

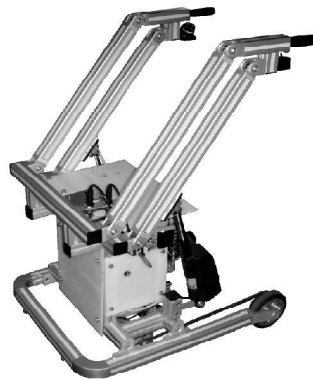
COMPOSITION DE SCIENCES DE L'INGENIEUR (DS2)

Evaluation des cycles :

- Seq2 : Modéliser et simuler le comportement d'un système complexe
- Seq1 : Réaliser l'analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes asservis

Support :

- Le Robuwalker



SEULS LES DOCUMENTS DU COURS SONT AUTORISES
INSTRUMENT DE CALCUL AUTORISE

Consignes :

Il est fortement conseillé de **lire la totalité du sujet** avant de démarrer votre travail.

L'utilisation du crayon papier est **interdite** sur la copie.

La rédaction des réponses sera **la plus concise possible** : on évitera de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.

Chaque réponse ne pourra se limiter à une suite d'expressions mathématiques sans justification.

On encadrera ou soulignera obligatoirement les résultats et réponses aux questions.

Le non-respect de ces consignes entraînera des points de pénalisation.

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Le déambulateur RobuWalker

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.

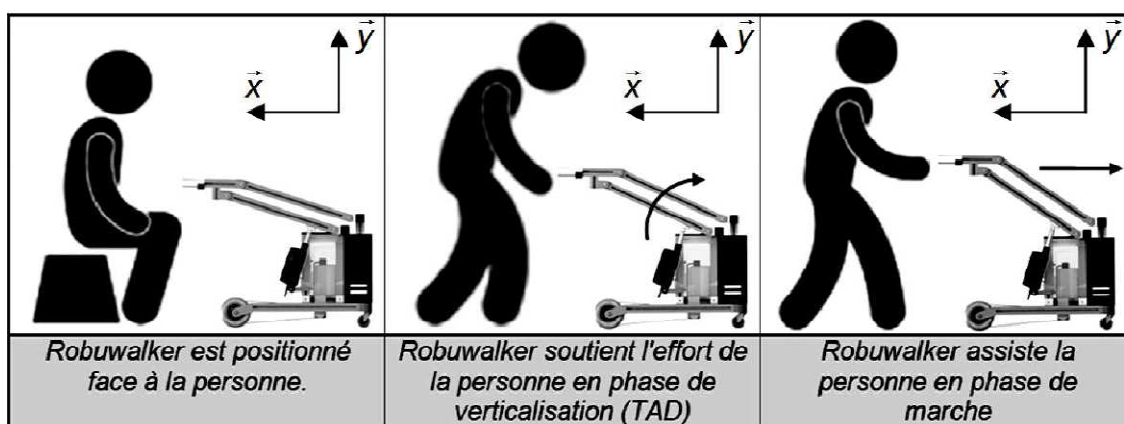


Figure 1 : scénario d'assistance à une personne

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.

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.

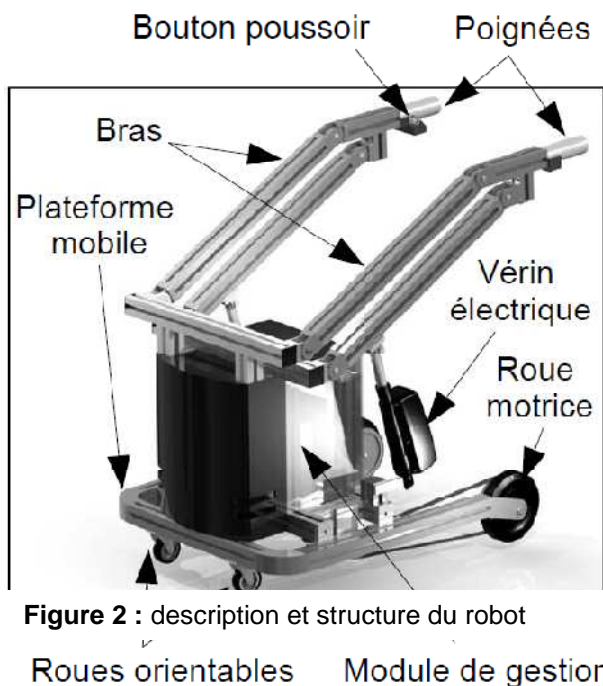


Figure 2 : description et structure du robot

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>Manoeuvrabilité.</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 :</p> <p>$L = 800 \text{ mm}$.</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 $T_{totale} = 4 \text{ s}$.

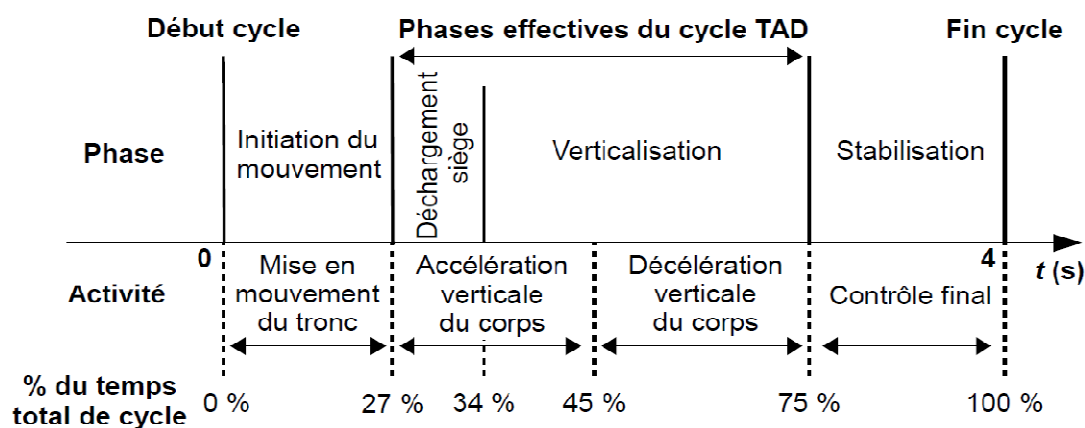


Figure 4 : diagramme du cycle TAD

- Q1/** Préciser le critère spécifié dans le cahier des charges déterminé à partir du cycle TAD.
- Q2/** Indiquer dans quelles phases le robot assiste la personne
- Q3/** Déterminer le niveau associé à ce critère.
- Q4/** Calculer la durée totale de ces phases
- Q5/** Comparer à la valeur attendue dans le cahier des charges
- Q6/** Conclure

3. 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 de commande qui permet d'améliorer le parallélisme des deux vérins électriques (cf DT2).

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. Les vérins agissent alors sur l'ensemble bras/poignées qui sont les interfaces avec l'utilisateur

- Q7/** Sur le document réponse DR1, **compléter** le schéma fonctionnel en nommant les constituants correspondant à chaque bloc, sans oublier les informations transmises et les puissances.
- Q8/** **Préciser** les grandeurs physiques qui transitent entre chaque bloc et leur unité.
- Q9/** A partir du document DT2, **Justifier** l'intérêt de comparer U_{mes} à U_c .

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 5 (courbe supérieure : vérin droit ; courbe inférieure : vérin gauche) ont été obtenus pour différentes valeurs de réglage des paramètres K_p et K_i des correcteurs.

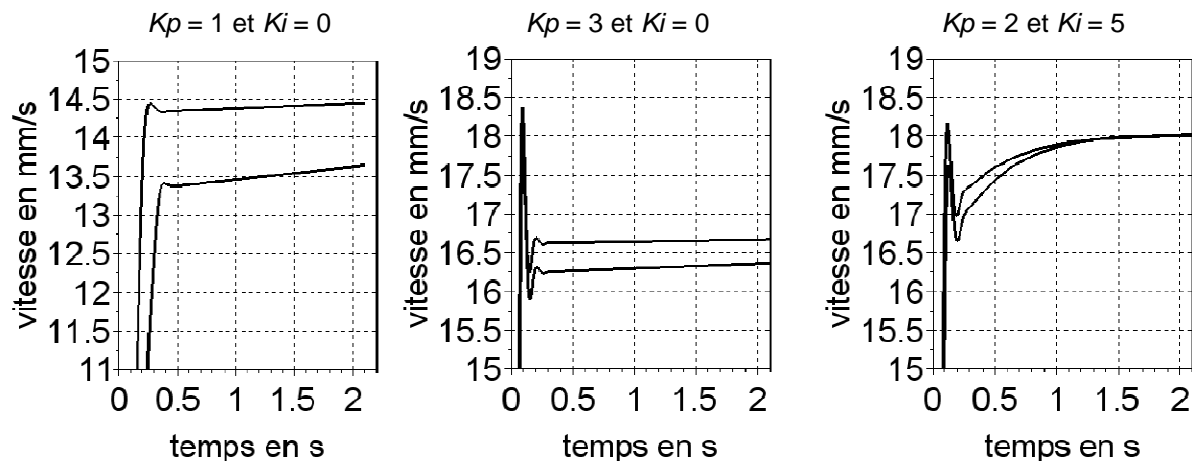


Figure 5 : vitesses des deux vérins en fonction du temps pour $0 < t < 2,1 \text{ s}$

- Q10/** 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 : $V_{\text{robot-min}} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1,8 km·h⁻¹) et $V_{\text{robot-max}} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (3,6 km·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 :

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

La figure 6 présente les principaux constituants de la chaîne fonctionnelle étudiée.

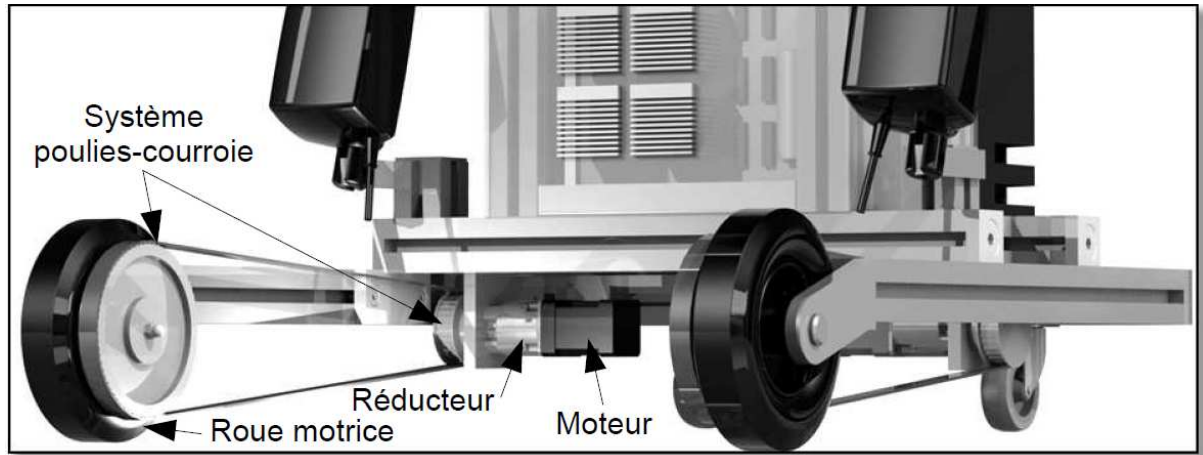


Figure 6 : constituants de la chaîne fonctionnelle étudiée

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 $D_{roue} = 150 \text{ mm}$;
- 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.

Q11/ 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 justifient 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.

Q12/ 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 dans les figures 7, 8 et 9 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 9 a permis de valider les valeurs maximales et les valeurs en régime permanent du courant.

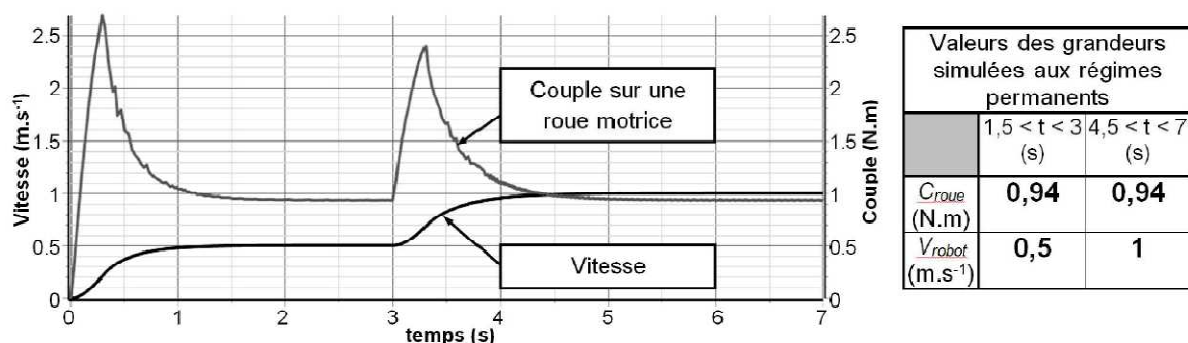
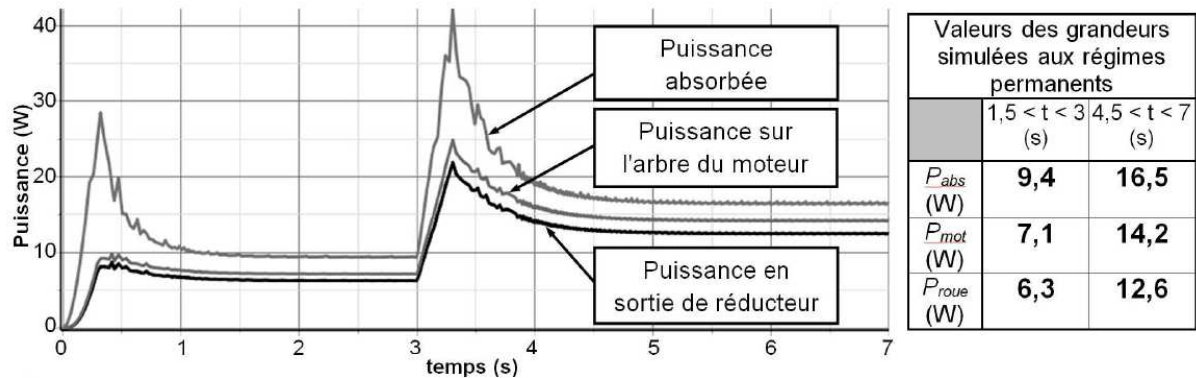
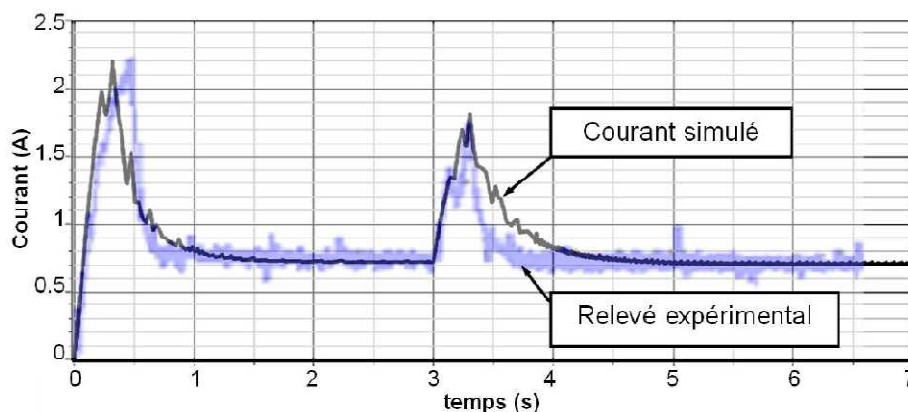
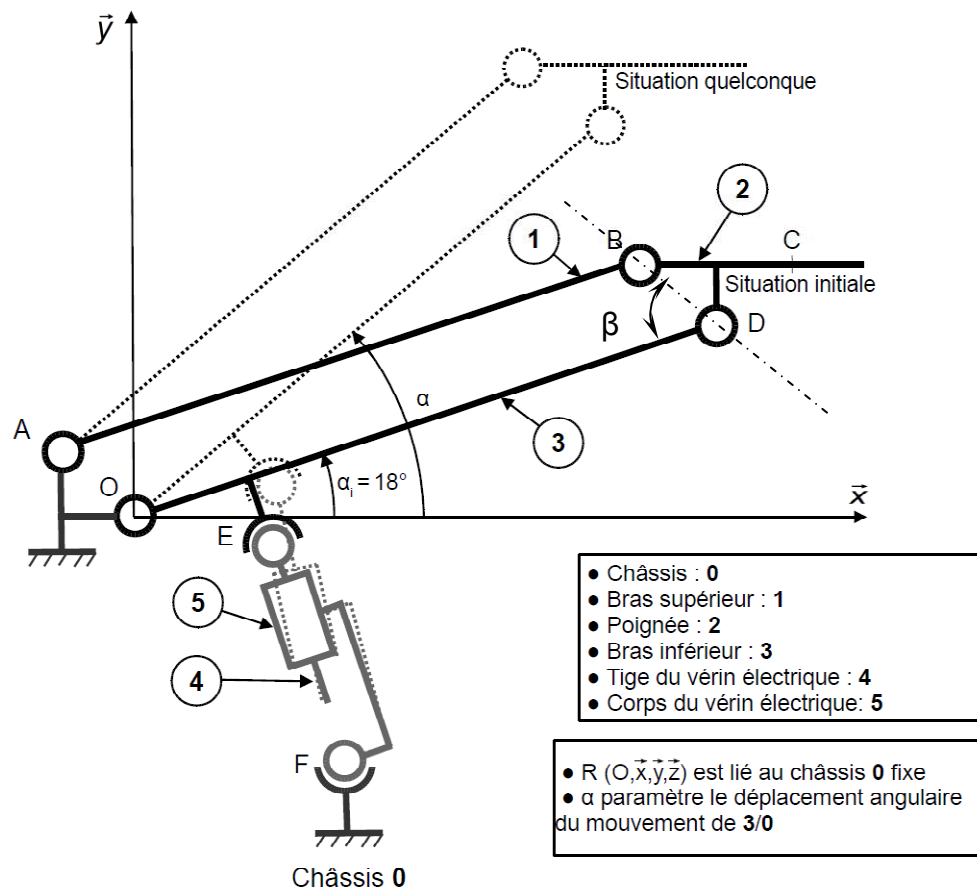


Figure 7 : couple sur une roue motrice et vitesse du Robuwalker**Figure 8** : puissance absorbée par un moteur « brushless », sur l'arbre d'un moteur et en sortie de réducteur**Figure 9** : courant moteur mesuré et simulé

- Q13/** Expliquer pourquoi les valeurs des couples appliqués sur une roue motrice pendant les deux régimes permanents sont identiques.
- Q14/** A l'aide des résultats de la simulation Figure 8, Calculer le rendement η_{red} de l'ensemble {réducteur + dispositif poulie-courroie}.
- Q15/** En analysant le schéma bloc du DT3 Donner en justifiant le type de modèle utilisé (Black Box, White Box ou autre) ? Si autre préciser lequel ?
- Q16/** Proposer une modélisation multiphysique simplifiée de la fonction « déplacer le ROBUWALKER » avec les blocs que l'on trouve dans SIMSCAPE de SIMULINK. On ne modélisera que la partie roue de droite.
- Q17/** D'après le DT1 donner la relation entre l'angle α et l'angle β sachant que l'angle $(\vec{x}; \overrightarrow{OA}) = \frac{3\pi}{4}$

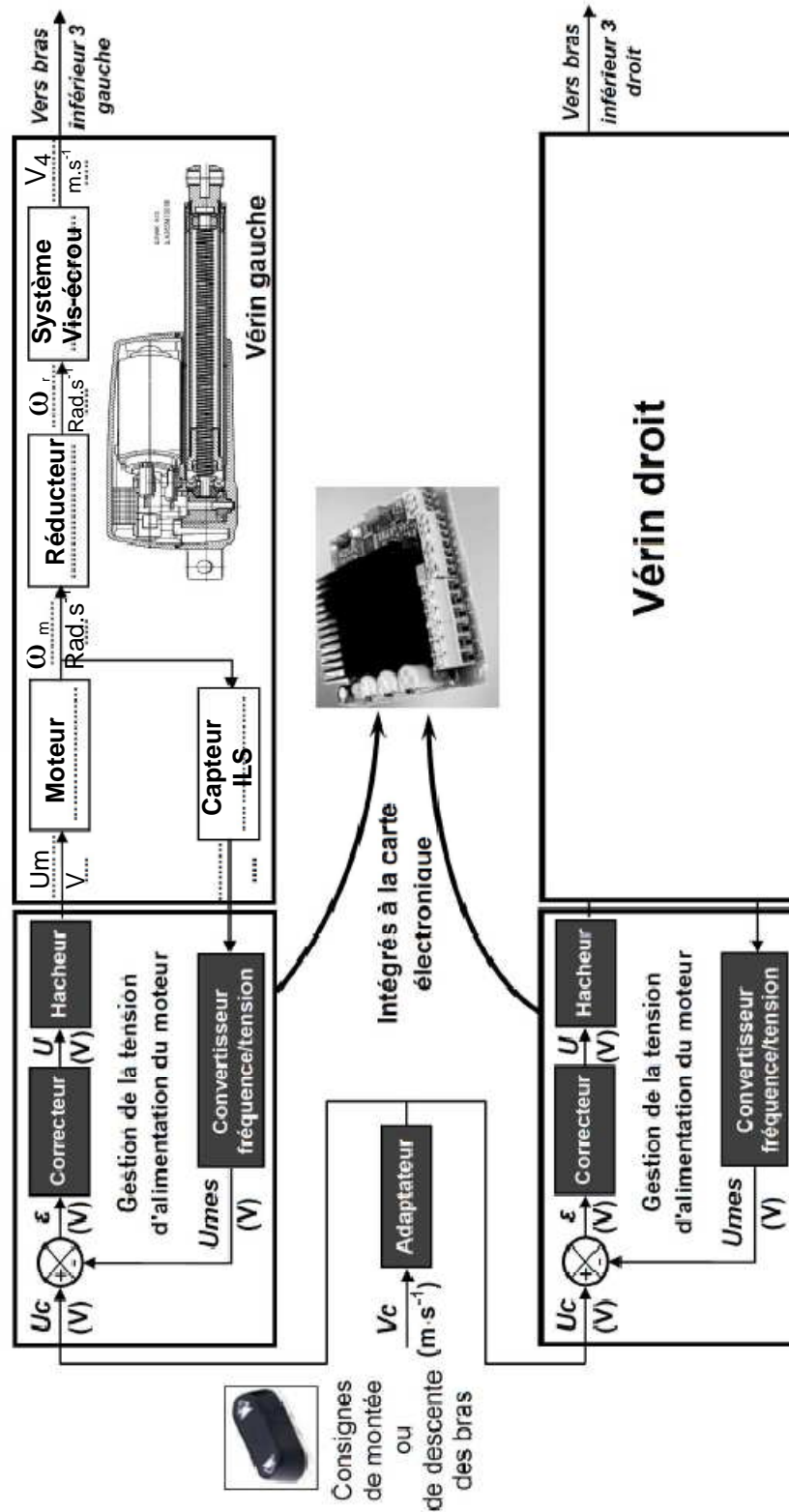
Document technique DT1.

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



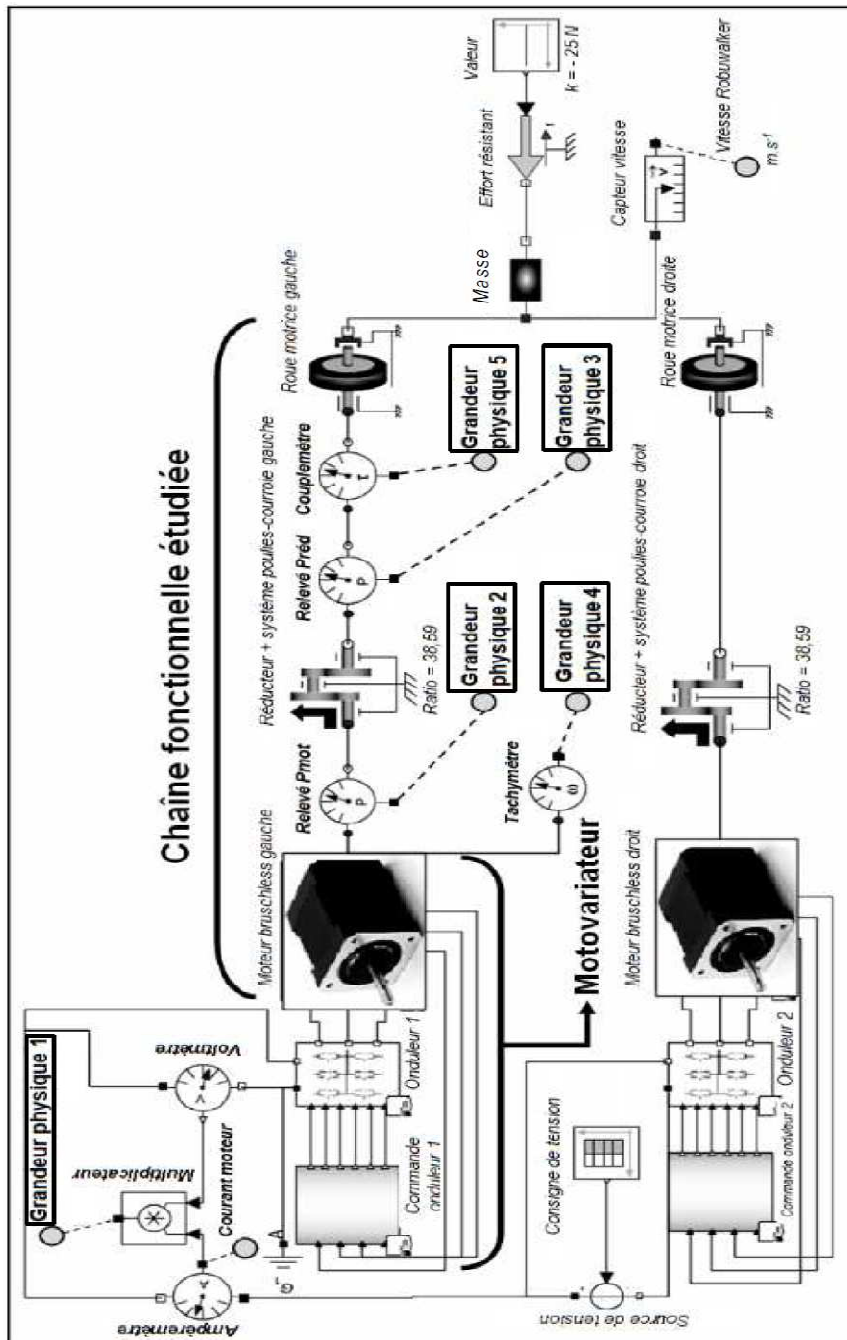
Document réponse DT2

Q 5. Schéma fonctionnel simplifié des vérins électriques synchronisés



Document technique DT3.


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



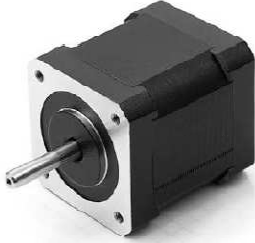
Document technique DT4.

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

Document réponse DR1

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

