

Corrigé

## Éléments de correction

### 1. Contexte

### 2. Analyse du besoin

**Objectif de cette partie : justifier** une des performances spécifiées dans le cahier des charges.

**Q1. Préciser** le critère spécifié dans le cahier des charges déterminé à partir de ce cycle. Indiquer dans quelles phases le robot assiste la personne et déterminer le niveau associé à ce critère. **Calculer** la durée totale de ces phases et la comparer à la valeur attendue dans le cahier des charges. **Conclure**.

C'est le critère « durée effective des TAD et TDA » auquel est associé le niveau «  $T_{transition} = 2 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$  » qui est évalué à partir de ce cycle.

Les phases effectives à prendre en compte pour déterminer  $T_{transition}$  sont les phases de déchargement du siège et de verticalisation.

La durée de ces deux phases correspond à (75 - 27)% de la durée totale de la transition assis-debout, soit :  $(0,75 - 0,27) \cdot 4 = 1,92$  secondes comprises dans la tolérance affectée à  $T_{transition}$ .

### 3. Analyse de la désynchronisation du mouvement des poignées lors d'une transition assis-debout.

**Objectif de cette partie : analyser** le système de mise en mouvement des poignées durant la transition assis-debout et **choisir** la commande des vérins électriques.

**Q2. Justifier**, sans effectuer de calcul, que le support de la résultante  $\vec{F}$  de l'action mécanique de la tige 4 sur le bras 3 est portée par l'axe du vérin {4 + 5} (voir document DT1).

Le vérin {4 + 5} isolé est soumis à deux actions mécaniques extérieures, en E et en F (poids propre négligé). Ainsi, les résultantes de ces deux actions mécaniques sont portées par une droite passant par EF qui est l'axe du vérin.

**Q3.** En appliquant le théorème du moment dynamique au bras inférieur 3, au point O, en projection sur  $\vec{Z}$ , **calculer** la norme  $\|\vec{M}\|$  de l'action de la tige du vérin 4 sur le bras inférieur 3 au point E.

Le théorème du moment dynamique, au point O et en projection sur  $\vec{Z}$  s'écrit :

$$\underbrace{\vec{M}_O(0 \rightarrow 3) \cdot \vec{z}}_{=0 \text{ (liaison parfaite)}} + \vec{M}_O(2 \rightarrow 3) \cdot \vec{z} + \vec{M}_O(4 \rightarrow 3) \cdot \vec{z} = 0$$

Avec  $\vec{M}_O(2 \rightarrow 3) \cdot \vec{z} = -c \cdot R y_1$

et  $\vec{M}_O(4 \rightarrow 3) \cdot \vec{z} = a \cdot \|\vec{F}\|$  avec  $\vec{F} = \|\vec{F}\| \vec{y}_1$

(Le support de  $\vec{F}$  est porté par l'axe du vérin, perpendiculaire à OD)

Donc :  $-c \cdot R y_1 + a \cdot \|\vec{F}\| = 0$

Soit :  $\|\vec{F}\| = \frac{c \cdot R y_1}{a} = \frac{0,55 \cdot 239}{0,115} \quad \|\vec{F}\| = 1\,143 \text{ N}$

**Q4. Déterminer** les décalages de position  $\Delta x$  et  $\Delta y$  entre les deux poignées en position finale. **Conclure** quant au respect des spécifications du cahier des charges.

Dans le plan horizontal :  $\Delta x = 0,552 - 0,534 = 0,018 \text{ m (18 mm)}$  ;

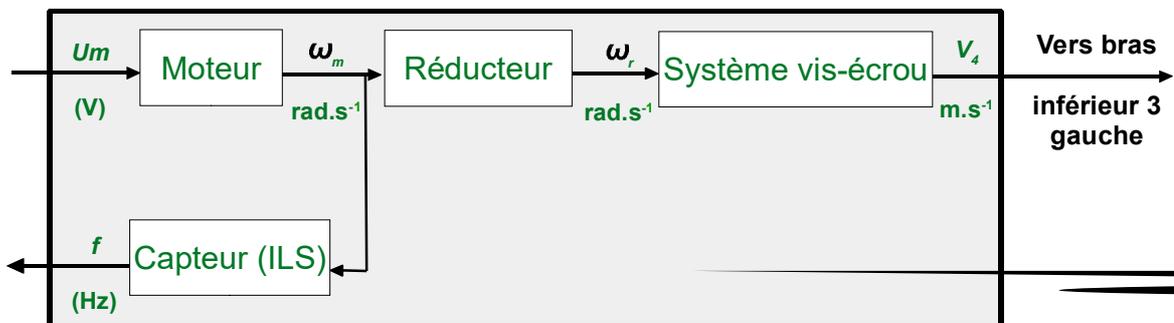
Dans le plan vertical :  $\Delta y = 0,426 - 0,403 = 0,023 \text{ m (23 mm)}$  ;

$\Delta x = 18 \text{ mm} > \Delta x(\text{cdc}) = 5 \text{ mm}$  ;

$\Delta y = 25 \text{ mm} > \Delta y(\text{cdc}) = 5 \text{ mm}$  ;

Conclusion : les spécifications du cahier des charges ne sont pas respectées.

**Q5.** Sur le document réponse DR1, **compléter** le schéma fonctionnel du vérin gauche en nommant les constituants correspondant à chaque bloc. **Préciser** les grandeurs physiques qui transitent entre chaque bloc et leur unité.



**Q6. Justifier** l'intérêt de comparer  $U_{mes}$  à  $U_c$  et **qualifier** la structure ainsi réalisée.

La comparaison de  $U_{mes}$  et  $U_c$  permet de maîtriser la vitesse du vérin quel que soit l'effort exercé sur la tige du vérin. La structure ainsi réalisée correspond à un asservissement de vitesse.

**Q7. Choisir** le correcteur le mieux adapté pour piloter les vérins. **Justifier** ce choix.

Cas 1 : écart relatif  $\approx 1 / 14 = 7,1 \% > 3,2 \%$  : ne respecte pas le cahier des charges.

Cas 2 : écart relatif  $\approx 0,4 / 16,4 = 2,4 \%$

Cas 3 : écart apparaît beaucoup plus faible que le cas 2, on peut sommairement l'estimer par [ (surface entre les deux vitesse / 2,1) / vitesse moyenne ]  $\approx ((0,3 \cdot 1/2) / 2,1) / 17,75 = 0,4 \%$ .

Les cas 2 et 3 respectent le cahier des charges.

Le cas 2 donne un réponse moins rapide que le cas 3 mais respecte la cahier des charges. Le cas 3 donne le meilleur comportement.

#### 4. Validation du choix de la motorisation associée au déplacement du Robuwalker

**Objectif de cette partie : valider** le choix des moteurs assurant le déplacement du Robuwalker à partir des résultats de simulation de leur comportement dynamique.

**Q8. Calculer** les vitesses de rotation de l'arbre moteur  $N_{mot}$  ( $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ) correspondant aux deux niveaux de vitesse du robot  $V_{robot}$  ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$$V_{robot} = \omega_r \cdot \frac{D_r}{2} = \frac{\pi \cdot N_r \cdot D_r}{60} \quad r = \frac{\omega_{poulie\ réceptrice}}{\omega_{mot}} = \frac{N_r}{N_{mot}} \quad \text{Donc : } N_{mot} = \frac{60 \cdot V_{robot}}{r \cdot \pi \cdot D_r}$$

$$\text{AN : - avec } V_{robot-min} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} : N_{mot(0,5)} = \frac{60 \cdot 0,5}{\frac{1}{38,59} \cdot \pi \cdot 0,15} \quad N_{mot(0,5)} = 2\,457 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\text{- avec } V_{robot-max} = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} : N_{mot(0,5)} = \frac{60 \cdot 1}{\frac{1}{38,59} \cdot \pi \cdot 0,15} \quad N_{mot(0,5)} = 4\,914 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

**Q9. Indiquer** la nature et l'unité des grandeurs physiques 1, 2, 3, 4, et 5 mesurées sur le modèle multi-physique décrit sur le document technique DT3.

Grandeur physique	Nature	Unité
1	Puissance électrique	W
2	Puissance mécanique	W
3	Puissance mécanique	W
4	Vitesse de rotation	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
5	Couple	N·m

**Q10. Expliquer** pourquoi les valeurs des couples appliqués sur une roue motrice pendant les deux régimes permanents sont identiques. **Déterminer** le rendement  $\eta_{red}$  de l'ensemble {réducteur + système poulie-courroie}.

Les deux couples sont identiques aux deux régimes permanents puisqu'ils ne dépendent que de l'effort dû à la résistance au roulement des roues motrices sur le sol, effort supposé constant.

En régimes permanents, pour :

- $V_{robot-min} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} : P_{r(0,5)} = 6,3 \text{ W} \quad P_{mot(0,5)} = 7,1 \text{ W}$
- $V_{robot-max} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} : P_{r(1)} = 12,6 \text{ W} \quad P_{mot(1)} = 14,2 \text{ W}$

$$\eta_{red} = \eta_c \frac{P_r}{P_{mot}} = \frac{6,3}{7,1} = \frac{12,6}{14,2} = 0,887$$

**Q11. Calculer** la valeur du couple moteur  $C_{mot}$  en régime permanent.

$$C_{mot} = \frac{P_{mot}}{\omega_{mot}} = \frac{P_{mot}}{N_{mot}} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} = \frac{14,2}{4914} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} = \frac{7,1}{2457} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} = 0,0276 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Autre méthode :  $C_{mot} = r \cdot \frac{C_r}{\eta_r}$ , et pour  $V_{robot-min} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $V_{robot-max} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  :

$$C_{mot} = \frac{1}{38,59} \cdot \frac{0,94}{0,887} = 0,0275 \text{ N}\cdot\text{m}$$

**Q12. Déterminer** le couple moteur maximal.

On relève  $I_{max} = 2,2 \text{ A}$       $C_{max} = K_c \cdot I_{max} = 0,035 \cdot 2,2 = 0,077 \text{ N}\cdot\text{m}$

**Q13. Déterminer** les tensions  $U_{mot}$  à appliquer aux bornes du moteur pour obtenir  $V_{robot-mini} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $V_{robot-maxi} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

$$U_{mot} = \frac{P_{abs}}{I_{mot}}$$

- $V_{robot-min} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} : P_{abs(0,5)} = 9,4 \text{ W} \quad I_{mot} = 0,72 \text{ A} \quad \text{Soit : } U_{mot(0,5)} = 13 \text{ V}$
- $V_{robot-max} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} : P_{abs(1)} = 16,5 \text{ W} \quad I_{mot} = 0,72 \text{ A} \quad \text{Soit : } U_{mot(1)} = 22,9 \text{ V}$

**Q14. Justifier** le choix des moteurs utilisés pour le déplacement du Robuwalker.

La pertinence du choix des moteurs a été évaluée à partir des critères :

- vitesse de rotation : les valeurs mini ( $2457 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ) et maxi ( $4914 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ) calculées se situent respectivement à -39% et +23% de la vitesse nominale ( $4000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ), un compromis a priori raisonnable ; la valeur maxi est aussi inférieure à la vitesse à vide ( $6500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ;

- couple : aux vitesses de 0,5 et 1 m·s<sup>-1</sup>, le moteur fonctionne à environ 44% de son couple nominal (0,0276/0,0625), valeur relativement faible mais acceptable. Au démarrage, le couple calculé (0,077 N·m) est inférieur au couple maximal du moteur (0,189 N·m) ;
- les tensions calculées à appliquer aux bornes du moteur (13 V et 22,9 V) pour les deux vitesses du Robuwalker sont compatibles avec sa tension nominale (24 V).

Conclusion : les moteurs conviennent.

## 5. Choix d'une batterie d'accumulateurs assurant la durée de fonctionnement requise.

**Objectif de cette partie : réaliser** le bilan de l'énergie absorbée par le Robuwalker puis **valider** le choix d'une batterie d'accumulateurs répondant aux spécifications du cahier des charges.

**Q15. Déterminer** la quantité d'électricité théorique (en A·h) nécessaire pour alimenter le Robuwalker pendant une durée de 5 jours et une durée de 6 jours.

Pour une heure d'utilisation, soit 3 cycles de fonctionnement :

$$Q_h = [ (2,1 \cdot (1,25 + 1,25) + 12 \cdot (0,72 + 0,72) + 2,1 \cdot (1,1 + 1,1)) \cdot 3 / 3600 ] + 0,007$$

$$Q_h = 0,029625 \text{ A}\cdot\text{h}$$

$$\text{Pour une journée (12h) d'utilisation : } Q_j = 12 \cdot Q_h = 12 \cdot 0,029625 = 0,3555 \text{ A}\cdot\text{h}$$

$$\text{Pour 5 jours d'utilisation : } Q_{5j} = 5 \cdot Q_j = 1,78 \text{ A}\cdot\text{h}$$

$$\text{Pour 6 jours d'utilisation : } Q_{6j} = 6 \cdot Q_j = 2,13 \text{ A}\cdot\text{h}$$

**Q16. Justifier** le choix du constructeur.

Chaque élément a une tension à ses bornes qui décroît de 4,2 V à 2,6 V lors de sa décharge, ce qui donne une valeur moyenne de 3,4 V. Sept éléments en série vont donner une valeur moyenne de  $7 \cdot 3,4 = 23,8 \text{ V}$ , proche de 24 V.

**Q17. Déterminer** la durée pendant laquelle la batterie peut assurer un déplacement du robot à vitesse maximale. **Conclure** sur le respect du cahier des charges.

A vitesse maximale,  $U_{mot} \geq 22,9 \text{ V}$ , cette tension est atteinte par la batterie lors de sa décharge pour  $t = 232\,500 \text{ s}$ .

La durée en jours d'utilisation (12h) correspondante est donc :

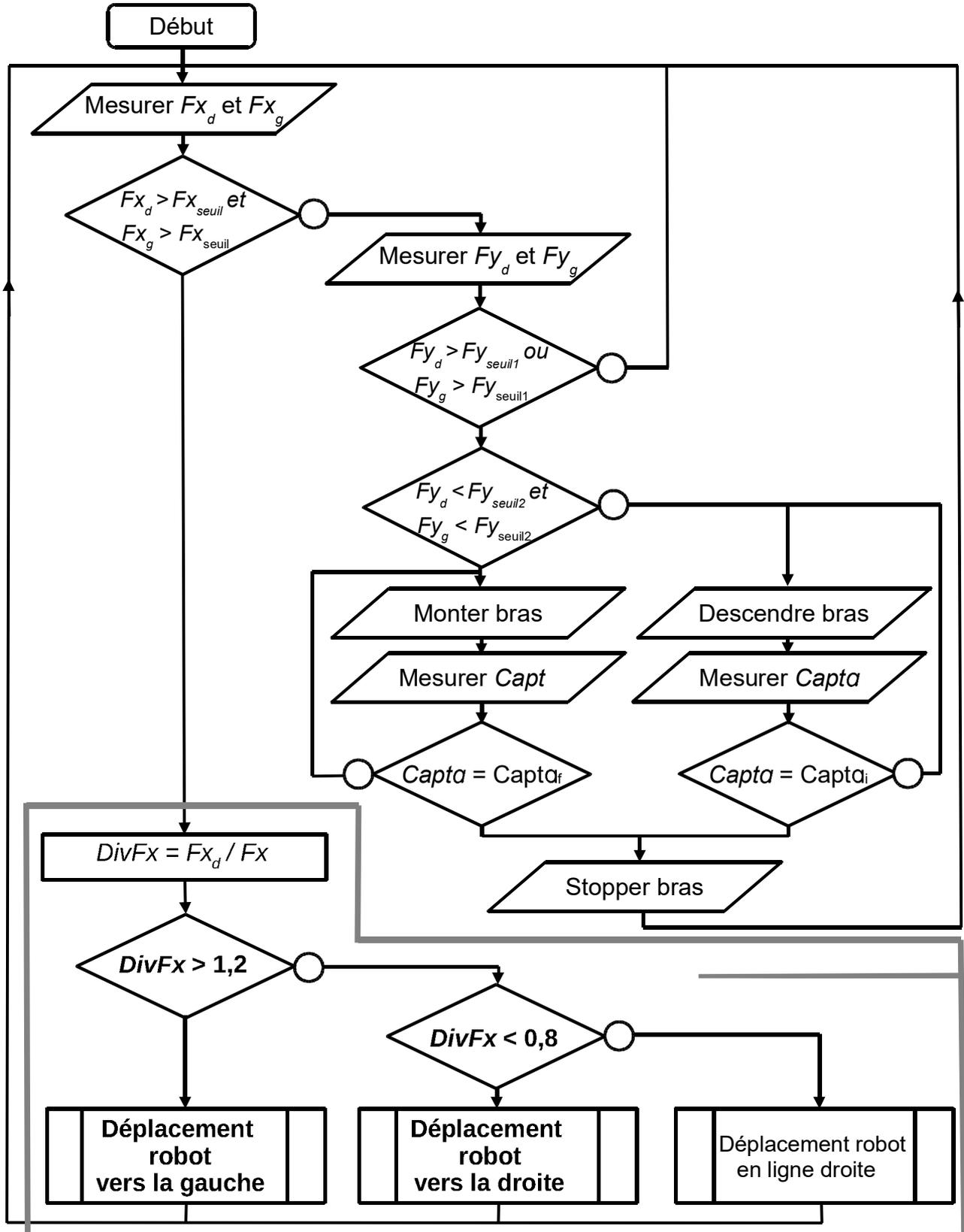
$$232\,500 / (3\,600 \cdot 12) = 5,38 \text{ jours.}$$

La spécification du cahier des charges est respectée (autonomie de 5 à 6 jours).

## 6. Amélioration de l'ergonomie du Robuwalker

**Objectif de cette partie : analyser** une proposition d'amélioration des fonctionnalités du Robuwalker.

Q18. Sur le document réponse DR3, **compléter** l'algorithme du programme principal de fonctionnement du Robuwalker équipé de capteurs d'efforts.



## 7. Synthèse

---

**Objectif de cette partie : proposer** une synthèse du travail réalisé.

---

**Q19. Présenter** succinctement (10 lignes maximum) les solutions technologiques mises en œuvre pour matérialiser la fonction FS1 « Assister l'utilisateur pendant son déplacement ».

La fonction FS1 « Assister l'utilisateur pendant son déplacement », c'est-à-dire verticaliser puis assister l'utilisateur pendant la marche, a été réalisée :

- en intégrant deux vérins électriques au système. La synchronisation du fonctionnement de ces deux vérins a été analysée dans la partie 3 du sujet ;
- en équipant le système de deux motovariateurs synchrones (moteurs brushless). Leur dimensionnement a été validé dans la partie 4 du sujet.

Enfin, il a été montré qu'une batterie de capacité de 2,2 A·h permettait une autonomie du système pour une durée supérieure à 5 jours en fonctionnement normal.