

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2016

Durée de l'épreuve : 4 heures

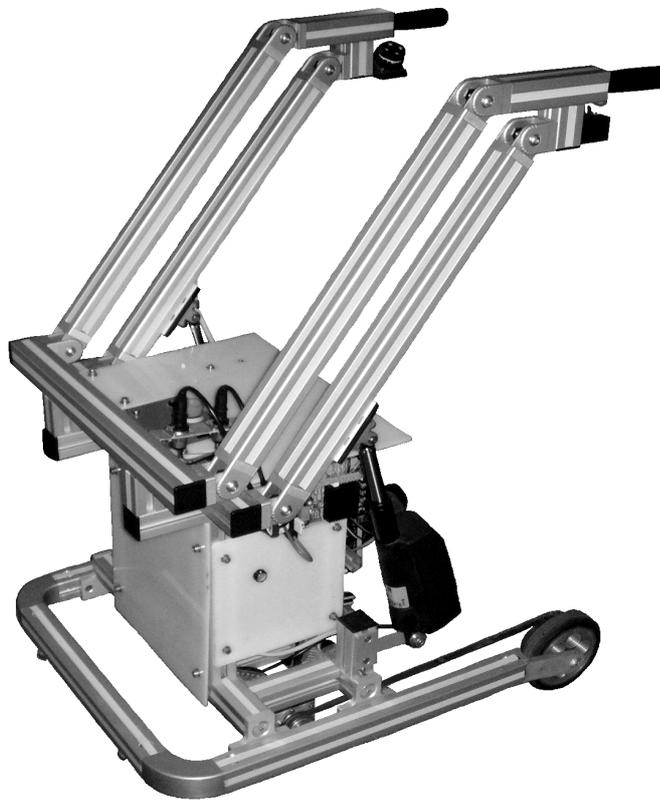
Coefficient 4,5 pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur.

Coefficient 6 pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité.

Aucun document autorisé.

Calculatrice autorisée, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Robuwalker



Constitution du sujet

- TextePage 3
- Documents techniquesPage 17
- Documents réponsesPage 22

Le sujet comporte 19 questions.

**Les documents réponses DR1 et DR2 sont à rendre
avec les copies.**

1. Contexte

Le soutien aux tâches d'assistance des personnes âgées ou déficientes motrices est un enjeu de société majeur pour les décennies à venir. Dans ce contexte, la robotique d'assistance pourrait répondre à des besoins liés au vieillissement en proposant des fonctions d'assistance physique et cognitive et de conservation du lien social.

Le robot Robuwalker est un prototype de déambulateur conçu pour assister l'utilisateur pendant son déplacement, c'est-à-dire :

- pendant la phase de verticalisation, lors des transitions « assis-debout » (TAD) et « debout-assis » (TDA) ;
- pendant la phase de marche.

La figure 1 présente le scénario d'assistance pour une transition assis-debout puis pendant la marche.

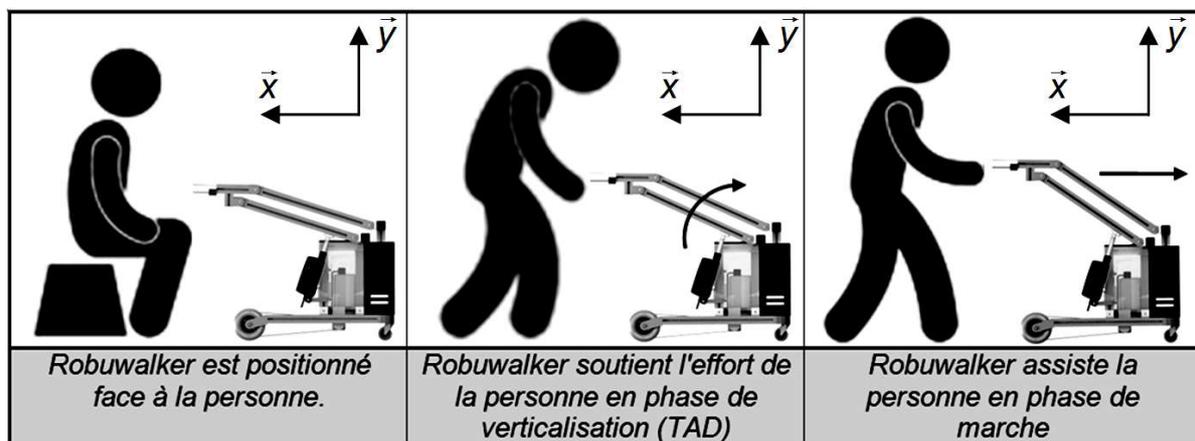


Figure 1 : scénario d'assistance à une personne

La fonction d'assistance à la verticalisation est assurée par deux bras (gauche et droit). Ils sont articulés par rapport au châssis et motorisés par deux vérins électriques. Deux poignées (gauche et droite) articulées par rapport à chacun des deux bras assurent la prise en main du système.

La fonction d'assistance à la marche est assurée par une plate-forme mobile équipée de deux roues motrices, qui assurent la propulsion du robot, et par deux roues orientables, qui garantissent la stabilité de l'ensemble.

Les commandes de déplacement des bras et de la plate-forme mobile sont réalisées par deux boutons poussoirs disposés sur chacune des poignées.

Un module de gestion régit le fonctionnement de l'ensemble.

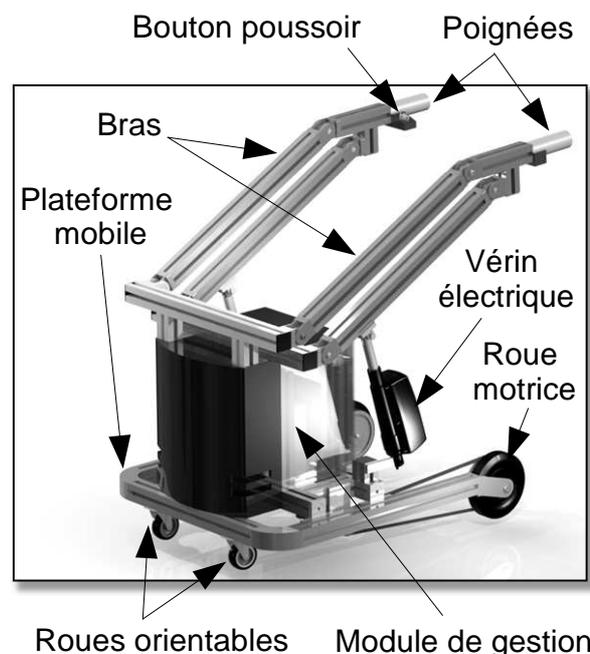


Figure 2 : description et structure du robot

2. Analyse du besoin

Objectif(s) de cette partie : justifier une des performances spécifiées dans le cahier des charges.

Le tableau de la figure 3 présente les exigences liées au besoin de l'utilisateur sous forme de fonctions de services (FSi) et précise les performances attendues des différents critères.

FSi et description	Critère et niveau
FS1 : assister l'utilisateur pendant son déplacement	
FS1.1 : assister l'utilisateur lors des transitions « assis-debout » (TAD) et « debout-assis » (TDA)	<p>Orientation constamment parallèle au sol des poignées.</p> <p>Décalage maximal entre les deux poignées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dans le plan horizontal $\Delta x = 5 \text{ mm}$; - dans le plan vertical $\Delta y = 5 \text{ mm}$. <p>Amplitude maximale du déplacement vertical des poignées : $Dy = 145 \text{ mm}$.</p> <p>Effort vertical maximal exercé sur chacune des poignées : $Fy = 250 \text{ N}$.</p> <p>Effort horizontal maximal exercé sur chacune des poignées : $Fx = 150 \text{ N}$.</p> <p>Durée effective des TAD et TDA : $T_{transition} = 2 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$.</p> <p>Autonomie énergétique : 5 à 6 jours.</p>
FS1.2 : assister l'utilisateur pendant la marche	<p>Vitesse : $V_{robot-min} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $V_{robot-max} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.</p> <p>Manœuvrabilité.</p>
FS2 : s'adapter à l'utilisateur	<p>Entraxe poignées : $a = 500 \text{ mm}$.</p> <p>Non interférence du robot avec l'utilisateur.</p>
FS3 : permettre une évolution dans un environnement domestique	<p>Largeur de passage du robot : $L = 800 \text{ mm}$.</p> <p>Distance la plus faible possible entre l'axe instantané de rotation du robot et l'utilisateur.</p>

Figure 3 : cahier des charges fonctionnel

La figure 4 présente les différentes phases du cycle de la transition assis-debout (TAD). Ce cycle, largement admis par la communauté médicale, concerne la majorité des personnes âgées. La durée totale moyenne de ce cycle est $T_{totale} = 4 \text{ s}$.

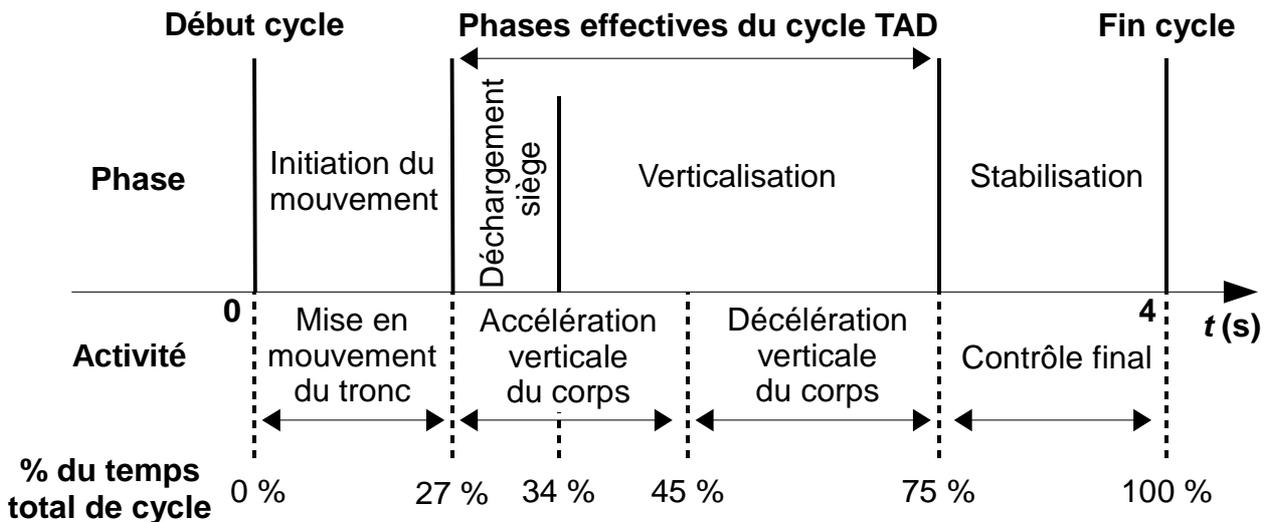


Figure 4 : diagramme du cycle TAD

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**.

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

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

Lors d'une transition assis-debout, le manque de stabilité des personnes âgées va induire des efforts dissymétriques sur chacune des poignées du Robuwalker. L'étude qui suit montrera l'impact de cette dissymétrie d'efforts sur la position des poignées au terme de la transition assis-debout.

Dans cette partie du sujet, seule la chaîne fonctionnelle associée à la fonction « assister l'utilisateur lors d'une transition assis-debout » sera étudiée. Le châssis du Robuwalker est donc immobile.

Le document technique DT1 fournit le schéma cinématique partiel du Robuwalker en situation initiale, pour laquelle $\alpha_i = 18^\circ$, ainsi qu'en situation quelconque.

Détermination des efforts exercés sur les vérins électriques

Hypothèses :

- les bras du robot sont en situation initiale telle que $\alpha_i = 18^\circ$;
- toutes les liaisons sont considérées parfaites ;
- le poids propre de chacune des pièces de la structure est négligé devant les efforts mis en jeu ;

- les mouvements des pièces étant lents, les effets d'inertie sont négligés devant les efforts mis en jeu ;
- le problème est plan, de plan (O, \vec{x}, \vec{y}) .

La figure 5 présente le bras inférieur gauche 3 et la poignée 2.

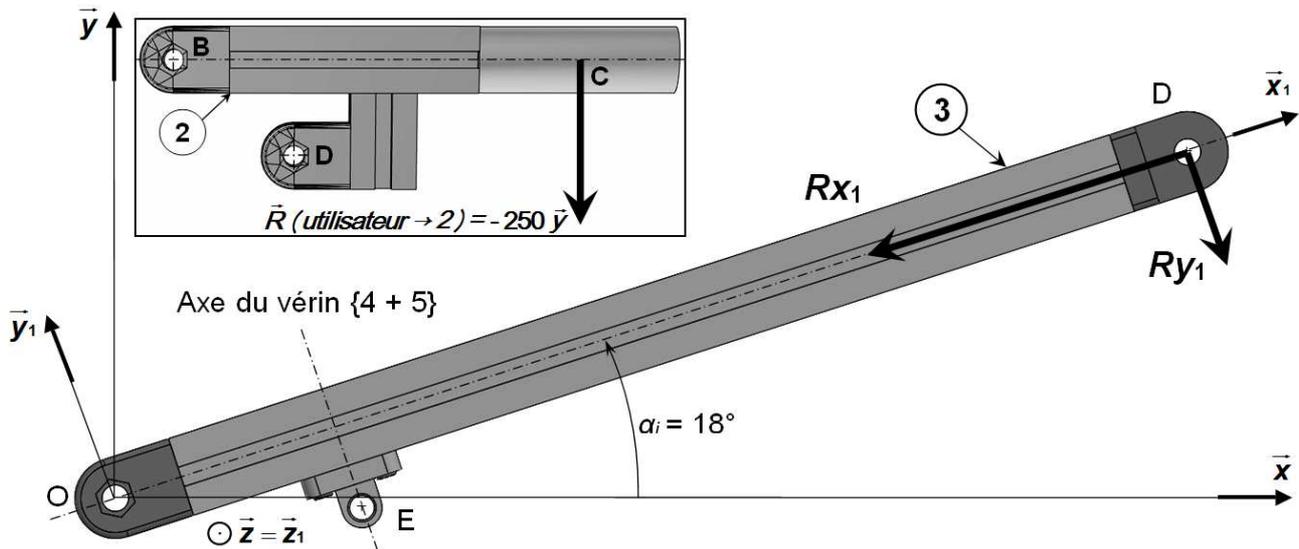


Figure 5 : bras inférieur gauche 3

Données :

- paramètres géométriques utiles à la résolution
 $\vec{OE} = a \cdot \vec{x}_1 - b \cdot \vec{y}_1$ avec $a = 0,115$ m et $b = 0,042$ m ; $\vec{OD} = c \cdot \vec{x}_1$ avec $c = 0,55$ m ;
- les efforts sont donnés en Newton (N) ;
- l'utilisateur exerce un effort au milieu de la poignée gauche 2 (figure 5), au point C, tel que $\vec{R}(\text{utilisateur} \rightarrow 2) = -250 \cdot \vec{y}$; dans ce cas, les composantes R_{x_1} et R_{y_1} de la résultante $\vec{R}(2 \rightarrow 3)$ au point D sont : $R_{x_1} = -660$ N et $R_{y_1} = -239$ N ;
- dans la position du bras inférieur gauche 3 telle que définie sur la figure 5, l'axe du vérin $\{4 + 5\}$ est perpendiculaire à la droite OD.

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).

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

La figure 6 présente le chargement appliqué sur les deux poignées. L'utilisateur exerce un effort $\vec{R}(\text{utilisateur} \rightarrow 2 \text{ gauche}) = -250 \cdot \vec{y}$ sur la poignée gauche et un effort $\vec{R}(\text{utilisateur} \rightarrow 2 \text{ droite}) = -100 \cdot \vec{y}$ sur la poignée droite.

En effectuant le calcul précédent sur les bras droit et gauche, pour un angle α quelconque, on déduit l'évolution des efforts exercés par chacun des bras sur les vérins lors d'une transition assis-debout (figure 7).

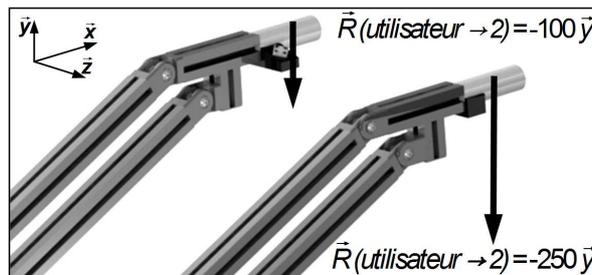


Figure 6 : efforts exercés sur les poignées

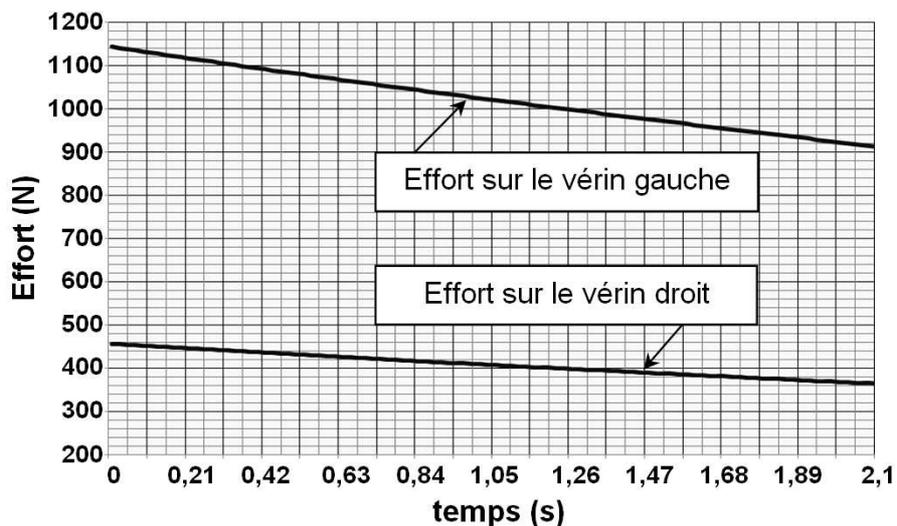


Figure 7 : efforts exercés par les bras gauche et droit sur les vérins

Détermination de la valeur du décalage entre les deux poignées dans leur position finale

Les vérins utilisés sur le Robuwalker sont constitués :

- d'un moteur électrique ;
- d'un réducteur à engrenages ;
- d'un dispositif de transformation de mouvement de type vis-écrou.

Un modèle multi-physique est associé au comportement dynamique des deux vérins.

Dans ce modèle, les vérins sont alimentés sous une tension constante. La dissymétrie des efforts sur les poignées conduit à une vitesse de sortie de la tige du vérin de gauche inférieure à celle de la tige du vérin de droite.

La simulation du modèle, sur une durée de 2,1 secondes, a permis d'obtenir l'évolution de la position du point C de chacune des poignées lors de la transition assis-debout (figure 8).

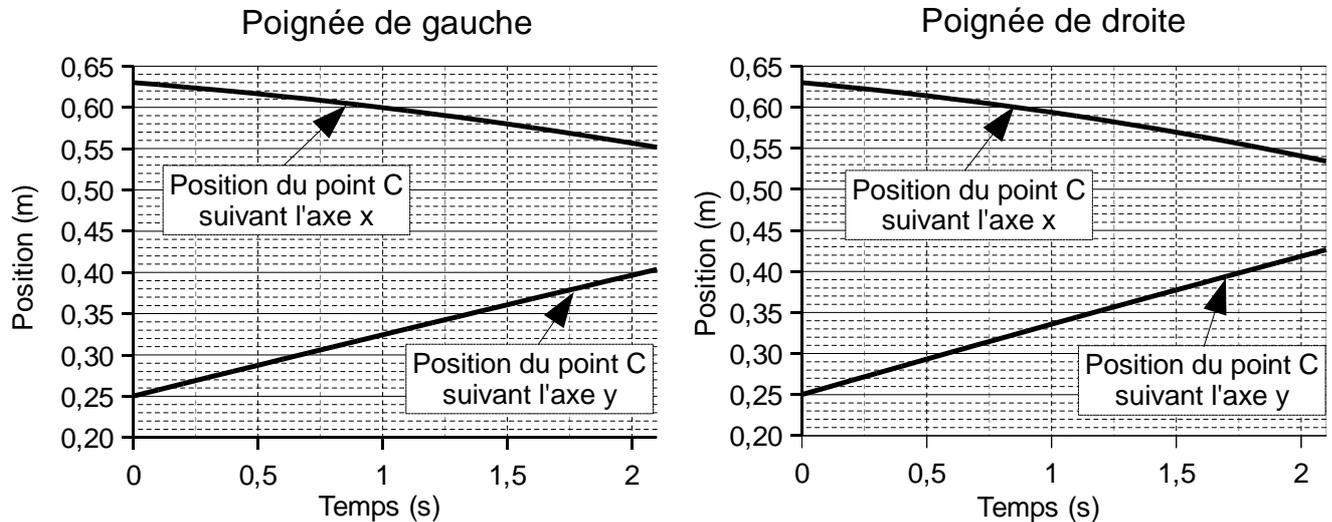


Figure 8 : position du point C pour la poignée de gauche et pour celle de droite

Q4. Déterminer les décalages de position Δx et Δy entre les deux poignées en position finale. **Conclure** quant au respect des spécifications du cahier des charges.

Analyse de la solution technologique mise en œuvre pour synchroniser les vitesses des vérins

Pour minimiser le décalage de position entre les deux poignées, il est nécessaire d'assurer un déplacement synchrone des deux poignées. La solution consiste à mettre en œuvre une carte électronique qui permet d'améliorer le parallélisme des deux vérins électriques (voir la chaîne fonctionnelle sur les documents DT2 et DR1).

Cette carte réalise une gestion de la tension d'alimentation de chaque moteur des vérins en Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI).

Deux capteurs ILS (Interrupteur à Lame Souple) sont montés sur chacun des deux arbres moteurs. Ils fournissent chacun un signal en créneau dont la fréquence est convertie en tension. Ces tensions sont comparées à la consigne de montée/descente des bras.

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.

Le schéma fonctionnel du document réponse DR1 a été traduit sur un logiciel de simulation multi-physique. La consigne de vitesse est $V_c = 18 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Les efforts exercés sur les vérins sont identiques à ceux utilisés précédemment (100 N et 250 N).

Le réglage des correcteurs de chaque vérin doit être effectué pour respecter les valeurs maximales de Δx et de Δy spécifiées dans le cahier des charges. Pour respecter ces valeurs du cahier des charges, la simulation permet d'établir que l'écart relatif entre les vitesses moyennes des deux vérins doit être inférieur à 3,2 %.

Les résultats de simulation de la figure 9 ont été obtenus pour différentes valeurs de réglage des paramètres K_p et K_i des correcteurs.

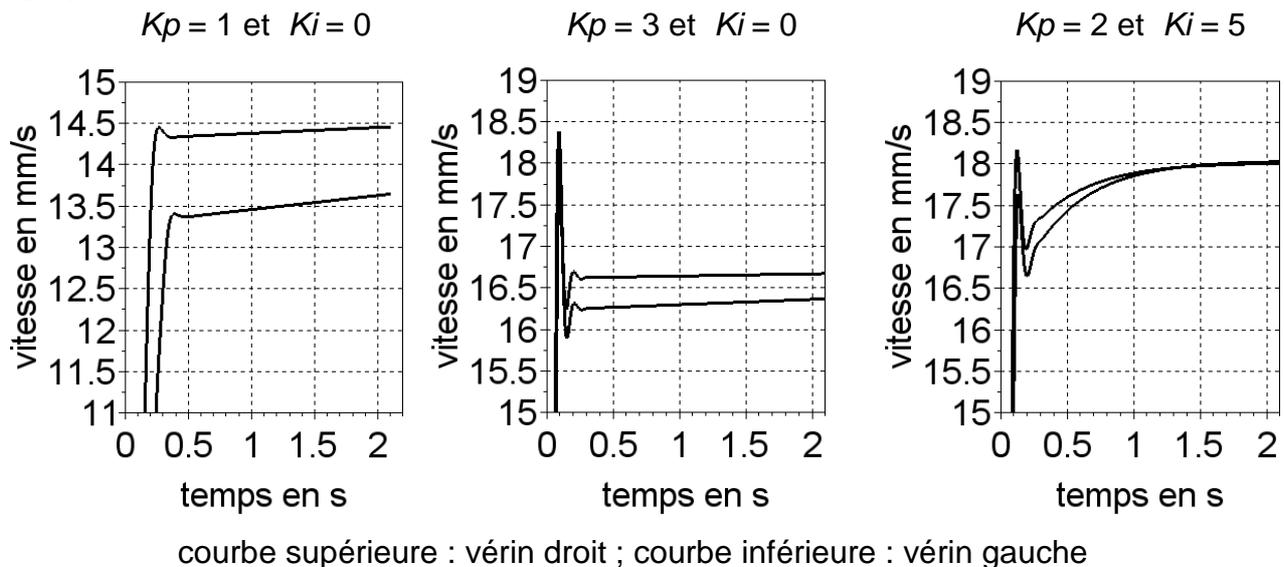


Figure 9 : vitesses des deux vérins en fonction du temps pour $0 < t < 2,1 \text{ s}$

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

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

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

Dans cette partie du sujet, on s'intéresse au déplacement du Robuwalker vers l'avant sur un sol horizontal. Pour ce cas, le cahier des charges spécifie deux niveaux de vitesses : $V_{robot-min} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($1,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) et $V_{robot-max} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($3,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

La poignée droite du Robuwalker est équipée d'un bouton poussoir à bascule qui commande le déplacement en marche avant et arrière, ainsi que la rotation vers la gauche et la droite. L'appui sur le bouton se fait sur deux niveaux :

- 1^{er} niveau, se déplacer ou tourner à vitesse lente ;
- 2^e niveau, se déplacer ou tourner à vitesse rapide.

La figure 10 présente les principaux constituants de la chaîne fonctionnelle étudiée.

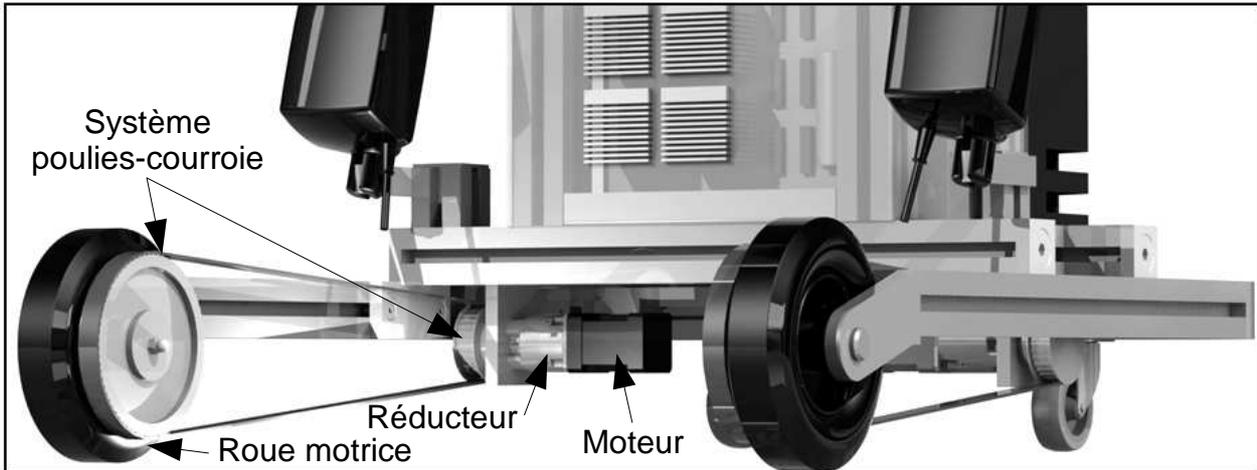


Figure 10 : constituants de la chaîne fonctionnelle étudiée

Hypothèses et données :

- il y a roulement sans glissement au contact des roues motrices sur le sol ;
- l'utilisateur exerce un effort purement vertical de 60 N sur chacune des poignées ;
- la résistance au roulement des roues sur le sol induit un effort résistant de 25 N ;
- le diamètre des deux roues motrices est $D_{roue} = 150$ mm ;
- les ensembles {réducteur + dispositif poulies-courroie} ont un rapport de réduction $r = \frac{\omega_{poulie\ réceptrice}}{\omega_{mot}} = \frac{1}{38,59}$;
- les deux moteurs utilisés sont des moteurs « brushless » (sans balai) dont les spécifications techniques partielles sont données dans le document technique DT4.

On note ω_{roue} ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) et N_{roue} ($\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$), la vitesse et la fréquence de rotation des roues motrices.

On note P_{roue} la puissance en sortie de l'ensemble {réducteur + dispositif poulies/courroie} et η_{red} son rendement. La puissance sur l'arbre d'un moteur est notée P_{mot} .

Pour valider le choix des moteurs il est nécessaire de calculer au préalable :

- la valeur de la vitesse du moteur en régime permanent ;
- la valeur du couple moteur maximal et du couple moteur en régime permanent ;
- la valeur de la tension d'alimentation du moteur en régime permanent.

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} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

La complexité des phénomènes physiques liés aux frottements dans la chaîne fonctionnelle étudiée et l'influence de la masse de la personne justifie l'utilisation d'une simulation multi-physique pour la suite.

Le modèle présenté sur le document technique DT3 correspond à une situation idéale pour laquelle il y a équi-répartition de la puissance mécanique nécessaire au déplacement du Robuwalker sur chacun des deux moteurs. La validation de ces derniers ne nécessite donc l'étude que d'une seule des deux chaînes fonctionnelles.

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.

Les résultats de simulations présentés figures 11, 12 et 13 sont obtenus pour les deux vitesses du robot. Durant les trois premières secondes, le robot se déplace à la vitesse $V_{robot-min}$. Durant les quatre secondes suivantes, le robot se déplace à la vitesse $V_{robot-max}$. Le relevé expérimental de la figure 13 a permis de valider les valeurs maximales et les valeurs en régime permanent du courant.

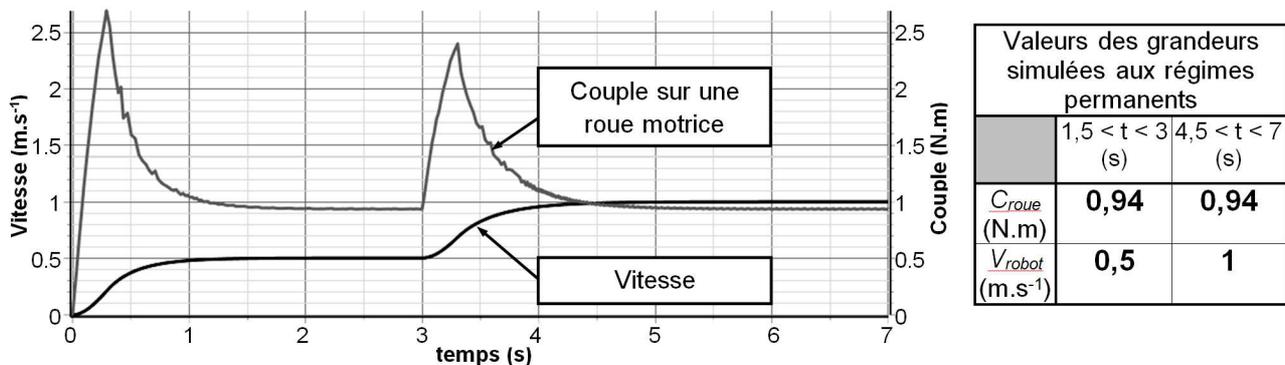


Figure 11 : couple sur une roue motrice et vitesse du Robuwalker

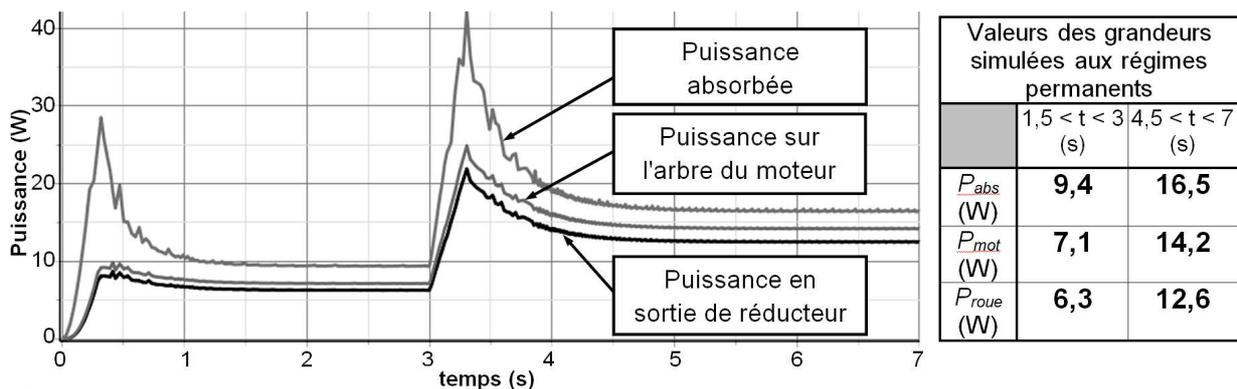


Figure 12 : puissance absorbée par un moteur « brushless », sur l'arbre d'un moteur et en sortie de réducteur

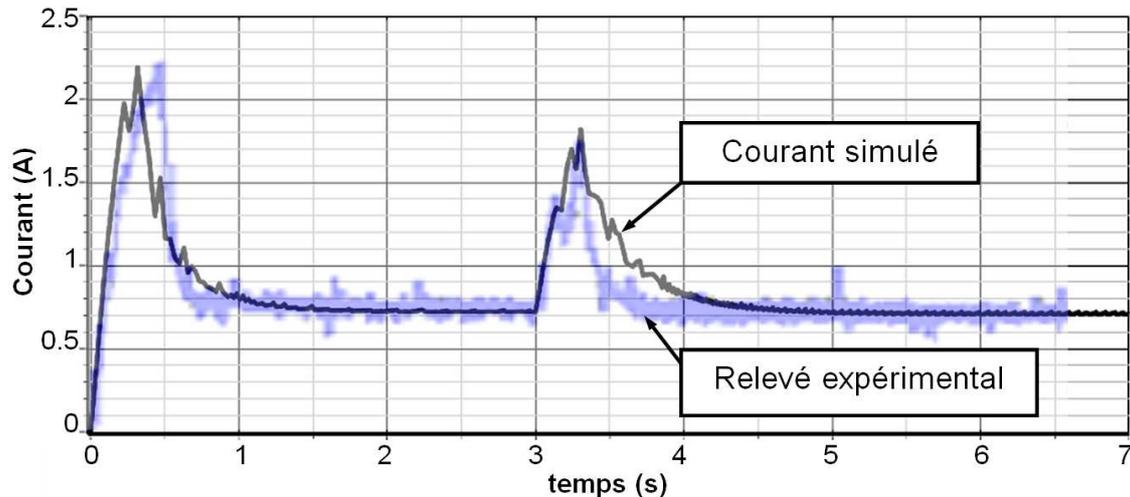


Figure 13 : courant moteur mesuré et simulé

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

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

Les moteurs « brushless » utilisés (voir document technique DT3) convertissent une puissance électrique en une puissance mécanique. Ils sont associés à un commutateur électronique, association appelée « motovariateur ». Vu de l'extérieur, leurs comportements sont identiques à ceux des moteurs à courant continu traditionnels. Le modèle associé à un de ces moteurs « brushless », noté « moteur » pour la suite, est donné sur la figure 14.

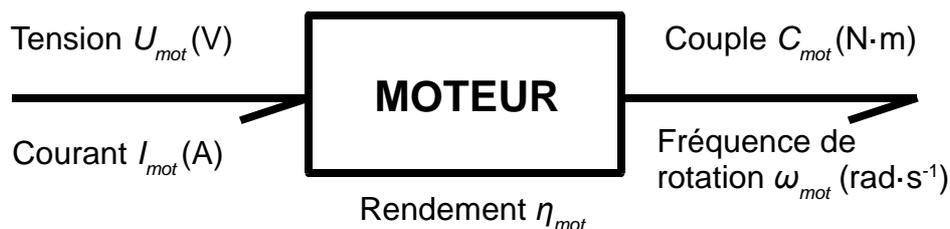


Figure 14 : modèle du moteur

Avec cette modélisation $C_{mot} = K_c \cdot I_{mot}$

$K_c = 0,035 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$ est la constante de couple de chaque moteur.

Q12. Déterminer le couple moteur maximal.

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 $V_{robot-maxi} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

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

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

Objectif(s) 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.

Pour répondre à l'objectif il est nécessaire de déterminer la capacité de la batterie d'accumulateurs qui permet de respecter les spécifications du cahier des charges.

Le cycle de fonctionnement type du Robuwalker comporte trois phases :

- phase 1, translation vers le haut des poignées, d'une durée de 2,1 secondes, chacune des poignées étant soumise à un effort résistant de 80 N (valeur standard lors d'une transition « assis-debout ») ;
- phase 2, déplacement du Robuwalker d'une durée de 12 secondes, à la vitesse de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (phase de marche) ;
- phase 3, translation vers le bas des poignées, d'une durée de 2,1 secondes, chacune des poignées étant soumise à un effort résistant de 50 N (valeur standard lors d'une transition « debout-assis »).

L'histogramme de la figure 15 donne les courants absorbés par les quatre actionneurs du Robuwalker pendant ce cycle.

Le nombre de cycles de fonctionnement est estimé à trois par heure, et ce sur une durée journalière de douze heures. Le reste de la journée, le Robuwalker est hors énergie.

La quantité d'électricité absorbée par l'électronique embarquée, veille comprise, sur une durée d'une heure est : $Q_{elec} = 0,007 \text{ A}\cdot\text{h}$.

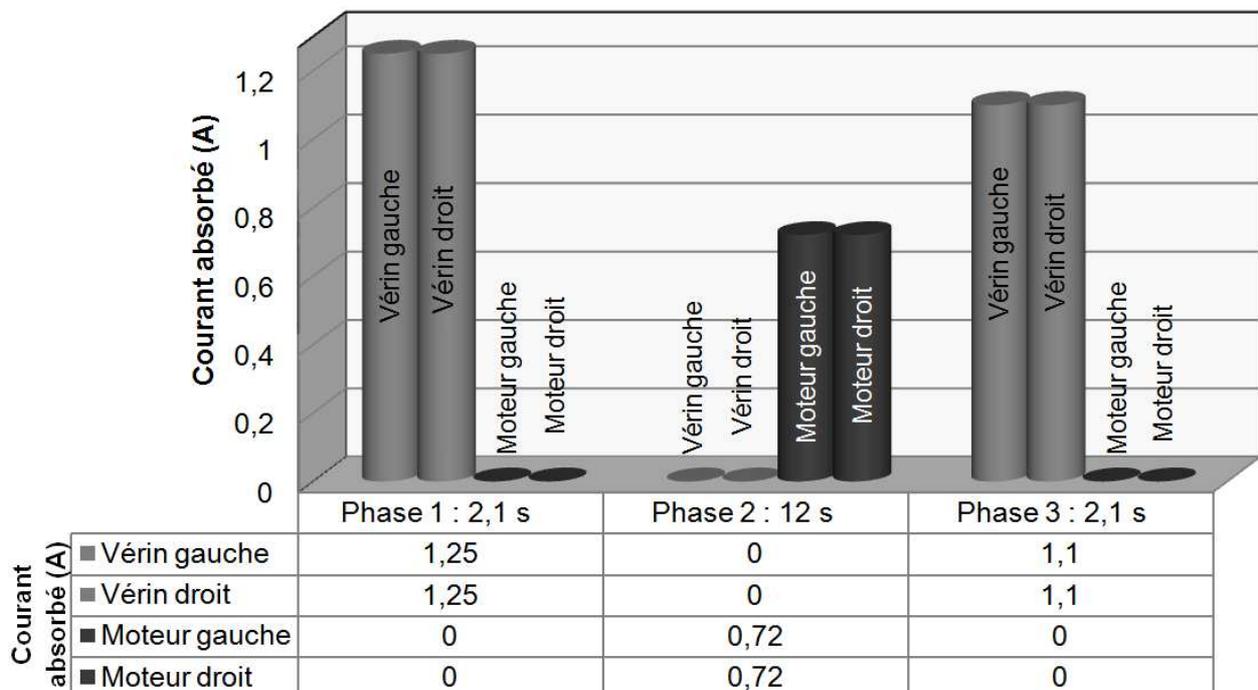


Figure 15 : courants absorbés

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.

Le constructeur de la batterie a choisi de mettre en série 7 éléments de batterie (pack batterie). Les caractéristiques du pack batterie sont présentées dans le document technique DT4.

Q16. Justifier le choix du constructeur.

Afin d'étudier la décharge de la batterie, on réalise un modèle multi physique. La figure 16 présente la variation de la tension aux bornes des sept éléments mis en série en fonction du temps.

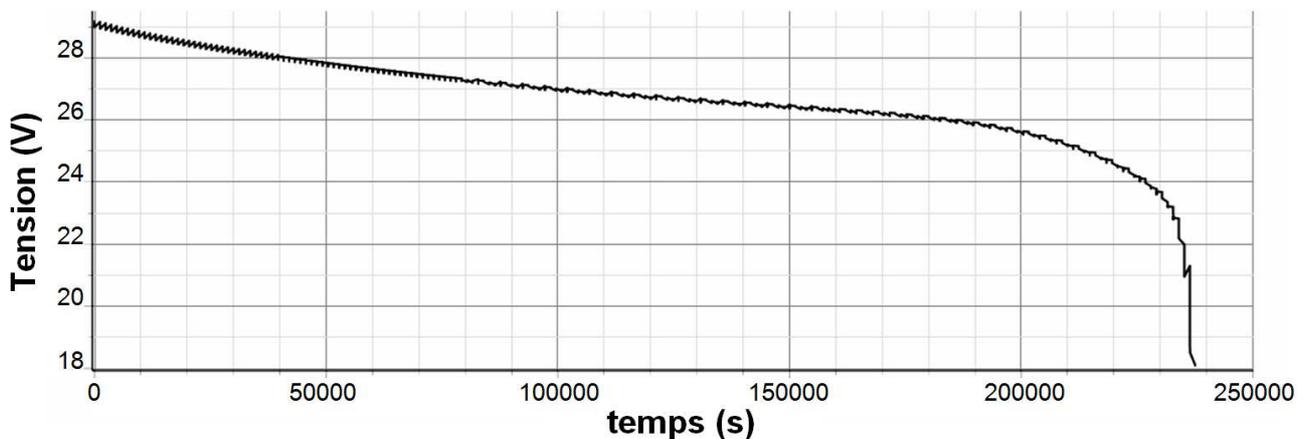


Figure 16 : variation de la tension aux bornes de la batterie

La consigne de tension à appliquer aux bornes des moteurs brushless pour obtenir $V_{robot-maxi} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a été déterminée à la question Q13. Quel que soit le résultat obtenu, prendre : $U_{mot} = 23 \text{ V}$.

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.

6. Amélioration de l'ergonomie du Robuwalker

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

Pour améliorer l'ergonomie du robot, et rendre la commande de ses mouvements plus intuitive, il a été décidé de remplacer les boutons poussoirs par une interface homme machine qui acquiert de manière plus intuitive l'intention de l'utilisateur.

Technologiquement, cela consiste à intégrer un capteur d'effort sur chacune des poignées (figure 17). Chaque capteur permet l'acquisition en temps réel des efforts F_{x_g} , F_{y_g} sur la poignée gauche et F_{x_d} , F_{y_d} sur la poignée droite.

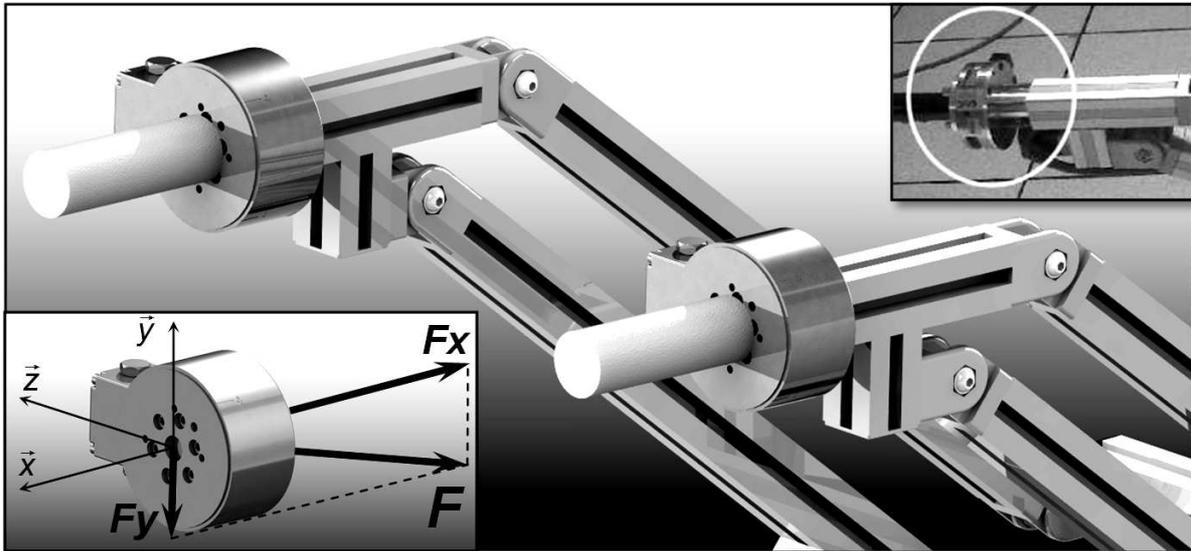


Figure 17 : poignées équipées de capteurs d'efforts

Le scénario simplifié envisagé ci-après est décrit sur l'algorithme du document réponse DR2.

Pour les phases de transitions assis-debout et debout-assis, les mouvements vers le haut ou vers le bas des bras du robot sont obtenus en comparant les composantes verticales (suivant $-\vec{y}$) F_{y_d} et F_{y_g} appliquées sur les poignées aux valeurs seuils $F_{y_{seuil1}}$ et $F_{y_{seuil2}}$ ($F_{y_{seuil1}} < F_{y_{seuil2}}$) telles que :

- si l'effort vertical appliqué est inférieur à $F_{y_{seuil1}}$, pas de mouvement des bras ;
- si l'effort vertical appliqué est dans l'intervalle $[F_{y_{seuil1}}, F_{y_{seuil2}}]$, déplacement des bras vers le haut ;
- si l'effort vertical appliqué est supérieur à $F_{y_{seuil2}}$, déplacement des bras vers le bas.

L'amplitude du déplacement des bras du Robuwalker est fonction de la morphologie de l'utilisateur. Elle est définie par des essais et mesurée par deux capteurs rotatifs *Capta* intégrés aux articulations des bras avec le châssis du robot. Les valeurs minimale et maximale de *Capta* sont notées $Capta_i$ et $Capta_f$.

Pour la phase de déplacement du Robuwalker, lorsque F_{x_d} et F_{x_g} sont supérieurs à la valeur seuil $F_{x_{seuil}}$, le Robuwalker se déplace en ligne droite ou effectue un virage vers la gauche ou vers la droite. Le rapport F_{x_d}/F_{x_g} détermine le type de déplacement :

- lorsque $Fx_d / Fx_g > 1,2$, déplacement vers la gauche ;
- lorsque $Fx_d / Fx_g < 0,8$, déplacement vers la droite.

Dans tous les autres cas, le Robuwalker se déplace en ligne droite.

Q18. Sur le document réponse DR2, **compléter** l'algorithme du programme principal de fonctionnement du Robuwalker équipé de capteurs d'efforts.

7. Synthèse

Objectif(s) de cette partie : proposer une synthèse du travail réalisé.

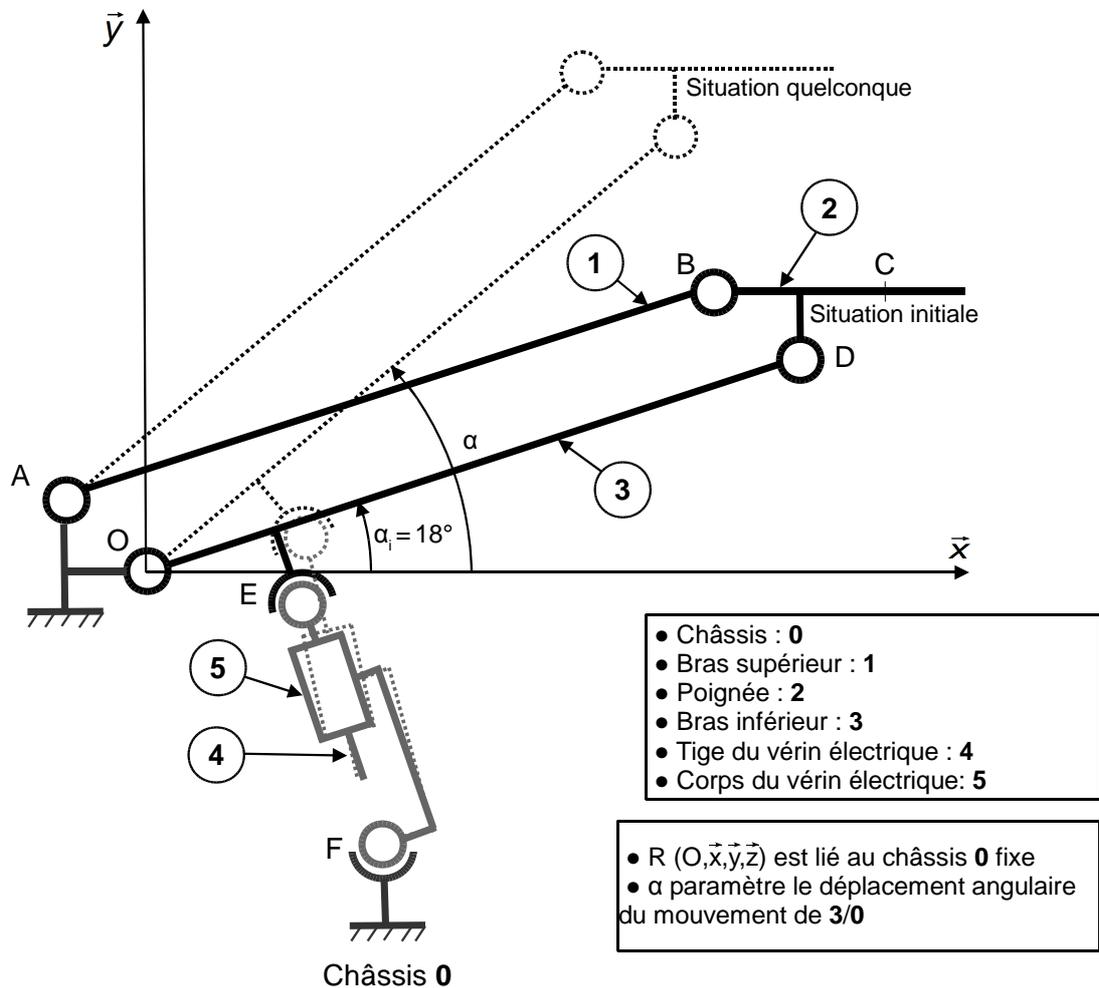
L'objectif du travail dans ce sujet était de montrer qu'un robot pouvait permettre d'assister activement une personne âgée lors de ses déplacements.

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

Documents techniques

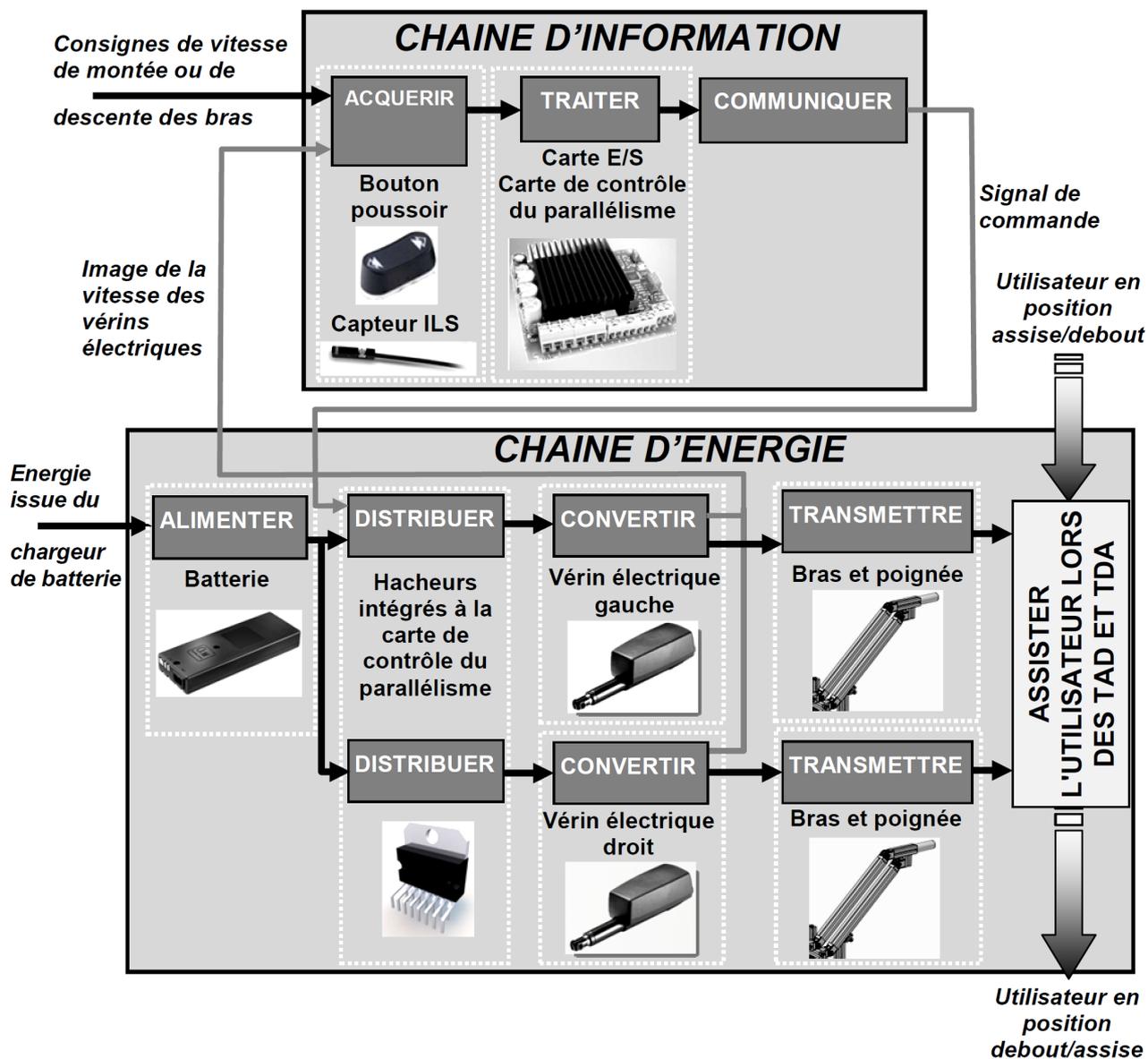
Document technique DT1.

Schéma cinématique partiel en situation initiale et en situation quelconque du Robuwalker



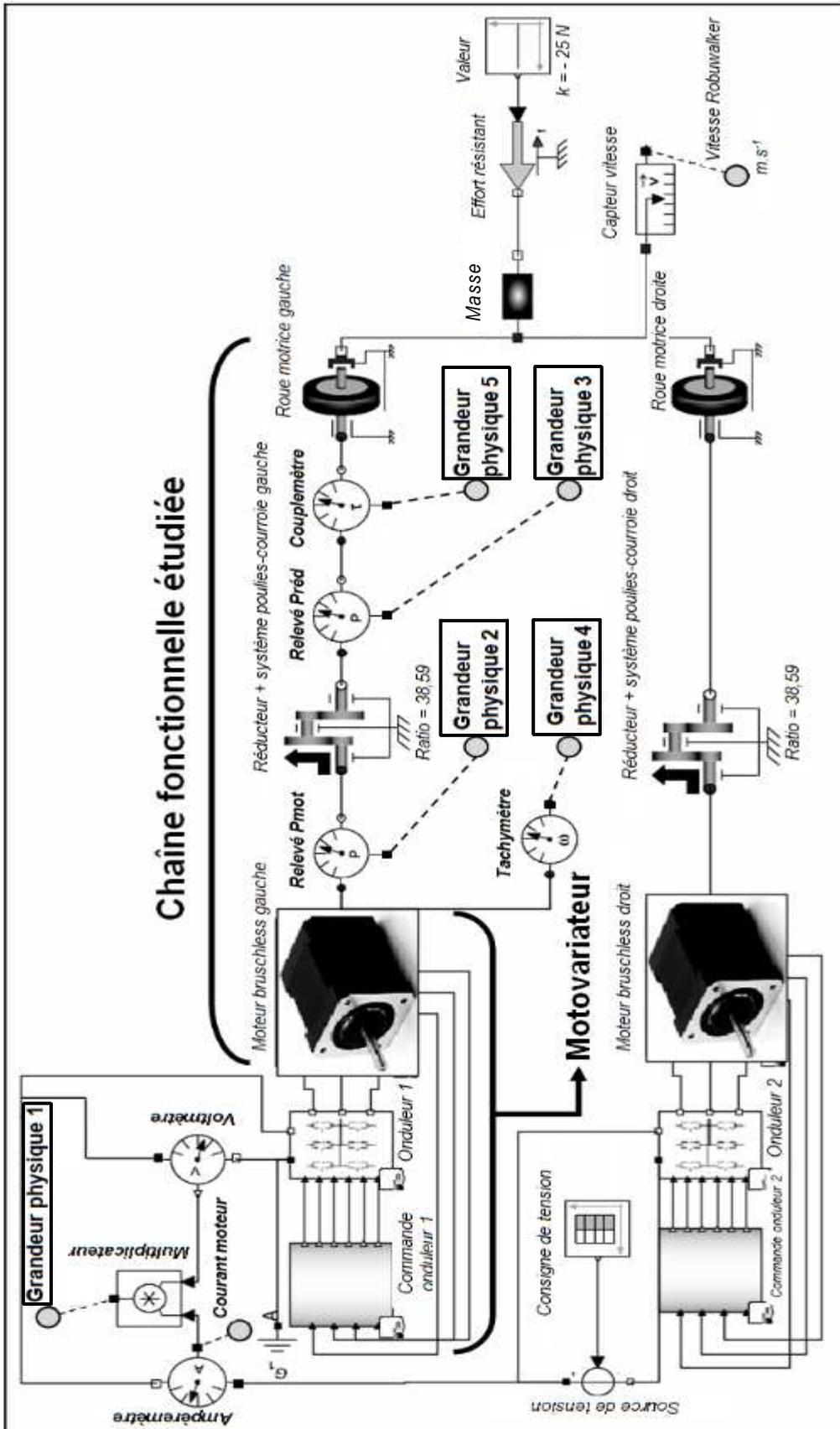
Document technique DT2.

Chaîne fonctionnelle partielle associée à la fonction « assister l'utilisateur lors des transitions assis-debout et debout-assis »



Document technique DT3.

Modèle multi-physique des deux chaînes fonctionnelles associées au déplacement du Robuwalker



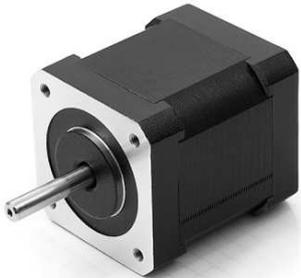
Document technique DT4.

Spécifications pack batterie BA001

Caractéristiques	Valeurs
Alarme sonore lorsque la charge est requise	oui
Indicateur de charge (barre LED)	oui
Fusible de protection thermique	oui
Nombre d'éléments	7
Tension maxi par élément (V)	4,2
Tension mini par élément (V)	2,6
Capacité (A·h / W·h)	2,2 / 53
Tension nominale (V)	24
Intensité max (A)	9
Tension de charge max (V)	40
Intensité de charge (A)	0,5
Poids (g)	600
Conditions d'utilisation	
Température d'utilisation (°C)	+5°C à +40°C
Température de stockage (°C)	0°C à +45°C



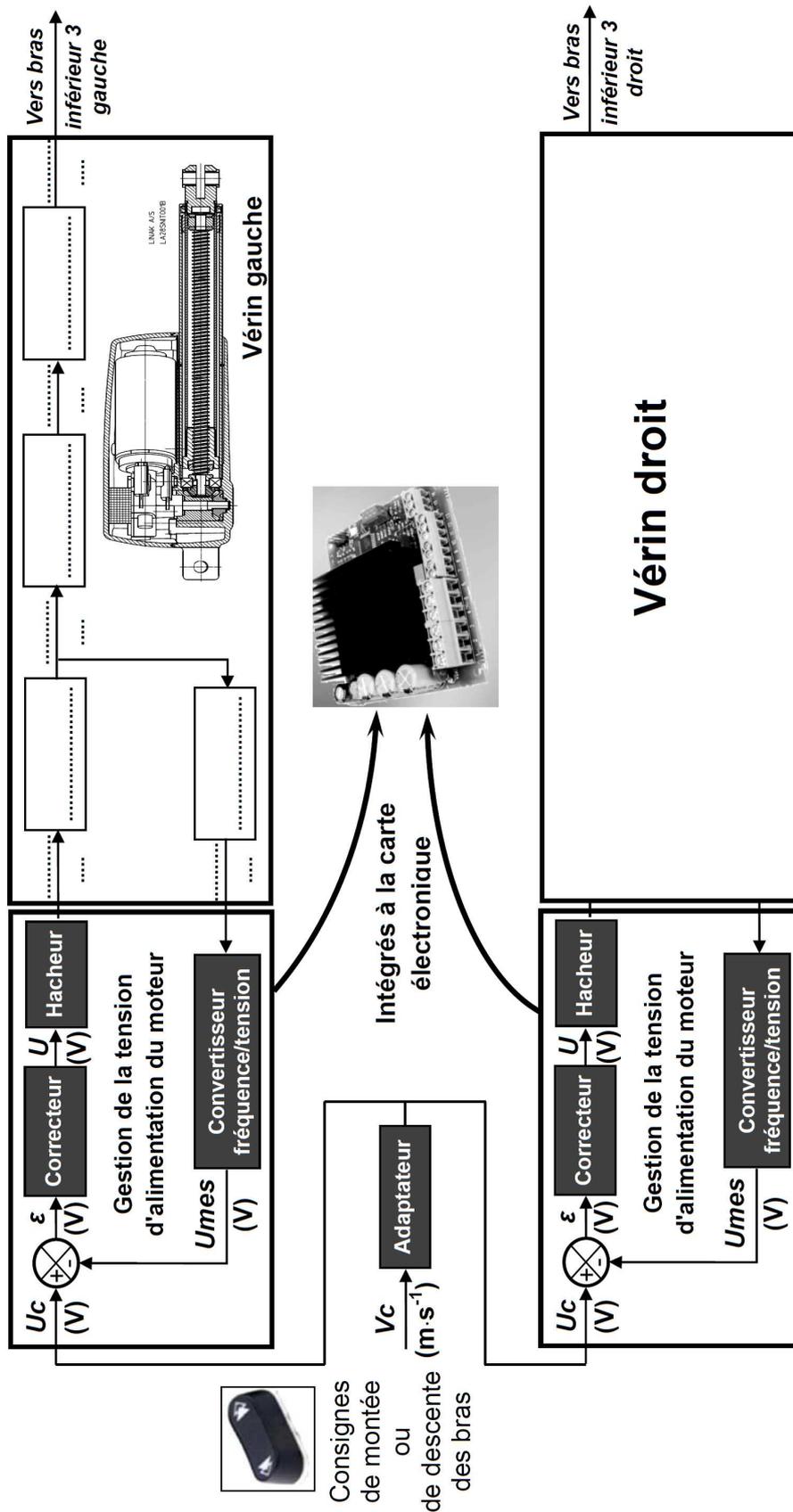
Spécifications techniques partielles

Moteur brushless DPM 42BL41	Spécification constructeur	Valeur
	Tension nominale (V)	24
	Vitesse à vide (tr·min ⁻¹)	6500
	Vitesse nominale (tr·min ⁻¹)	4000
	Couple maximal (N·m)	0,189
	Couple nominal (N·m)	0,0625
	Constante de couple (N·m·A ⁻¹)	0,035
	Courant maximal (A)	5,4

Documents réponses

Document réponse DR1.

Q 5. Schéma fonctionnel simplifié des vérins électriques synchronisés



Document réponse DR2.

Q 18. Algorithme du programme principal

