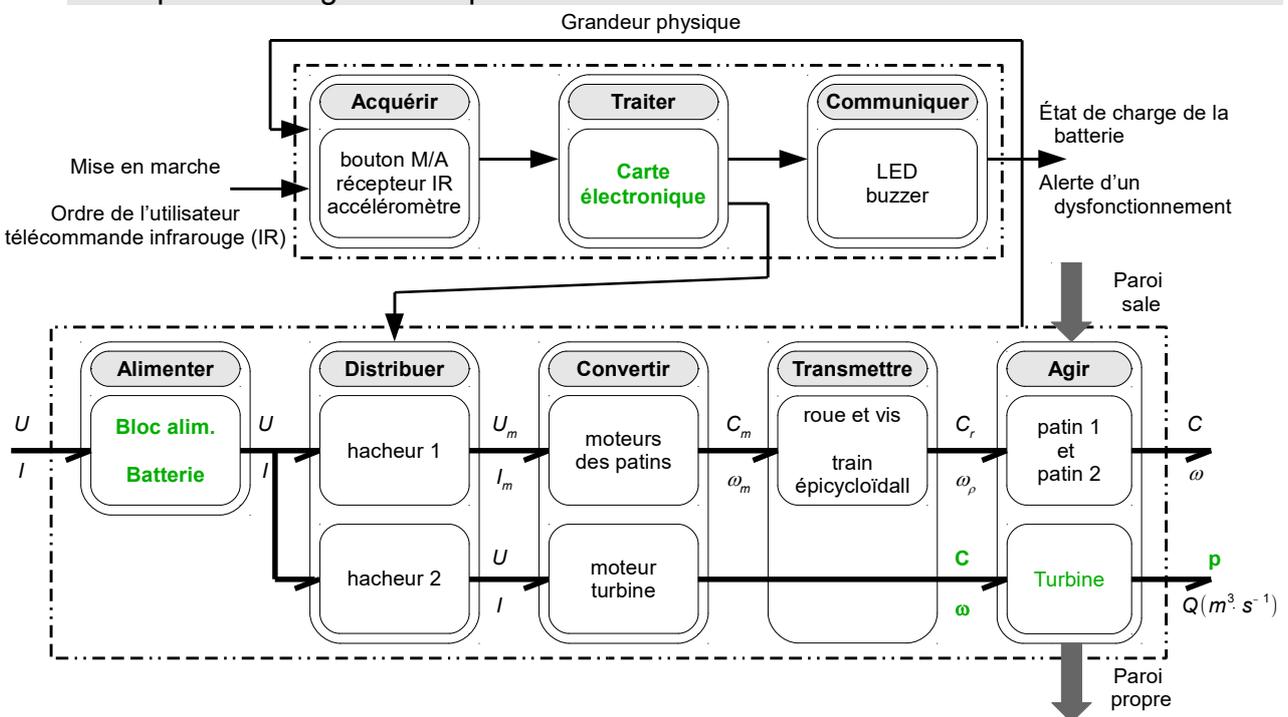
Travailler en toute sécurité.

Balayer la totalité de la paroi vitrée.

2. Déplacement du robot sur la vitre

Analyse structurelle du robot.

Q2. À partir des informations données dans la présentation du système et du document technique DT1 page 17, **compléter** le diagramme de la structure fonctionnelle du robot en plaçant les composants manquants sur le document réponse DR1 page 19. **Indiquer** les grandeurs d'effort et de flux manquantes et **préciser** la valeur numérique des grandeurs d'effort entrantes et sortantes du bloc « alimenter » dans le cas d'un fonctionnement normal et dans le cas d'une coupure d'énergie électrique.



grandeur d'effort entrante du bloc « alimenter » : 230 VCA

grandeurs d'efforts sortantes du bloc « alimenter » : 24 VCC ou 14,8 VCC

Détermination des paramètres nécessaires à l'élaboration du modèle multi-physique du déplacement du robot.

Q3. Écrire sous forme littérale l'équation scalaire du moment dynamique issue du principe fondamental de la dynamique appliqué à S dans son mouvement par rapport à la vitre au point O.

$$\text{PFD} \Rightarrow \{\mathcal{T}(\bar{S} \rightarrow S)\} = \{\mathcal{D}(S/\mathcal{R})\} \quad M(O, \bar{S} \rightarrow S) = I_O(S, \bar{z}) \cdot \ddot{\alpha}$$

$$- m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot OG + \|\vec{R}_D(\text{paroi vitrée} \rightarrow S)\| \cdot OD + N_O = I_O(S, \bar{z}) \cdot \ddot{\alpha}$$

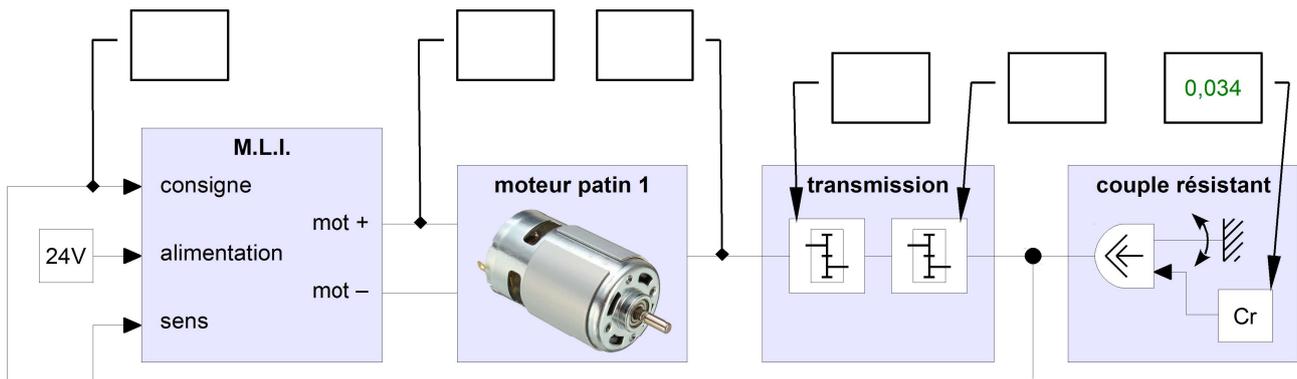
Q4. Déterminer la forme littérale du moment N_O , puis **faire** l'application numérique. Ce moment correspondant au couple résistant C_r , **reporter** le résultat sur le document réponse DR2 page 20.

$$N_O = I_O(S, \bar{z}) \cdot \ddot{\alpha} + m \cdot g \cdot \sin \theta \cdot OG - \|\vec{R}_D(\text{paroi vitrée} \rightarrow S)\| \cdot OD$$

$$I_O(S, \bar{z}) = I_G(S, \bar{z}) + m \cdot d^2 = 0,0044 + 0,933 \times 0,074^2 = 0,0095 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

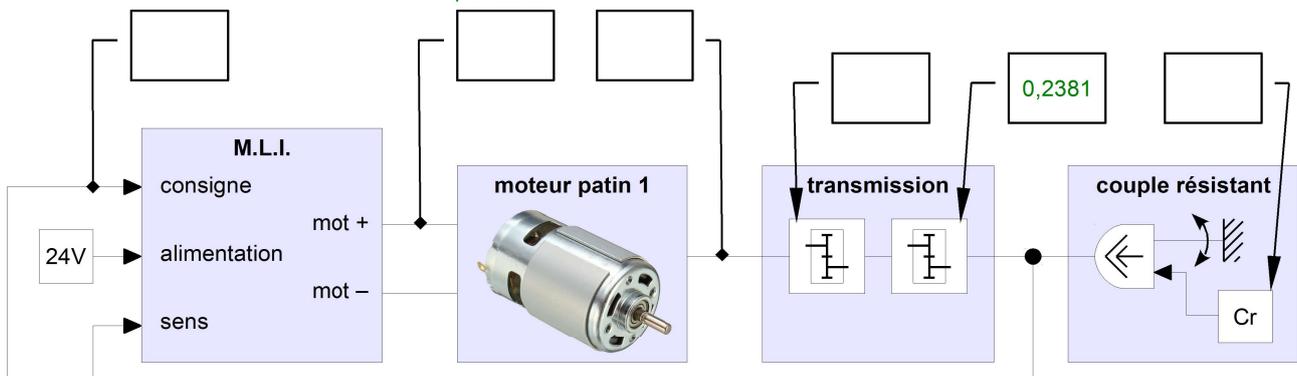
$$N = 6,67 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} = 0,698 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad \dot{\alpha} = \dot{\alpha} \cdot t + \alpha_0 \quad t = 0 \text{ s} \rightarrow \alpha_0 = 0 \quad \ddot{\alpha} = \frac{\dot{\alpha}}{t} = \frac{0,698}{0,13} = 5,37 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$N_O = (0,0095 \times 5,37) + (0,933 \times 9,81 \times \sin 30^\circ \times 0,074) - (2,4 \times 0,148) = 0,034 \text{ N} \cdot \text{m}$$



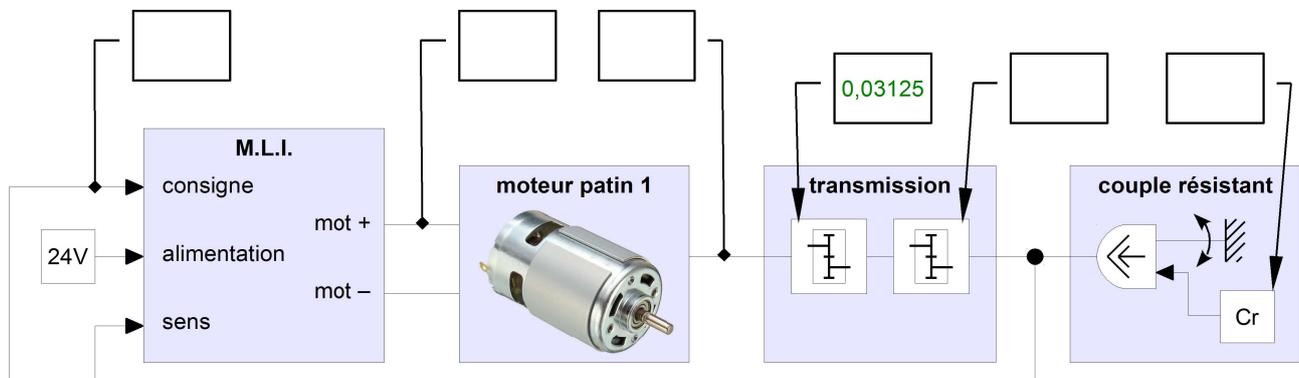
Q5. À partir du document technique DT1 page 17, **déterminer** le rapport de transmission du train épicycloïdal. **Reporter** le résultat sur le document réponse DR2 page 20.

$$r_{\text{porte-satellites/planétaire}} = \frac{Z_{\text{planétaire}}}{Z_{\text{couronne}} + Z_{\text{planétaire}}} = \frac{10}{32 + 10} = 0,2381$$



Q6. À partir du document technique DT1 page 17, **déterminer** le rapport de transmission $r_{roue/vis}$ du système roue et vis sans fin. **Reporter** le résultat sur le document réponse DR2 page 20.

$$r_{roue/vis} = \frac{Z_{vis}}{Z_{roue}} = \frac{1}{32} = 0,03125$$



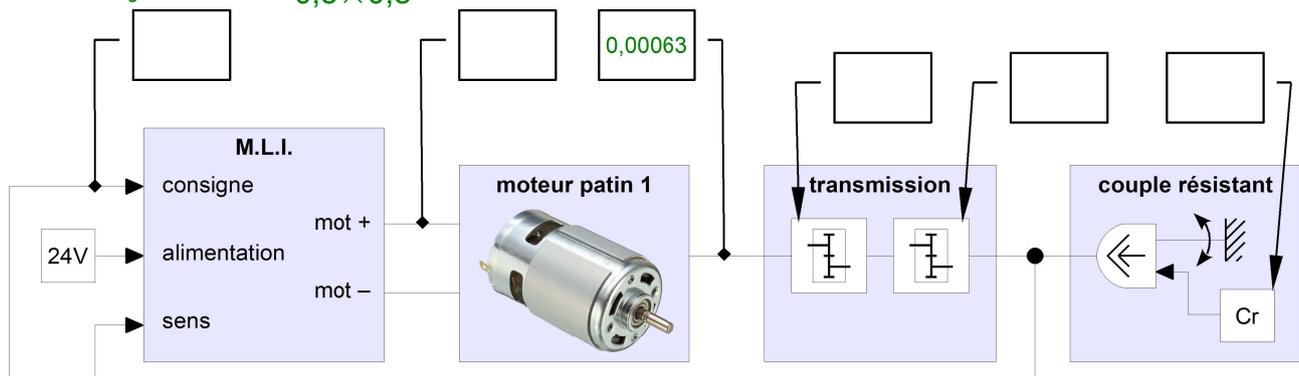
Q7. À l'aide de la figure 3 et après avoir calculé le rendement global η_{global} de la transmission et le rapport de réduction global r_{global} , **déterminer** l'expression du couple moteur patin en fonction du couple en sortie de la transmission.

$$r_{global} = 0,03125 \times 0,238 = 0,0074 \quad \eta_{global} = 0,5 \times 0,8 = 0,4$$

$$\eta_{global} = \frac{P_r}{P_m} = \frac{C_r \omega_r}{C_m \omega_m} \text{ au final } C_m = \frac{C_r}{\eta_{global}} r_{global}$$

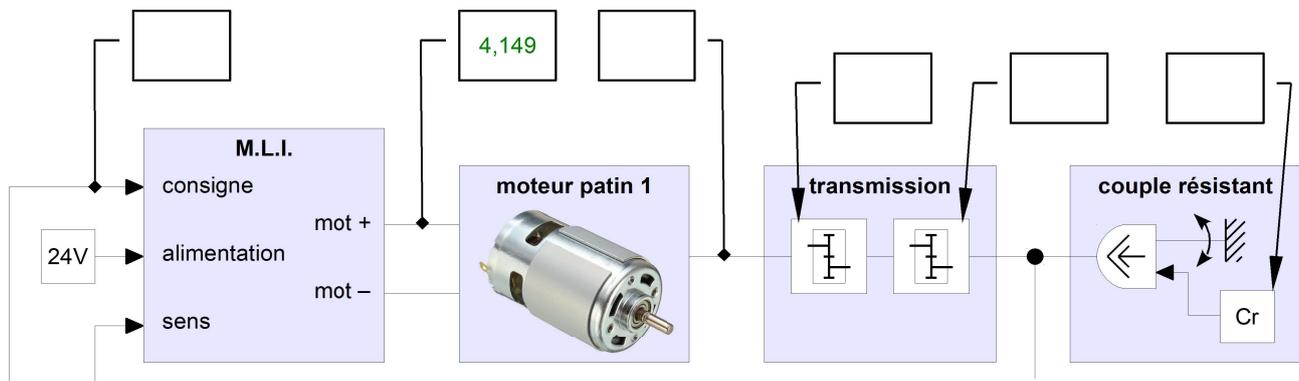
Q8. Pour $\|\vec{C}_r\| = 0,034 \text{ N}\cdot\text{m}$, **calculer** le couple moteur patin. **Reporter** le résultat sur le document réponse DR2 page 20.

$$C_m = \frac{C_r}{\eta_{global}} r_{global} = \frac{0,034}{0,5 \times 0,8} (0,03125 \times 0,2381) = 0,00063 \text{ N}\cdot\text{m}$$



Q9. À l'aide des informations ci-dessus, **déterminer** la tension U_m aux bornes du moteur patin permettant d'obtenir la vitesse lente du patin. **Reporter** le résultat sur le document réponse DR2 page 20.

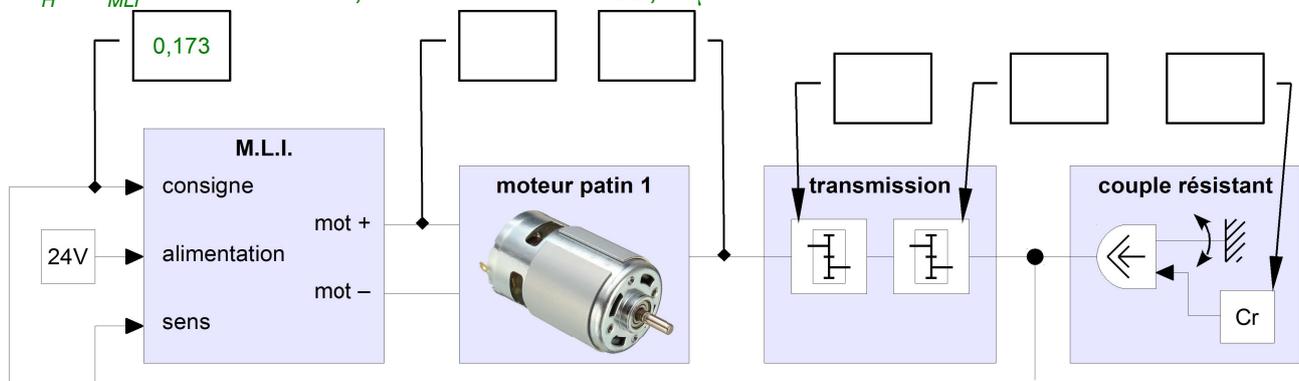
$$U_m = E_m + r_m I_m = K_E \omega + r_m \frac{C_m + C_f}{K_C} = 34,7 \times 10^{-3} \cdot 93,87 + 15 \frac{0,00063 + 1,434 \times 10^{-3}}{34,7 \times 10^{-3}} = 4,149 \text{ V}$$



Q10. Déterminer le rapport cyclique α_{MLI} du signal MLI permettant d'obtenir la valeur de U_m trouvée précédemment. **Reporter** le résultat sur le document réponse DR2. **Préciser** la valeur de T_H .

$$\alpha_{MLI} = \frac{T_H}{130 \times 10^{-6}} \text{ et } U_m = \alpha_{MLI} \times 24 \text{ donc } \alpha_{MLI} = \frac{4,15}{24} = 0,173$$

$$T_H = \alpha_{MLI} \times 130 \times 10^{-6} = 0,173 \times 130 \times 10^{-6} = 22,48 \mu\text{s}$$



Détermination des paramètres de commande du robot prototype

Q11. En tenant compte des deux positions extrêmes (position 1 et position 2) définies sur la figure 6 page 8, **montrer** que la projection de l'accélération de la pesanteur sur l'axe \vec{x}_1 , notée x , vérifie la relation $-0,5 g \leq x \leq +0,5 g$.

$$-(g \times \sin 30^\circ) \leq x \leq +(g \times \sin 30^\circ)$$

$$-0,5 g \leq x \leq +0,5 g$$

Q12. Déterminer pour les deux positions extrêmes du robot prototype, les deux valeurs en base 10 des mots binaires correspondant aux projections de l'accélération de pesanteur sur l'axe \vec{x}_1 .

- 8192 ≤ *valeur du mot* ≤ +8192

Q13. À l'aide des résultats de la question Q12 et des informations ci-après, **compléter** sur le document réponse DR3 page 21 l'algorithme « Aller_droite » pour que le robot se déplace conformément à ce qui est indiqué sur le document technique DT2 page 18.

DÉBUT

// permet le déplacement du robot

Détecter_bords()

TANT QUE accéléromètre < + 8192 **ET** bord = 0

Détecter_bords()

M1 + R

M2 + L

FIN TANT QUE

Détecter_bords()

TANT QUE accéléromètre > - 8192 **ET** bord = 0

Détecter_bords()

M1 - L

M2 - R

FIN TANT QUE

Validation du modèle multi-physique du déplacement du robot

Q14. Comparer la valeur moyenne du signal MLI de la figure 10 et du signal MLI de la question Q10 page 8. **Exprimer** en pourcentage l'écart relatif par rapport à la valeur simulée. **Proposer** une modification à faire sur le modèle pour que cet écart soit quasi nul.

$$U_{\text{moy prototype}} = \alpha_{MLI} \times 22,5 = \frac{22,48}{130} \times 22,5 = 3,89 \text{ V}$$

$$U_{\text{moy modèle}} = 4,15 \text{ V}$$

$$\varepsilon = \frac{U_{\text{moy prototype}} - U_{\text{moy modèle}}}{U_{\text{moy modèle}}} = \frac{3,89 - 4,15}{4,15} = - 6,26 \%$$

Modifier la tension d'alimentation dans les entrées des blocs « Modélisation MLI linéarisé » à 22,5 V au lieu des 24 V pour tenir compte des pertes dans les étages de puissance.

Q15. Comparer les valeurs des déplacements réels et simulés selon l'axe (O, \vec{x}) au bout de deux périodes. **Comparer** les valeurs des déplacements crête à crête réels et simulés selon l'axe (O, \vec{y}) au bout de deux périodes. **Indiquer** un paramètre qui n'a pas été pris en compte dans le modèle multiphysique et **conclure** sur la validité du modèle multiphysique.

Déplacement y :

Les amplitudes crête à crête du modèle réels sont assez proches du modèle simulé.

$$\varepsilon = \frac{18,5 - 20}{20} = -7,5\%$$

Mais on constate un glissement du robot. Le robot prototype descend de 4 mm sur la première période, puis 4 mm sur la seconde.

Déplacement x :

Sur les 2 premières périodes :

$$\varepsilon = \frac{228 - 272}{272} = -16,2\%$$

L'écart semble important mais il suffira au robot de faire des déplacements supplémentaires.

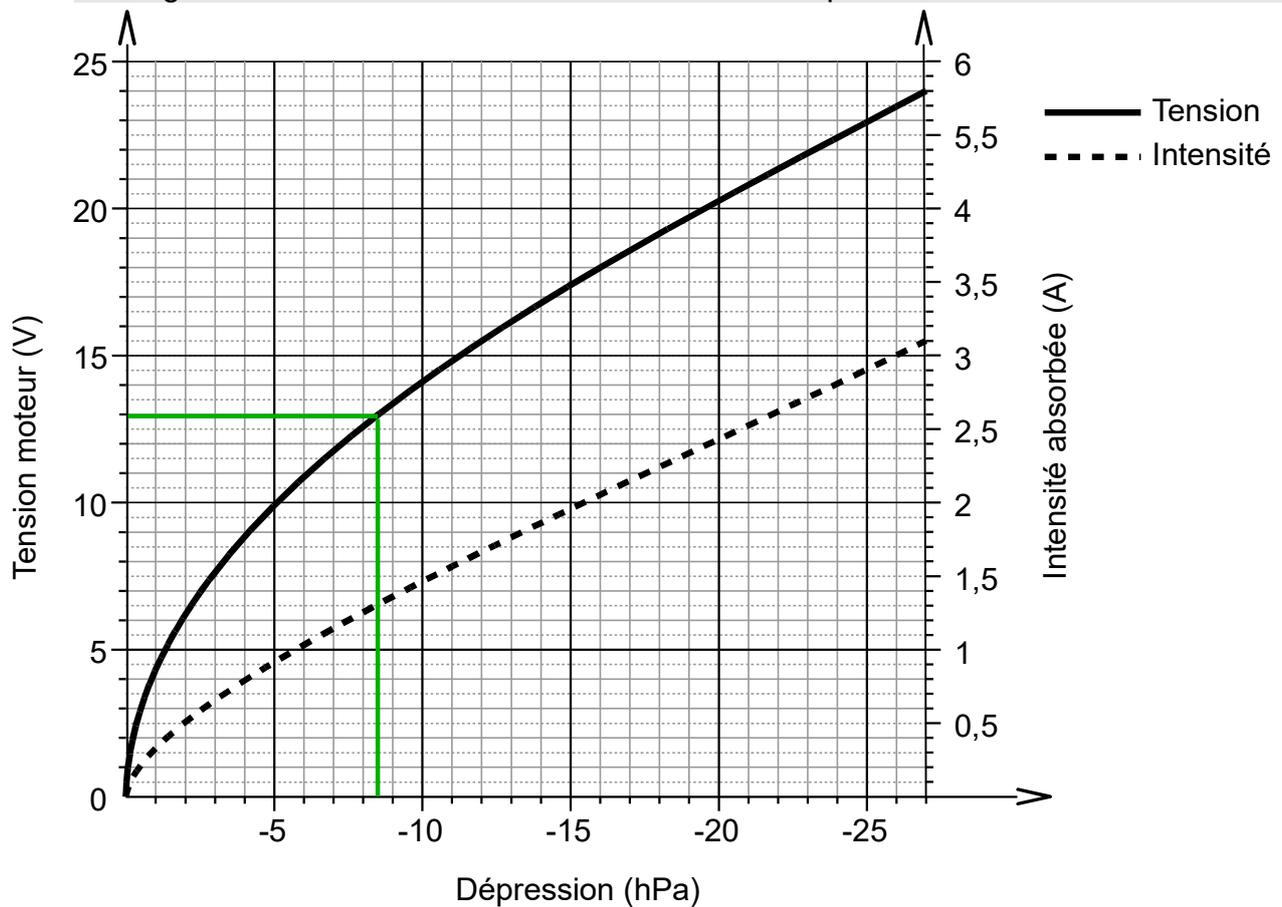
Cela dépend de l'adhérence entre les patins et la paroi. C'est le paramètre qui n'est pas pris en compte dans le modèle multi-physique.

En l'état le modèle n'est pas valide.

3. Sécurité des biens

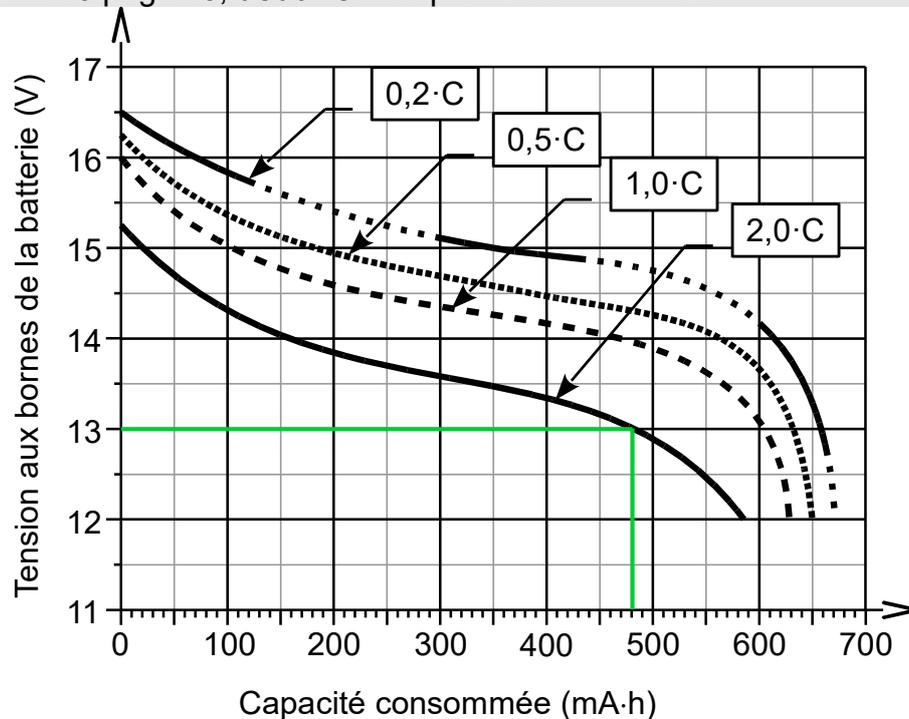
Vérification de l'autonomie de la batterie

Q16. Sachant que pour maintenir en toute sécurité le robot sur la paroi vitrée, la dépression dans les patins doit être inférieure à $-8,5$ hPa, **déterminer** à l'aide de la figure 11 la valeur minimale de la tension correspondante.



13 V

Q17. En prenant pour hypothèse un courant moyen de décharge égal à 1,4 A, **indiquer** la courbe de la figure 12 à retenir. À l'aide de la valeur trouvée à la question 16 page 13, **déduire** la capacité consommée.



$$\frac{1400 \text{ mA}}{700 \text{ mAh}} = 2 \quad \text{soit la courbe } 2,0 \cdot C$$

tension minimale de 13 V, soit 480 mAh

Q18. **Déterminer** la durée de décharge de la batterie à l'aide de la capacité consommée et du courant moyen de décharge. **Conclure** vis-à-vis du cahier des charges.

$$\text{durée} = \frac{\text{capacité}}{\text{intensité}} = \frac{480}{1400} = 0,343 \text{ h soit } 20 \text{ min } 34 \text{ s}$$

20 min 34 s calculées supérieur au 20 min du Cdcf, donc la solution est validée.

Validation de la solution du cordage de sécurité en cas de perte d'adhérence

Q19. **déterminer** l'énergie potentielle maximale du robot. **Préciser** et **justifier** la valeur de son énergie cinétique à la fin de la chute, juste avant le contact avec le sol.

$$E_{pp} = m \times g \times h = 0,933 \times 9,81 \times 3 = 27,46 \text{ J}$$

D'après la courbe $E_{pp} = E_c = 27,46 \text{ J}$

Q20. Établir l'expression de la contrainte normale σ dans le cordage en fonction de la section du cordage ($S_{c\grave{a}ble}$), du module d'élasticité longitudinal (E), de la longueur initiale du cordage (l_0) et de l'énergie potentielle élastique ($E_{potentielle\ \acute{e}lastique}$).

$$E_{PP} = E_C = E_{PE} = 27,46 \text{ J}$$

$$d_{ch} = \frac{2 \times E_{PE}}{F} \text{ or } \sigma = \frac{F}{S_{c\grave{a}ble}} = E \times \frac{d_{ch}}{l_0} \text{ donc } \sigma = E \times \frac{1}{l_0} \times \frac{2 \times E_{PE}}{F} \text{ avec}$$

$$F = \sigma \times S_{c\grave{a}ble} \text{ donc } \sigma = \sqrt{E \times \frac{1}{l_0} \times \frac{2 \times E_{PE}}{S_{c\grave{a}ble}}}$$

Q21. Pour chacun des matériaux, **déterminer** la contrainte normale correspondante σ .

$$\sigma_{PA} = \sqrt{\frac{1,3 \times 10^9 \times \frac{1}{3} \times 2 \times 27,46}{(\pi \times 0,002^2)}} = 43,52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{PET} = \sqrt{\frac{1,7 \times 10^9 \times \frac{1}{3} \times 2 \times 27,46}{(\pi \times 0,002^2)}} = 49,76 \text{ MPa}$$

Q22. Calculer le coefficient de sécurité cs pour chacune des matériaux. **Choisir** le matériau le mieux adapté et **justifier** la réponse.

PA :

$$\sigma_{PA} \leq \frac{R_e}{cs} \text{ avec } R_e = 0,5 \times R_r \text{ or } cs_{PA} \leq \frac{0,5 \times 270}{43,52} = 3,1$$

PET :

$$cs_{PET} \leq \frac{0,5 \times 220}{49,76} = 2,21$$

Il est préférable d'utiliser le polyamide car il permet d'avoir un coefficient de sécurité plus grand compte tenu des écarts possibles entre le réel et les calculs théoriques effectués avec les hypothèses simplificatrices.

4. Conclusion de l'étude

Q23. À l'aide de l'étude précédente, **analyser** la validité des solutions techniques de ce robot (points forts, points faibles) vis-à-vis :

- du balayage de la totalité de la surface de la paroi vitrée ;
- de l'utilisation du robot en toute sécurité.

Balayage :

La surface sera sans doute mal couverte pour deux raisons. La première due au fait que le robot n'adhère pas de façon constante sur la paroi et la deuxième due au fait que les patins étant ronds, le robot aura du mal à accéder aux coins des vitrages.

Sécurité :

le robot est capable de se maintenir sur les parois verticales 20 minutes sans alimentation extérieure.

En choisissant un cordage PA on pourra prévenir une chute du robot tout en ayant un maximum de sécurité par rapport aux calculs théoriques.