Déambulateur robotisé RW

L'amélioration de la mobilité des personnes âgées ou rencontrant des troubles de la marche demeure un des enjeux majeurs de la recherche médicale en gériatrie (médecine de la vieillesse) et en assistance aux personnes à mobilité réduite.

Un dispositif d'assistance à la marche peut être prescrit lors de l'apparition de troubles de la locomotion.

Parmi les nombreux dispositifs proposés, la canne et le déambulateur demeurent les plus utilisés ; l'utilisation de la canne étant privilégiée lors de troubles mineurs ou n'affectant qu'une des deux jambes.

Les déambulateurs sont proposés lorsque l'assistance d'une canne demeure insuffisante, il est composé généralement d'une structure métallique offrant 4 appuis au sol supplémentaires.

Selon le modèle, le déambulateur peut offrir 2 ou 4 poignées (figure 1 (a) et (b)). D'autres modèles appelés "Rollator" incorporent des roues à l'avant afin de faciliter le déplacement de celui-ci en épargnant à l'utilisateur de le porter complètement (figure 1 (c) et (d)).



Figure 1 : (a) Déambulateur classique - (b) Déambulateur 4 poignées - (c) Rollator 2 roues – (d) Rollator 4 roues

Les déambulateurs robotisés (ou actifs) développés (figure 2), s'inspirent des rollators à 4 roues afin d'offrir un contrôle amélioré et une plus grande mobilité. Cette mobilité est parfois augmentée par l'utilisation de roues omnidirectionnelles.

Les déambulateurs actifs sont souvent équipés de plusieurs capteurs afin d'assurer différents services. Ainsi la détection de l'intention de l'utilisateur est assurée par l'utilisation de capteurs d'effort incorporés à leurs poignées.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 1/31

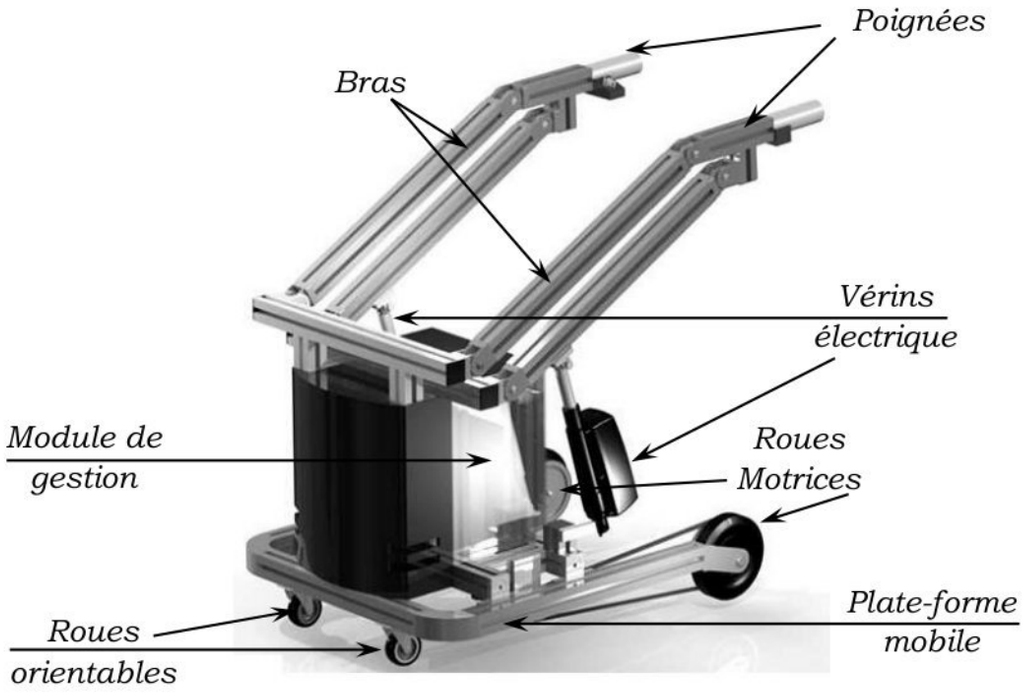


Figure 2 : Déambulateur robotisé

Afin de prendre en compte la volonté de l'utilisateur, le recours à des algorithmes de détection d'intention peuvent être mis en place, filtrant les informations parfois contradictoires (dues à la pathologie) fournies par le patient.

Différents niveaux d'assistance peuvent être proposés à l'utilisateur. L'assistance à la verticalisation, c'est-à-dire le passage de la station assise à la station debout, en plus de l'assistance à la marche.

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.

Figure 3 : assistance à la verticalisation



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.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 2/31

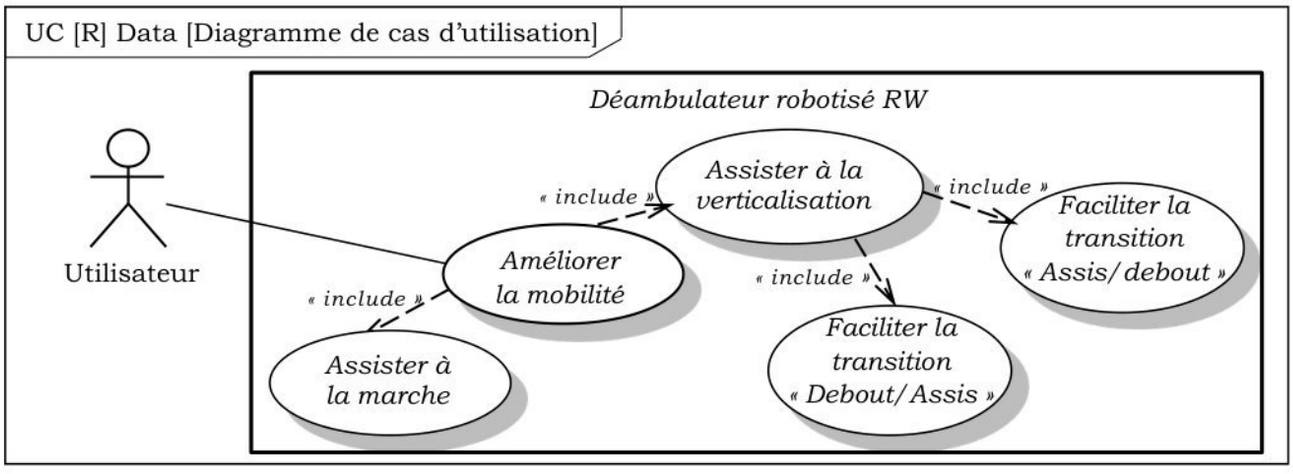
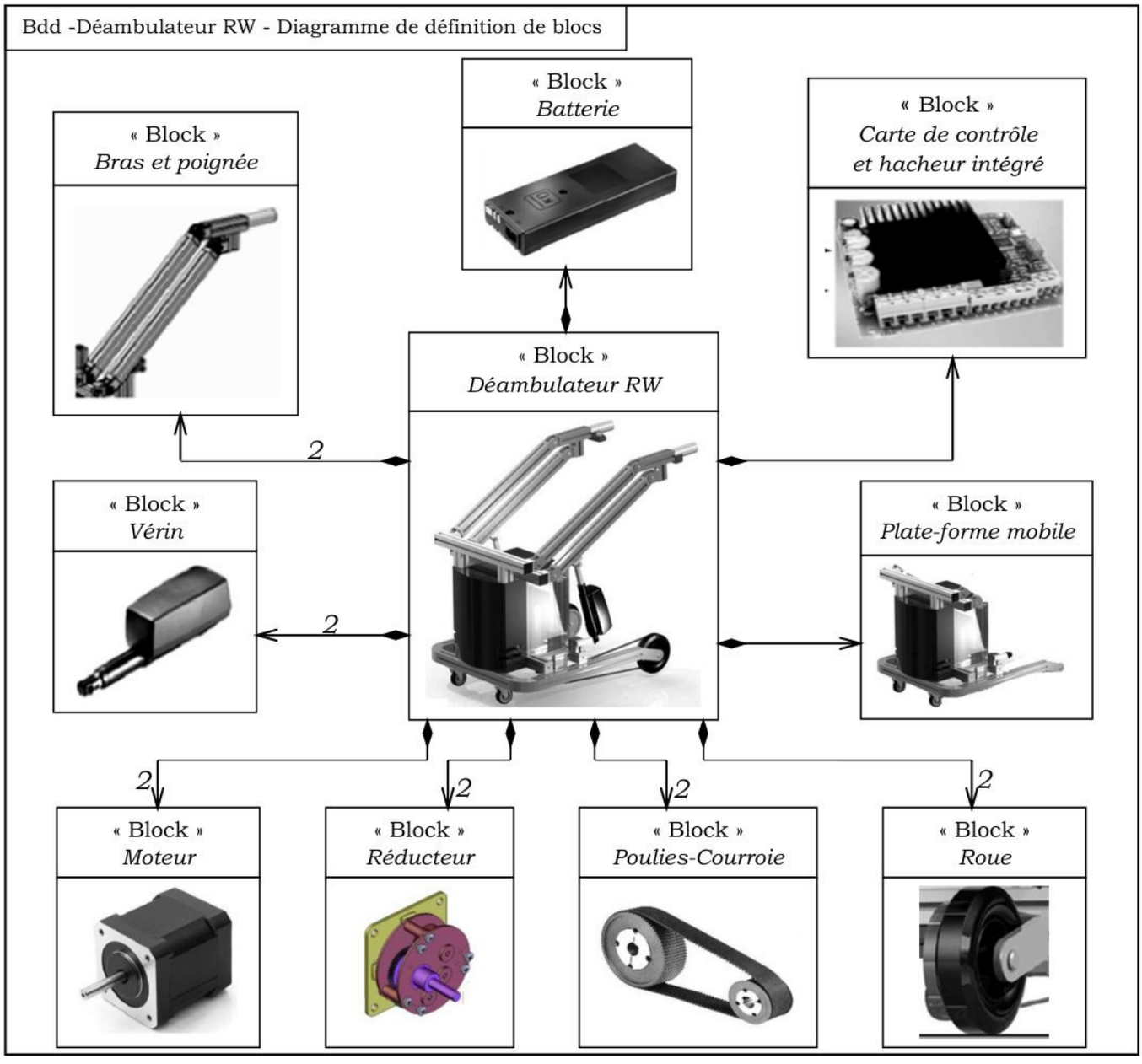


Figure 4 : Diagramme de cas d'utilisation



wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 3/31

Figure 5 : Diagramme de définition de blocs partiel

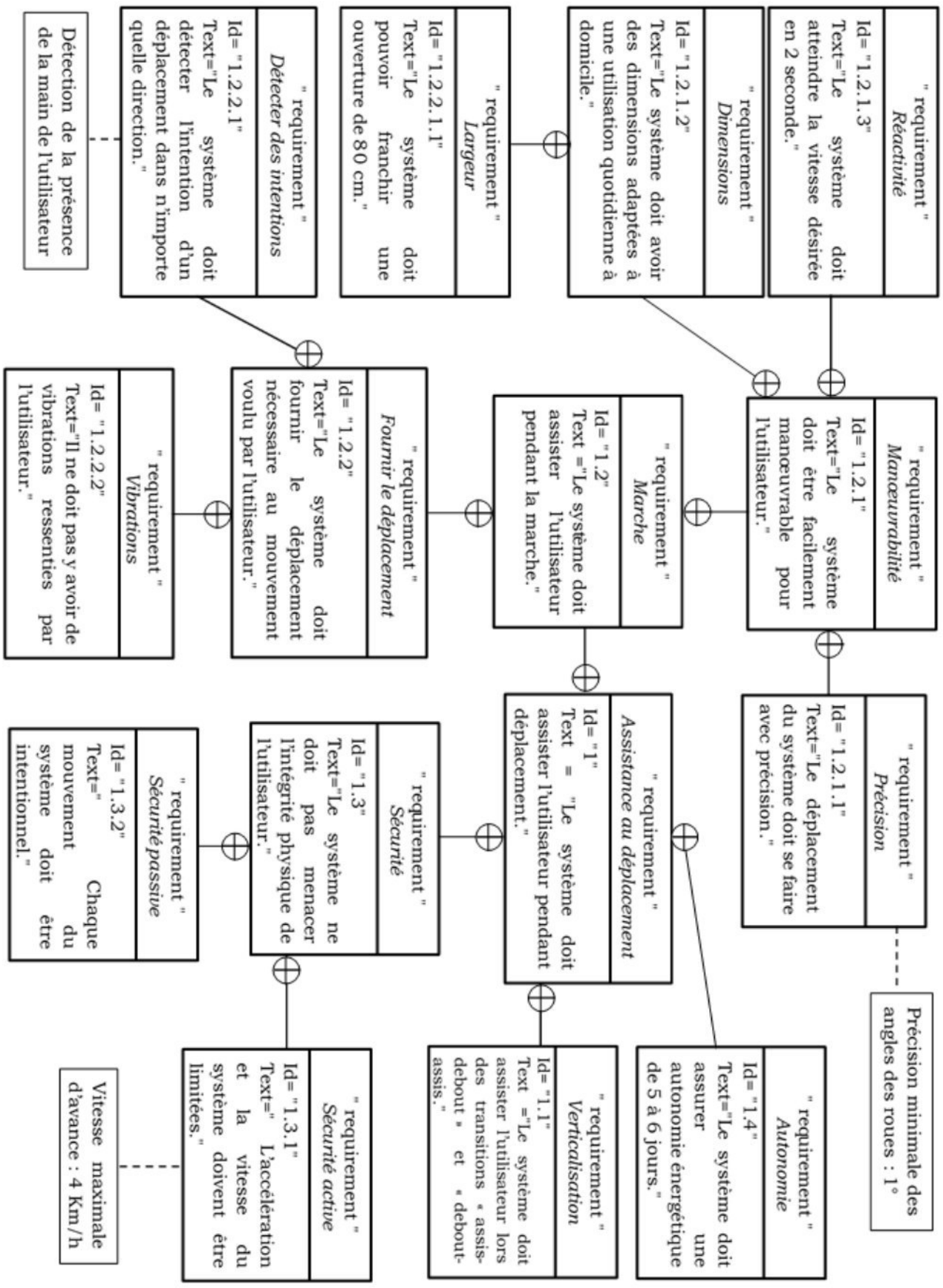


Figure 6 : Extrait du diagramme des exigences partiel du déambulateur RW

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 4/31

Exercice préliminaire : noté 4 points sur 20.

Dans cette partie du sujet, seule la chaîne fonctionnelle associée au cas d'utilisation « assister à la verticalisation » sera étudiée. La plate-forme du robot est donc immobile.

Le mécanisme de verticalisation du robot étudié dans cette partie est représenté sur la figure 7.

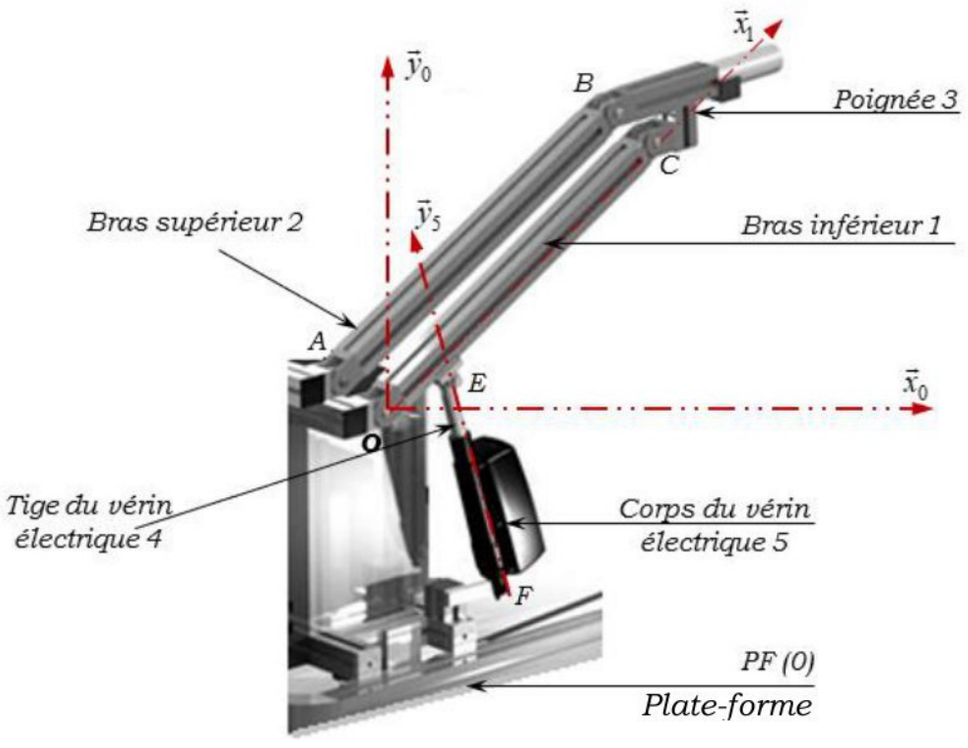


Figure 7 : Mécanisme de verticalisation

Le graphe des liaisons de la figure 8 synthétise les modèles de liaisons utilisés pour cette modélisation.

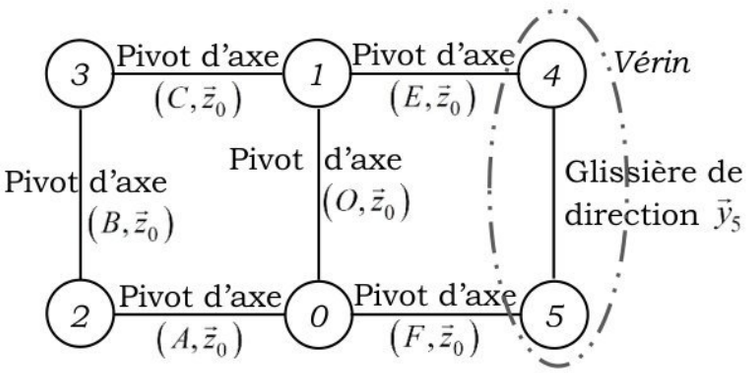


Figure 8 : Graphes de liaisons

Paramétrage :

- ✓ Le repère $R_0(O,\vec{x}_0,\vec{y}_0,\vec{z}_0)$ est lié à la plate-forme (0). Ce repère est supposé galiléen.
- ✓ Le repère $R_1(O,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)$ est lié au bras inférieur (1).

  On note $\theta=(\vec{x}_0,\vec{x}_1)=(\vec{y}_0,\vec{y}_1)$ l'angle de rotation du bras (1) par rapport au châssis (0).

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 5/31

- ✓ Le repère $R_5\left(F,\vec{x}_5,\vec{y}_5,\vec{z}_5\right)$ est lié au corps du vérin électrique (5).

  On note $\beta=\left(\vec{x}_0,\vec{x}_5\right)=\left(\vec{y}_0,\vec{y}_5\right)$ l'angle de rotation du vérin électrique par rapport à la plate-forme (0).

Le mécanisme de verticalisation est modélisé par le schéma cinématique de la figure 9.

Données géométriques :

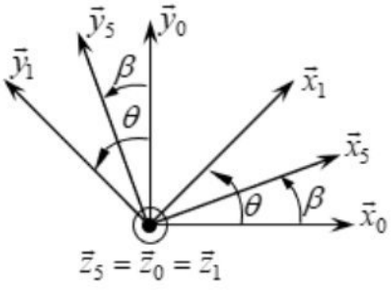
$\overrightarrow{OC}=L.\vec{x}_1=\overrightarrow{AB}$,

$\overrightarrow{FE}=\lambda(t).\vec{y}_5$,

$\overrightarrow{OA}=-e.\vec{x}_0+f.\vec{y}_0$,

$\overrightarrow{OF}=d.\vec{x}_0-h.\vec{y}_0$,

$\overrightarrow{OE}=a.\vec{x}_1-b.\vec{y}_1\approx a.\vec{x}_1$ (b négligeable).



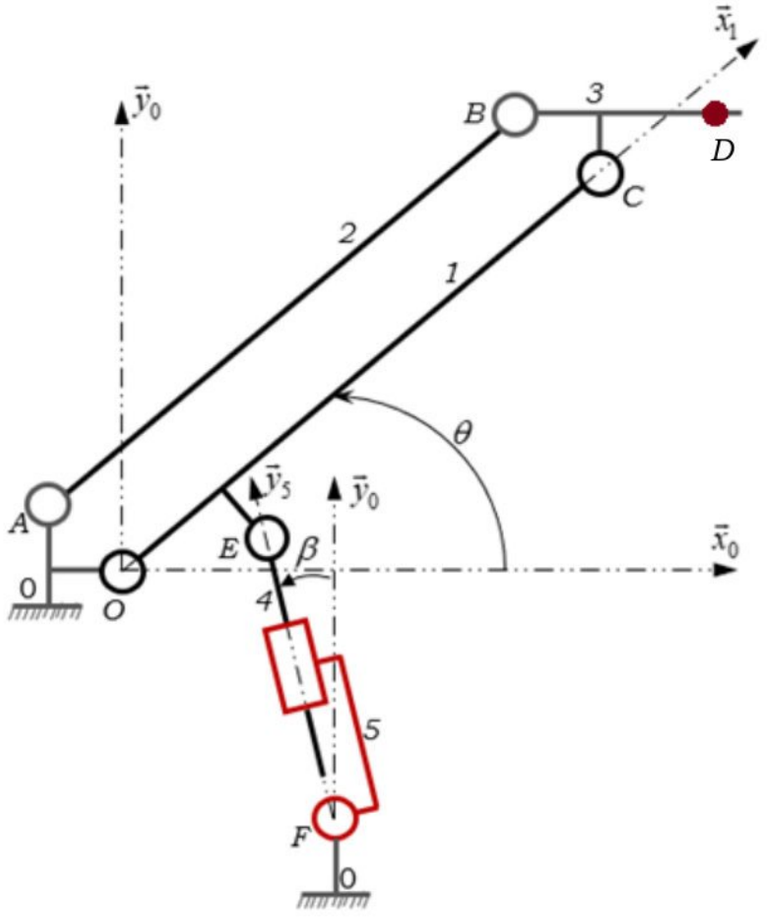


Figure 9 : Schéma cinématique du mécanisme de verticalisation

Détermination de la loi entrée/sortie cinématique.

Le problème est supposé plan.

Notation : Le vecteur rotation d'un solide i en mouvement par rapport à un solide j sera noté $\vec{\Omega}(i/j)=\omega_{ij}.\vec{z}_0$.

Le torseur cinématique sera noté $\{V(i/j)\}=\begin{Bmatrix}\vec{\Omega}(i/j)\\ \vec{V}(P,i/j)\end{Bmatrix}_P$.

On considère la chaine des solides 0 – 2 – 3 – 1 – 0.

> ***Q1.*** *En utilisant la notation ci-dessus, donner les torseurs cinématiques suivants :*
>
> - $\{V(1/0)\}$ au point O.
> - $\{V(2/0)\}$ au point A.
> - $\{V(3/2)\}$ au point B.
> - $\{V(3/1)\}$ au point C.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 6/31

Q2. *Déterminer l'expression de* $\vec{V}(C,1/0)$ *en fonction de L et* $\dot{\theta}$ *.*

Q3. *Déterminer, par dérivation vectorielle, l'expression de* $\vec{V}(B,2/0)$ *en fonction de L et* $\dot{\theta}$ *.*

Q4. *Montrer que* $\vec{V}(B,3/0)=\vec{V}(C,3/0)$*. En déduire* $\vec{\Omega}(3/0)$ *.*

Q5. *Quelle est la nature du mouvement de la poignée (3) par rapport au repère* R_0 *? En déduire le torseur cinématique* $\{V(3/0)\}$ au point D.

On considère la chaine des solides 0 – 1 – 4 – 5 – 0.

Q6. *Déterminer l'expression de* $\vec{V}(E,1/0)$ *en fonction de* $\dot{\theta}$ *et* a.

Q7. *En utilisant la notation précédente, donner les torseurs cinématiques suivants :*

- $\{V(5/0)\}$ au point F.
- $\{V(1/4)\}$ au point E.

Q8. *Donner le torseur cinématique* $\{V(4/5)\}$ *en fonction de* $\dot{\lambda}$ *.*

Q9. *Déterminer, par composition des vecteurs vitesse ou par dérivation vectorielle, l'expression de* $\vec{V}(E,4/0)$ *en fonction de* λ, $\dot{\lambda}$ *et* $\dot{\beta}$ *.*

Q10. *Montrer que* $\vec{V}(E,1/0)=\vec{V}(E,4/0)$*.*

Q11. *En déduire les expressions suivantes :*

$$\lambda.\dot{\beta}=a.\dot{\theta}.\sin(\theta-\beta)$$
$$\dot{\lambda}=a.\dot{\theta}.\cos(\theta-\beta).$$

Q12. *Déterminer les deux équations issues de l'écriture de la fermeture géométrique de la chaine des solides 0_5_4_1_0 en projection sur la base* $(\vec{x}_0,\vec{y}_0)$*.*

Q13. *Montrer, en utilisant les question 11 et 12 que* La loi entrée /sortie du mécanisme de verticalisation s'écrit : $\dot{\theta}=\frac{\lambda}{a}.\frac{\dot{\lambda}}{d.\sin\theta+h.\cos\theta}$.

L'expression du vecteur vitesse du point D de la poignée 3, s'écrit donc :

$$\vec{V}(D,3/0)=L.\dot{\theta}.\vec{y}_1=L.\frac{\lambda}{a}.\frac{\dot{\lambda}}{d.\sin\theta+h.\cos\theta}.\vec{y}_1$$

Fin de l'exercice préliminaire

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 7/31

Partie 1 :

Etude d'hyperstatisme du mécanisme de verticalisation

La figure 10 représente le schéma cinématique spatial du mécanisme de verticalisation.

- On suppose que toutes les liaisons sont parfaites.
- Les liaisons en A, B, C, E, F et O sont des liaisons pivot. La liaison 4/5 est une liaison pivot glissant d'axe $(E, \vec{y}_5)$.

Figure 10

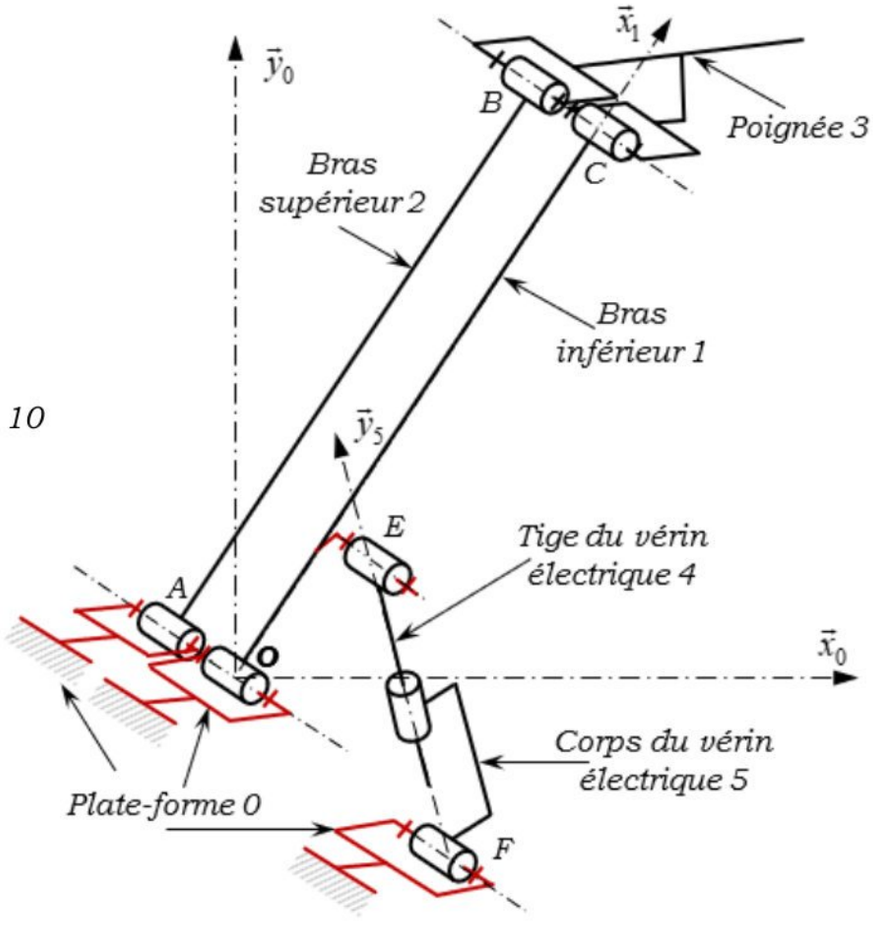


Figure 10 : Schéma cinématique solution 1

Q14. *Calculer le degré d'hyperstatisme h du mécanisme.*

Q15. *Quelle est l'impact de cette valeur de h sur la réalisation du mécanisme.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 8/31

Une deuxième solution qui consiste à remplacer les liaisons pivot en A, B, E et F par des liaisons rotule a été proposée. La figure 11 représente le nouveau schéma cinématique spatial du mécanisme.

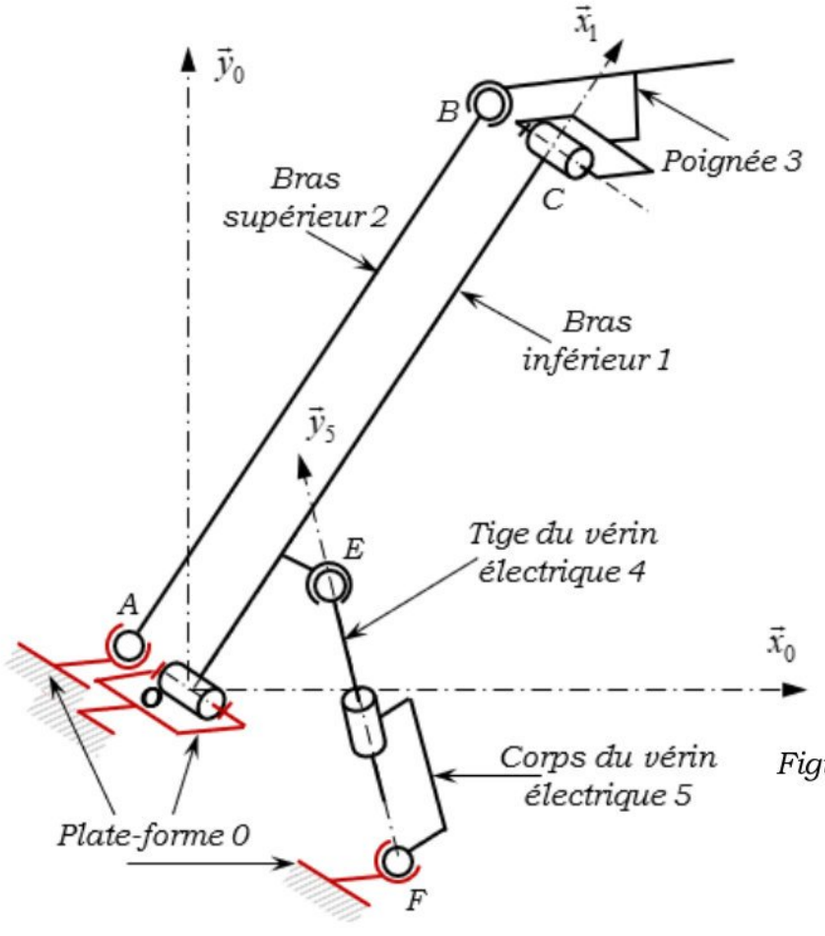


Figure 14

Figure 11 Schéma cinématique solution 2

Q16. *Donner, en spécifiant les mouvements concernés, les nouvelles mobilités utile et interne du mécanisme.*

Q17. *Que devient le degré d'hyperstatisme h du mécanisme ? Justifier le choix de la deuxième solution.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 9/31

Détermination de l'effort du vérin lors de la transition assis/debout.

Données et hypothèses :

- Toutes les liaisons sont considérées parfaites ;
- Le vérin doit exercer un effort, modélisé par un glisseur en E de résultante $\vec{R}(vérin \to 1) = Fv.\vec{y}_5$ permettant le déplacement θ.
- 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. On se place dans un cas quasi-statique et on néglige tous les effets dynamiques.
- L'utilisateur exerce un effort au point D de la poignée tel que $\vec{R}(utilisateur \to 3) = -Fu.\vec{y}_0$.
- Le problème est supposé plan.
- Le torseur des actions mécaniques transmissibles par une liaison i/j pivot d'axe $(P, \vec{z}_0)$ s'écrit $\{T(i \to j)\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}(i \to j) \\ \vec{M}_P(i \to j) \end{Bmatrix}_P = \begin{Bmatrix} X_{ij}.\vec{x}_0 + Y_{ij}.\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_P$.

> ***Q18.*** *Un solide S étant en équilibre par rapport à un repère galiléen, énoncer sous forme vectorielle les relations que l'on doit vérifier.*

On considère le graphe d'analyse de la figure 12.

On pose :

$\overrightarrow{BC} = -e.\vec{x}_0 + f.\vec{y}_0$

$\overrightarrow{CD} = \mu.\vec{x}_0 + f.\vec{y}_0$

On rappelle :

$\overrightarrow{OE} = a.\vec{x}_1 - b.\vec{y}_1 \approx a.\vec{x}_1$ (b négligeable)

$\overrightarrow{OC} = L.\vec{x}_1 = \overrightarrow{AB}$

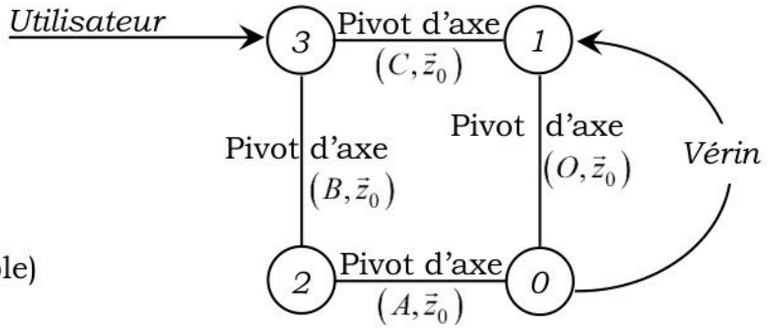


Figure 12: Graphe d'analyse

> ***Q19.*** *En considérant l'équilibre du bras inférieur (1), déterminer, par application du théorème du moment statique en O, l'effort du vérin F_v.*
>
> ***Q20.*** *Justifier que la résultante de l'action du bras supérieur 2 sur la poignée $\vec{R}(2 \to 3)$ est suivant (AB). Montrer que $Y_{23} = X_{23}.tan\theta$.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 10/31

Q21. *En considérant l'équilibre de la poignée 3, donner les équations scalaires issues de l'application du théorème de la résultante statique.*

Q22. *En déduire l'expression de l'effort du vérin* F_v *en fonction de* L, a, θ, β *et* F_u.

Des essais ont montré que les actions de l'utilisateur sur les deux poignées sont rarement identique lors de la transition assis/debout.

La figure 13 présente le chargement appliqué sur les deux poignées.

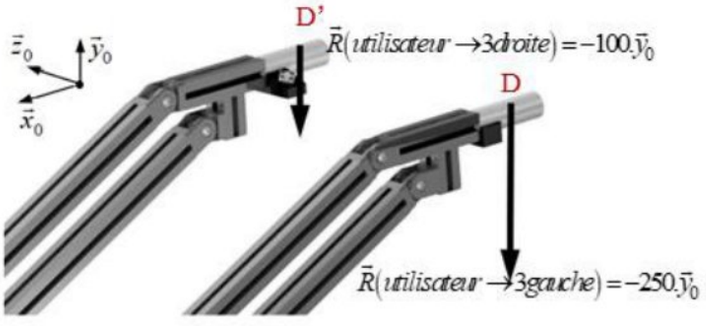


Figure 13 : efforts exercés sur les poignées

L'utilisateur exerce un effort $\vec{R}(utilisateur \rightarrow 3gauche) = -250.\vec{y}_0(N)$ sur la poignée gauche et un effort $\vec{R}(utilisateur \rightarrow 3droite) = -100.\vec{y}_0(N)$ sur la poignée droite.

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.

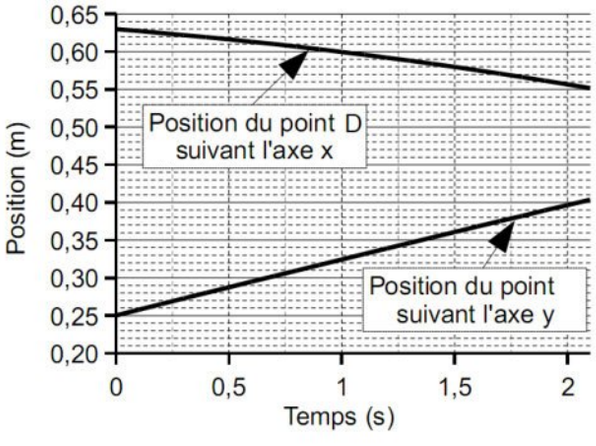


Figure 14 : position du point D pour la poignée de gauche

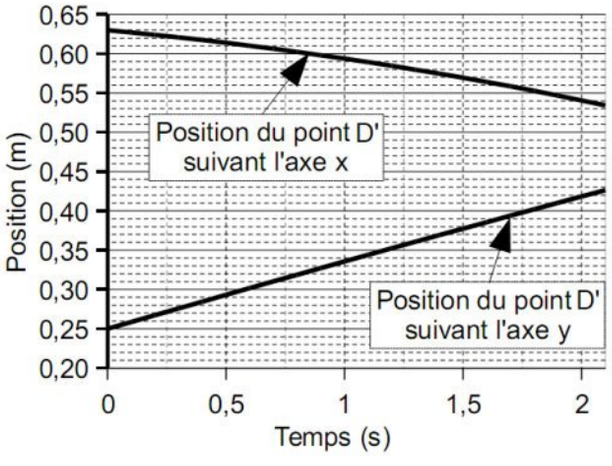


Figure 15 : position du point D' pour la poignée de droite

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.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 11/31

Partie 2 : Mise en œuvre de l'asservissement en vitesse des vérins.

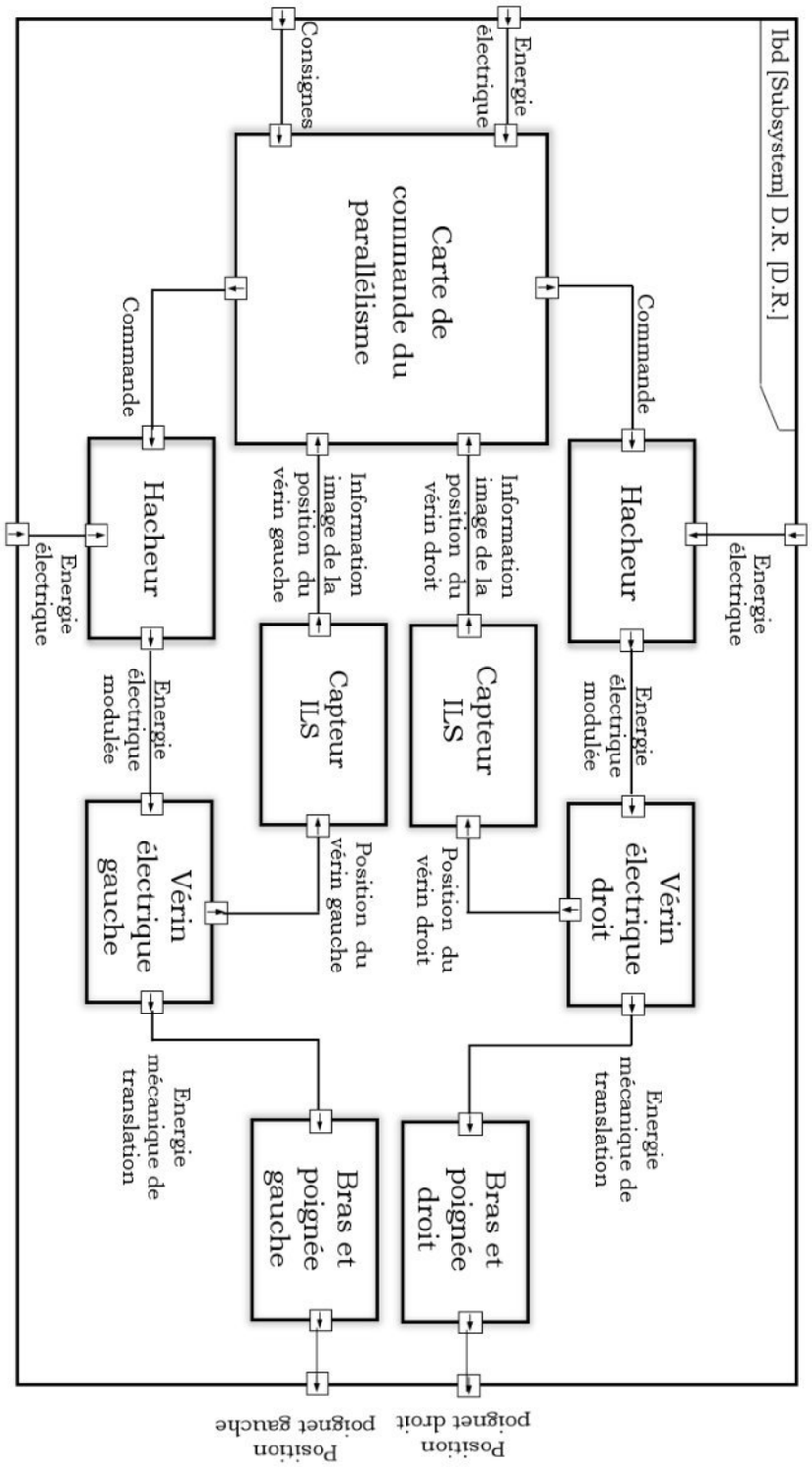


Figure 16 : Diagramme de bloc interne du système de verticalisation

Q23. *A l'aide du diagramme de bloc interne de la figure 16 compléter, sur la figure R1 du document réponse DR1, la chaîne fonctionnelle de l'ensemble des constituants assurant l'assistance à la verticalisation.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 12/31

Données et hypothèses :

- Toutes les liaisons sont considérées parfaites ;
- Le moment d'inertie du bras inférieur 1 par rapport à l'axe $(O,\vec{z}_0)$ est noté J_1.
- Le moment d'inertie du bras supérieur 2 par rapport à l'axe $(A,\vec{z}_0)$ est noté J_2.
- La masse de la poignée 3 est notée M_3.

Modélisation des actions mécaniques :

On considère le graphe d'analyse de la figure 17.

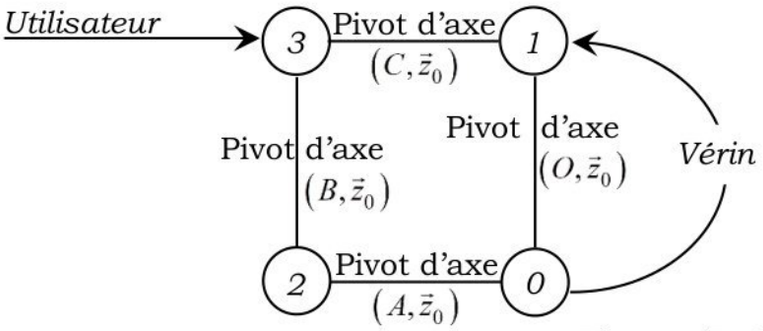


Figure 17 : Graphe d'analyse

- L'utilisateur exerce un effort au point D de la poignée tel que $\vec{R}(utilisateur \to 3) = -Fu.\vec{y}_0$.
- L'action de la pesanteur sur les solides du mécanisme est supposée négligeable.
- Le vérin doit exercer un effort, modélisé par un glisseur en E de résultante $\vec{R}(vérin \to 1) = Fv.\vec{y}_5$ permettant le déplacement θ.

On considère l'ensemble de la chaine cinématique
$\Sigma = \{$bras inférieur 1, bras supérieur 2, poignée 3$\}$

Q24. *Déterminer l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble des solides en mouvement. Le résultat sera mis sous la forme* $\frac{1}{2}.J.\dot{\theta}^2$ *où* J *est à exprimer en fonction de* J_1, J_2, M_3 et L.

Q25. *Déterminer les puissances des actions mécaniques extérieures à l'ensemble* Σ.

Q26. *Mettre en œuvre le théorème de l'énergie cinétique afin de déterminer l'effort du vérin* F_v.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 13/31

La figure 18 présente La chaîne structurelle du vérin électrique utilisé (figure 19).

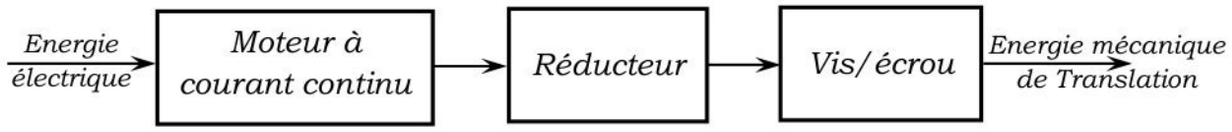


Figure 18 : Chaine de transmission de mouvement

On note :

$\omega_m(t)$: la vitesse angulaire de l'arbre moteur ;

$\omega_r(t)$: la vitesse angulaire de l'arbre de sortie du réducteur ;

k : le rapport de réduction ;

η_r : le rendement du système vis-écrou.

p_v : le pas du système vis-écrou (hélice à droite).

η_v : le rendement du système vis-écrou.

$C_m(t)$: le couple moteur du MCC.

$C_r(t)$: le couple à la sortie du réducteur.

$F_v(t)$: l'effort sur la tige du vérin.

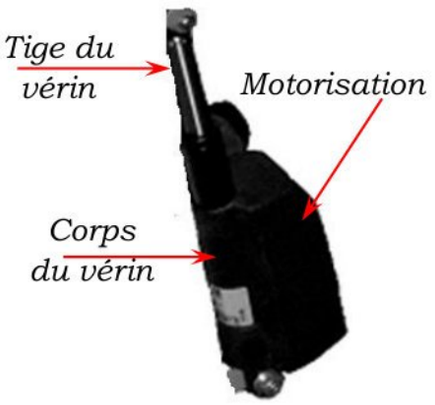


Figure 19 : Vérin électrique

Le vérin est supposé de masse négligeable.

> ***Q27.*** *Montrer que l'expression de la norme de l'effort du vérin* $F_v(t)$ *s'écrit* $F_v(t) = \eta_r.\eta_v.\dfrac{2\pi}{k.p_v}.C_m(t)$.

Modélisation du moteur à courant continu :

Notations :

- ✓ Tension d'alimentation de l'induit : $u(t)$
- ✓ Courant absorbé par l'induit : $i(t)$
- ✓ Force contre électromotrice : $e(t)$
- ✓ Résistance de l'induit : R
- ✓ Inductance de l'induit : L (*négligeable*)
- ✓ Constante de couple : k en $\left(N.m.A^{-1}\right)$
- ✓ Constante de force contre électromotrice : k en $\left(\mathrm{V}.s/rad\right)$

Équations du moteur :

Equation électrique :

$$u(t) = R.i(t) + e(t) \qquad (1)$$

Equations de couplage :

$$C_m(t) = k.i(t) \qquad (2) \qquad e(t) = k.\omega_m(t) \qquad (3)$$

Des hypothèses simplificatrices ont permis d'écrire l'équation différentielle du mouvement sous la forme : $C_m(t) - K.F_U(t) = J_S.\dfrac{d}{dt}\omega_m(t) \qquad (4)$

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 14/31

J_S : Moment d'inertie équivalent de l'ensemble des solides en mouvement ramené sur l'axe moteur.

On notera $F(p)$ la transformée de Laplace de la grandeur physique $f(t)$.
Le schéma bloc du moteur est donné figure 20.

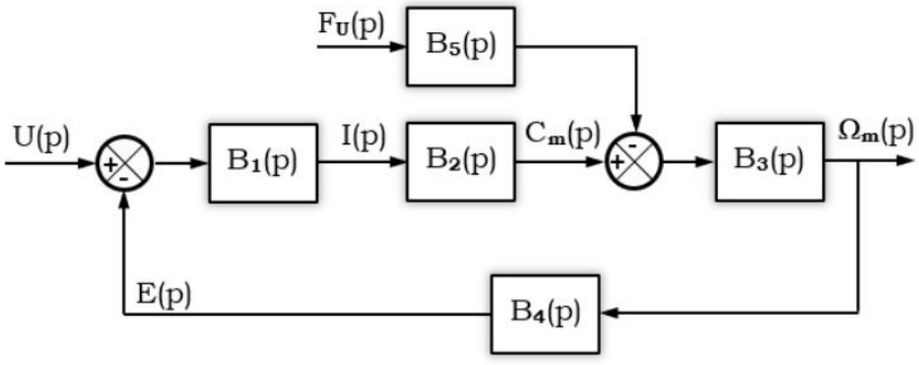


Figure 20 : Schéma bloc du moteur à courant continu

> ***Q28.*** *Appliquer, en supposant les conditions initiales nulles, la transformées de Laplace aux équations (1) à (4).*
>
> ***Q29.*** *En déduire les expressions des fonctions de transfert $B_1(p)$, $B_2(p)$, $B_3(p)$, $B_4(p)$ et $B_5(p)$ du schéma bloc de la figure 20.*

On pose $\Omega_m(p) = H_m(p).U(p) - H_f(p).F_U(p)$:

> ***Q30.*** *Donner les expressions des fonctions de transfert $H_m(p)$ et $H_f(p)$ en fonction de $B_1(p)$, $B_2(p)$, $B_3(p)$, $B_4(p)$ et $B_5(p)$*

Le schéma bloc de l'asservissement en vitesse du vérin est donné figure 21.

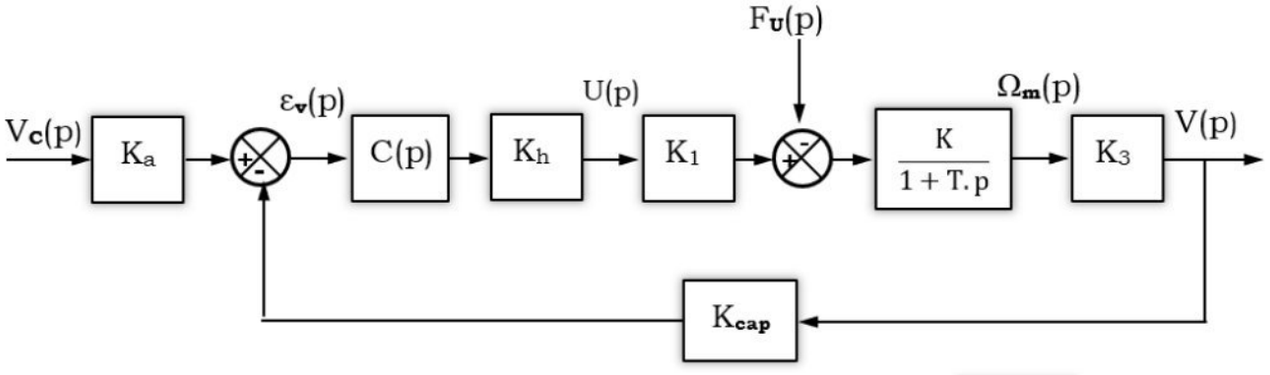


Figure 21 : Schéma bloc de l'asservissement en vitesse

Le schéma bloc de la figure 21 peut être ramené à un schéma bloc à retour unitaire figure 22.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 15/31

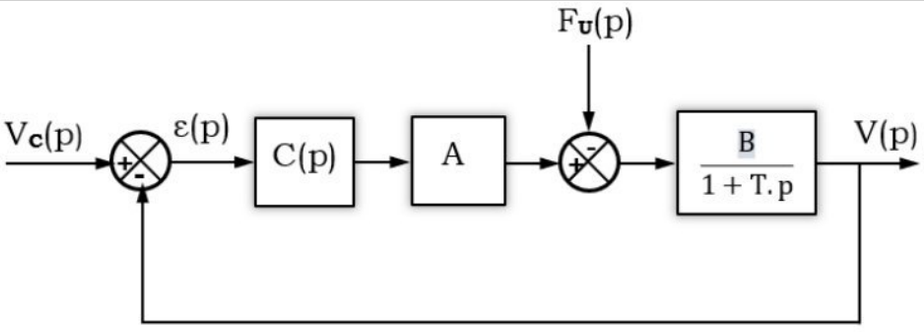


Figure 22 : Schéma bloc à retour unitaire

Analyse des performances :

Les performances à régler pour l'asservissement en vitesse du vérin du déambulateur sont indiquées sur le tableau ci-dessous.

Exigences	Critère	Niveau
Stabilité	Marge de phase	45° minimum
Amortissement	Dépassement	Aucun
Précision	Erreur statique	Nulle
Rapidité	Temps de réponse	0,5 s maximum

On donne : $C(p)=1$, $A=44$, $B=0,0075$ *et* $T=0,5\ (s)$.

> ***Q31.*** *Déterminer l'erreur statique pour un échelon de vitesse d'amplitude* V_{co} *et un effort de l'utilisateur* F_{uo}. *En déduire l'écart de vitesse entre les deux vérins gauche et droite dans le cas où* $F_{ugauche}=250(N)$ *et* $F_{udroite}=100(N)$.

Pour respecter l'exigence de précision, on choisit un correcteur proportionnel intégral de fonction de transfert $C(p)=\dfrac{K_i}{p}$.

> ***Q32.*** *Donner l'erreur en régime permanent pour un échelon de vitesse d'amplitudes* V_{co} *et un échelon d'effort perturbateur* F_{uo}. *Conclure.*
>
> ***Q33.*** *Déterminer l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte* $G_{BO}(p)$. *Donner l'expression du gain* K_{BO}.
>
> ***Q34.*** *Déterminer la valeur du gain du correcteur* K_i *permettant de satisfaire l'exigence de stabilité.*
>
> ***Q35.*** *Déterminer l'expression et la valeur du gain du correcteur* K_i *permettant d'avoir le système le plus rapide sans dépassement.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 16/31

L'abaque de la figure 23 permet de déterminer le temps de réponse à 5% d'un système du second ordre.

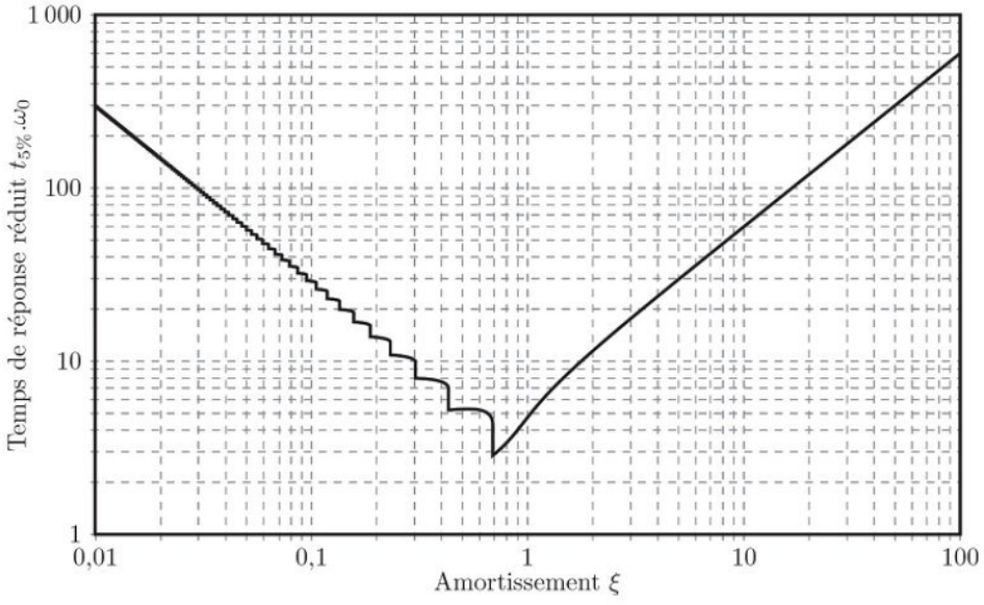


Figure 23 : Abaque du temps de réponse réduit d'un système du second ordre

> ***Q36.*** *En adoptant la valeur de K_i de la question 35, conclure quant au respect des critères du cahier des charges.*

L'utilisation un correcteur Proportionnel Intégral ayant pour fonction de transfert $C(p) = K_i.\dfrac{1+T_i.p}{T_i.p}$ améliore les performances de l'asservissement. Le réglage du correcteur avec $T_i = 0$, (5) et $K_i = 9,09\ s^{-1}$ permet de satisfaire les quatre exigences.

La figure 24 présente la réponse indicielle du système corrigé pour un échelon de vitesse d'amplitudes V_{co} et un échelon d'effort perturbateur F_{uo} .

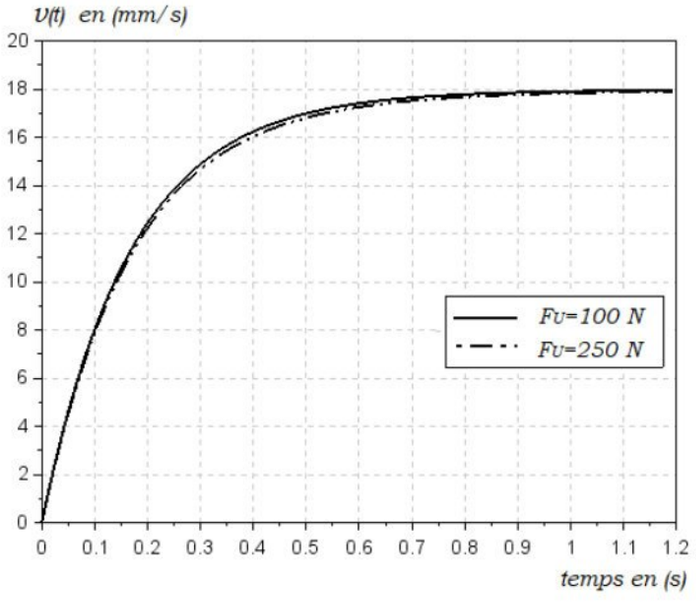


Figure 24 : Réponse indicielle à un échelon de vitesse $V_{co} = 18\ mm/s$

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 17/31

Partie 3 : Dimensionnement des moteurs des deux roues motrices dans le cas d'un mouvement de translation du déambulateur.

Dans cette partie, on considère que déambulateur se déplace en ligne droite vers l'avant sur un sol horizontal.

La figure 25 présente les constituants de la chaîne fonctionnelle de l'assistance à la marche et la figure26 représente le schéma du déambulateur dans le plan $(\vec{x}_0, \vec{y}_0)$.

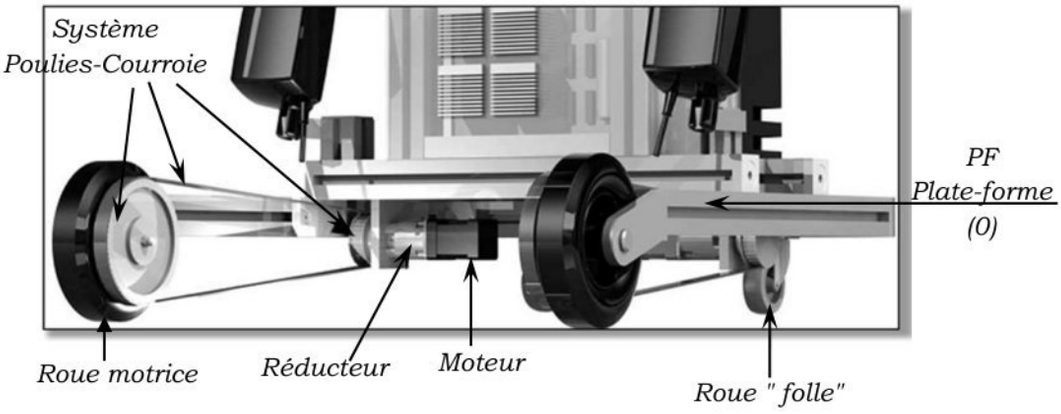


Figure 25 : constituants de la chaine fonctionnelle

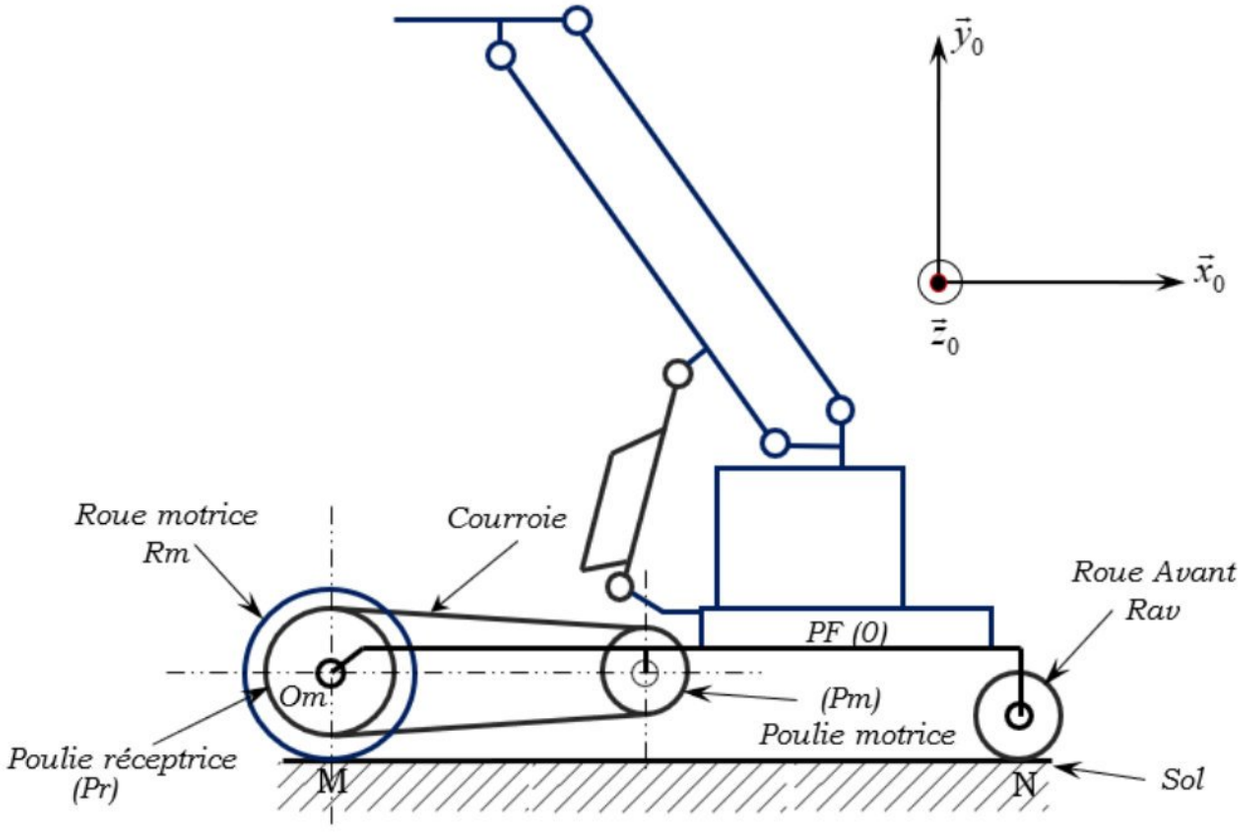


Figure 26 : schéma cinématique du RW

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 18/31

Q37. *A l'aide du diagramme de définition de blocs disponible (figure 5, page 3), compléter sur la figure R2 du document réponse DR2 le diagramme correspondant à la chaîne d'énergie de l'ensemble des constituants assurant l'assistance à la marche.*

Hypothèses et données :

- Le repère $R_S\left(O_S,\vec{x}_0,\vec{y}_0,\vec{z}_0\right)$ est lié au sol. Ce repère est supposé galiléen.
- Le contact des roues avant et arrière avec le sol est supposé ponctuel.
- Il y a roulement sans glissement au contact des roues avec le sol.
- La vitesse angulaire du moteur est notée ω_m.
- Le torseur cinématique du mouvement de la roue motrice (et de la poulie réceptrice) par rapport à la PF (0) est noté $\left\{V\left(Rm/0\right)\right\}=\left\{\begin{matrix}-\omega_{Rm}.\vec{z}_0\\ \vec{0}\end{matrix}\right\}_{Om}$.
- L'ensemble {réducteur + dispositif poulies-courroie} ont un rapport de réduction $r=\frac{\omega_{Rm}}{\omega_m}=\frac{1}{38,59}$.
- Le diamètre des deux roues motrices est $D_{roue}=150\ mm$.
- La liaison entre la roue motrice *Rm* et la PF (0) est une liaison pivot d'axe $\left(O_m,\vec{z}_0\right)$.
- La vitesse de translation du déambulateur est telle que $\vec{V}\left(G,Châssis(0)/sol\right)=V\,\vec{x}_0$.
- La masse du robot est notée M. (M=45 Kg)
- Le moment d'inertie de l'axe moteur par rapport à son axe de rotation est noté J_m.
- Le moment d'inertie équivalent de l'ensemble {réducteur + poulie motrice} ramené sur l'axe moteur est noté J_r.
- Le moment d'inertie équivalent de l'ensemble {roue motrice + poulie réceptrice} ramené sur l'axe de la roue motrice est noté J_{roue}.
- Les masses des roues avant et de la courroie sont négligées.

Modélisation des actions mécaniques :

- L'accélération de la pesanteur est $\vec{g}=-g.\vec{y}_0$.
- La résistance au roulement des roues est négligée.
- L'action de l'utilisateur sur les poignées est négligée.
- Le couple exercé par chaque moteur est noté C_m.
- On note C_{roue} le couple sur une roue motrice. On donne donc $\left\{T\left(réd\rightarrow Rm\right)\right\}=\left\{\begin{matrix}\vec{0}\\ -C_{roue}.\vec{z}_0\end{matrix}\right\}_{Om}$.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 19/31

- On note P_{roue} la puissance en sortie de l'ensemble {réducteur + dispositif poulies/courroie} et $\eta_{réd}$ son rendement. La puissance sur l'arbre d'un moteur est notée P_m.

> ***Q38.*** *En utilisant l'hypothèse de roulement sans glissement en M, donner l'expression de* $V(t)$ *en fonction de r,* D_{roue} *et* $\omega_m(t)$.
>
> ***Q39.*** *Donner l'expression de* $T(robot/sol)$, *l'énergie cinétique du robot dans son mouvement par rapport au sol.*
>
> ***Q40.*** *En déduire l'expression de* $M_{éq}$, *la masse équivalente ramenée au châssis du robot.*

Pour la suite on suppose $M_{éq} \approx M$ *et* $V(t) = K_R.\omega_m(t)$.

> ***Q41.*** *Déterminer l'expression littérale des puissances des actions mécaniques extérieures.*
>
> ***Q42.*** *Déterminer l'expression de la puissance des actions mécaniques intérieures en fonction de* $C_m(t)$, $\eta_{réd}$ *et* $\omega_m(t)$.
>
> ***Q43.*** *Montrer que l'équation différentielle du mouvement du robot par rapport au repère* R_0 *peut s'écrire sous la forme :* $C_m(t) = J.\frac{d}{dt}\omega_m(t)$ *où l'on précisera l'expression de* J *en fonction de* $\eta_{réd}$, K_R *et* M.

La poignée droite du déambulateur 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 ;
- ✓ 2ième niveau, se déplacer ou tourner à vitesse rapide.

Dans le cas d'un déplacement sur un sol horizontal, le cahier des charges spécifie deux niveaux de vitesses : $V_{rob_min} = 0,5\ m/s\ \ (1,8\ Km/h)$ et $V_{rob_max} = 1\ m/s$.

Le rendement de l'ensemble {réducteur + dispositif poulies/courroie} $\eta_{réd} \approx 0,89$.

> ***Q44.*** *Sachant que le temps pour atteindre la vitesse* $V_{rob_min} = 0,5\ m/s$, à accélération constante, *est de 1(s), Calculer la valeur du couple moteur* C_m.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 20/31

Partie 4 : Les déplacements du déambulateur RW sont contrôlés au niveau de chacun des deux moteurs. Des boucles de vitesse assurent l'asservissement en vitesse du système.

La boucle d'asservissement en vitesse est représentée par la figure 27.

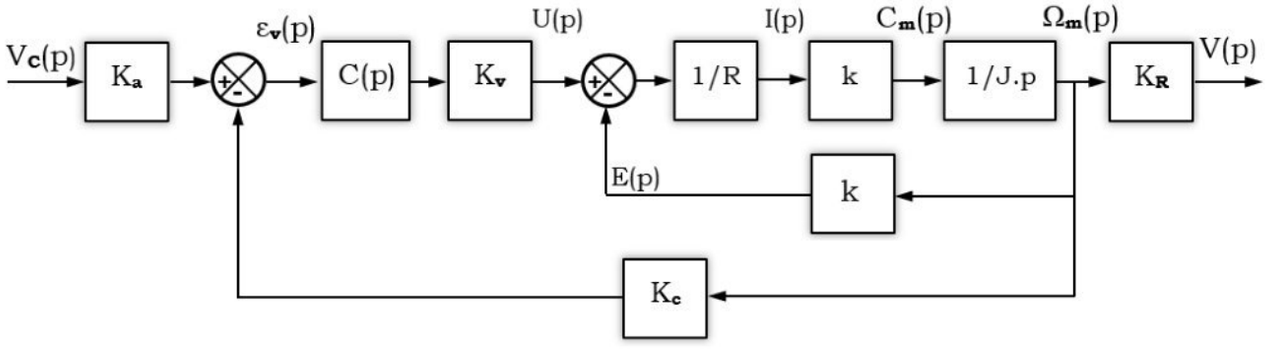


Figure 27 : Schéma fonctionnel de l'asservissement en vitesse du déambulateur

On note :

- ✓ $V_C(p)$: Consigne de vitesse.
- ✓ K_a : Fonction de transfert de l'adaptateur de consigne.
- ✓ K_c : Fonction de transfert du capteur.
- ✓ $C(p)$: Fonction de transfert du correcteur.
- ✓ K_v : Fonction de transfert du variateur.
- ✓ $V(p)$: Vitesse du déambulateur.

Les moteurs utilisés sont des moteurs « brushless ». Leurs comportements sont assimilés à ceux des moteurs à courant continu.

- ✓ Résistance de l'induit : R
- ✓ Inductance de l'induit : L (*négligeable*)
- ✓ Constante de couple : k en $\left(N.m.A^{-1}\right)$
- ✓ Constante de force contre électromotrice : k en $\left(V.s/rad\right)$
- ✓ Tension d'alimentation de l'induit : $u(t)$
- ✓ Courant absorbé par l'induit : $i(t)$
- ✓ Force contre électromotrice : $e(t)$
- ✓ Couple moteur : $C_m(t)$
- ✓ Vitesse angulaire du moteur : $\omega_m(t)$

Q45. *Justifier la nécessite d'avoir la relation* $K_a = \dfrac{K_c}{K_R}$ *pour l'asservissement.*

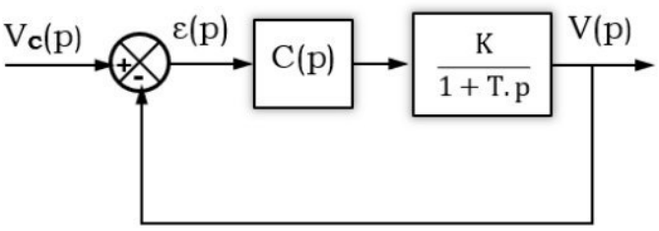


Figure 28 : Schéma bloc à retour unitaire

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 21/31

En utilisant la relation de la question 45, le schéma bloc de l'asservissement en vitesse peut être ramené à celui de la figure 28.

Q46. *Montrer que* $K = \frac{K_c.K_v}{k}$ *et* $T = \frac{R.J}{k^2}$.

Analyse des performances :

Les performances à régler pour l'asservissement en vitesse du déambulateur sont indiquées sur le tableau ci-dessous.

Exigences	Critère	Niveau
Stabilité	Marge de phase	45° minimum
Amortissement	Dépassement	Aucun
Précision	Erreur statique	Nulle
Rapidité	Temps de réponse	1 s maximum

On choisit un correcteur proportionnel intégral de fonction de transfert $C(p) = \frac{K_i}{p}$.

On donne l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement en vitesse : $G_{BO}(p) = \frac{0,214.K_i}{p.(1+0,26.p)}$.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 22/31

Q47. *La réponse à un échelon de vitesse de 1 m/s de l'asservissement est donnée figure R3 du document réponse DR3 pour* $K_i = 4,5$ *permettant de respecter le critère de dépassement. Conclure quant au respect des exigences du cahier des charges.*

Q48. *Les diagrammes de Bode en gain et en phase de* $G_{BO}(p)$ *sont donnés sur la figure R4 du document réponse DR4 pour* $K_i = 1$. *Déterminer la marge de phase pour* $K_i = 4,5$. *Conclure.*

Afin d'améliorer le comportement du système, on implante un correcteur Proportionnel Intégral ayant pour fonction de transfert $C(p) = K_i . \frac{1 + T_i . p}{T_i . p}$ avec $K_i = 4$ et $T_i = 0,235\ (s)$.

Q49. *Tracer, sur la figure R5 du document réponse DR5, les diagrammes de Bode (asymptotes et courbes réelles) du correcteur Proportionnel Intégral.*

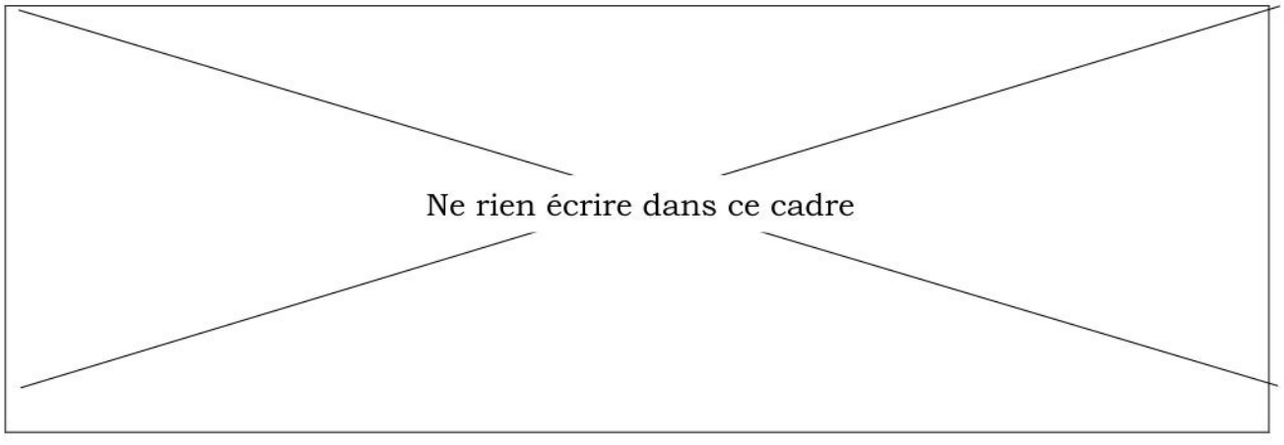
On donne sur le document réponse DR6.

- Les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée. Figure R6.
- La réponse temporelle du système à une entrée échelon $v_c(t) = V_{co} . u(t)$ avec $V_{co} = 0,5\ (m/s)$. Figure R7.

Q50. *Les quatre critères du cahier des charges sont-ils respectés ? Faire apparaître sur le document réponse DR6 les grandeurs mesurées.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 23/31

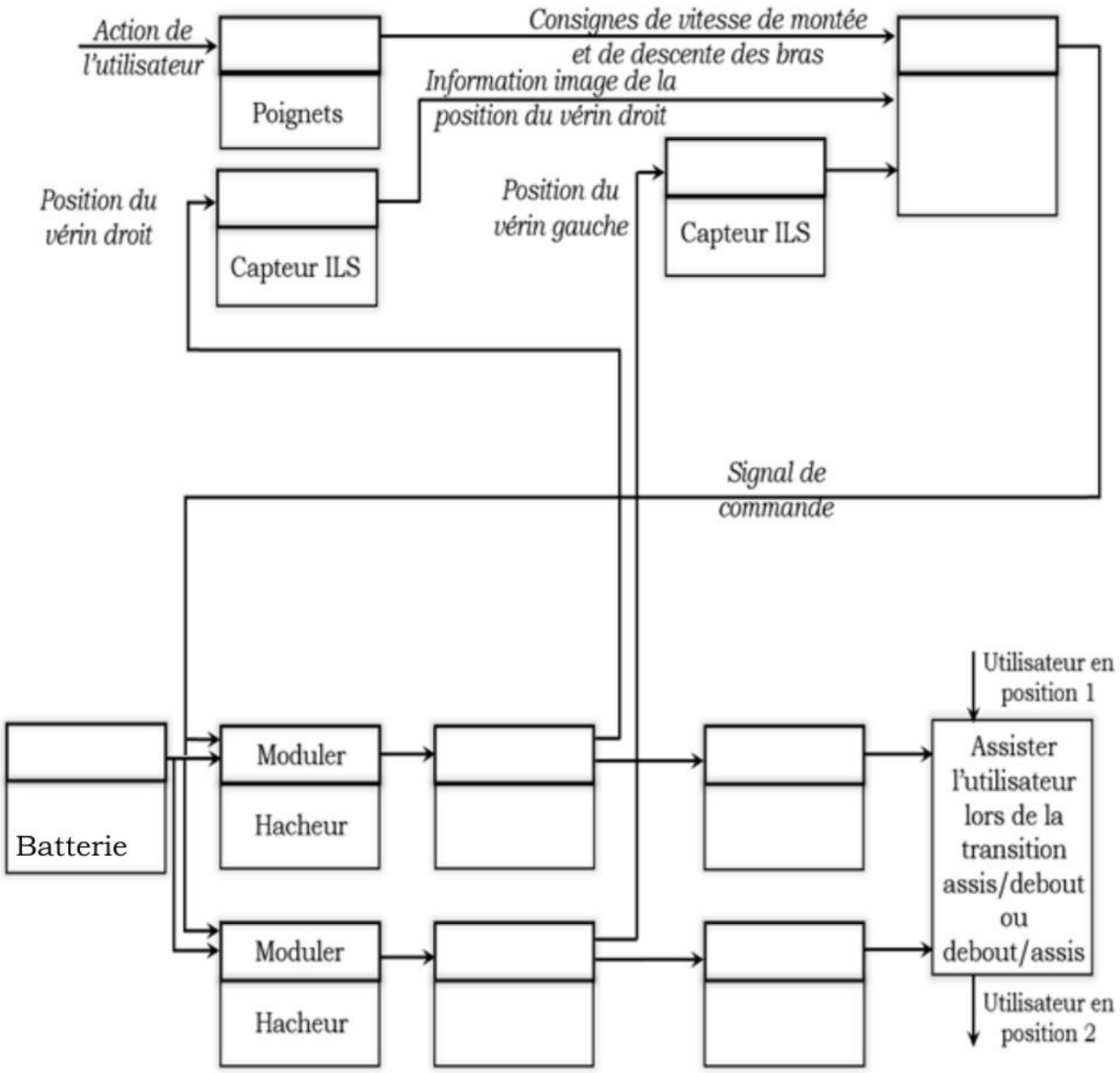


Document réponse DR1

Q23. *Figure R1 : Chaîne fonctionnelle de l'ensemble des constituants assurant l'assistance à la verticalisation.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 24/31

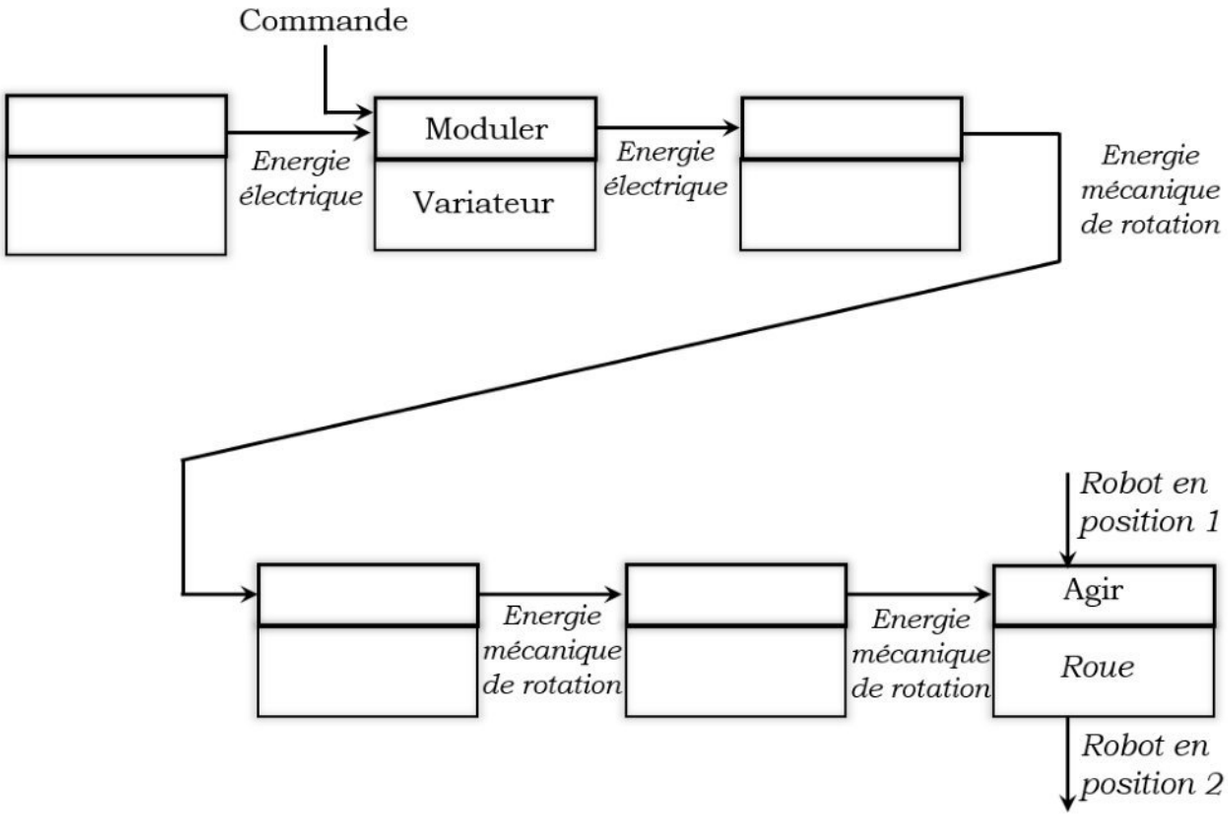


Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR2

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 25/31

Q37. *Figure R2 : Chaîne d'énergie de l'ensemble des constituants assurant l'assistance à la marche.*

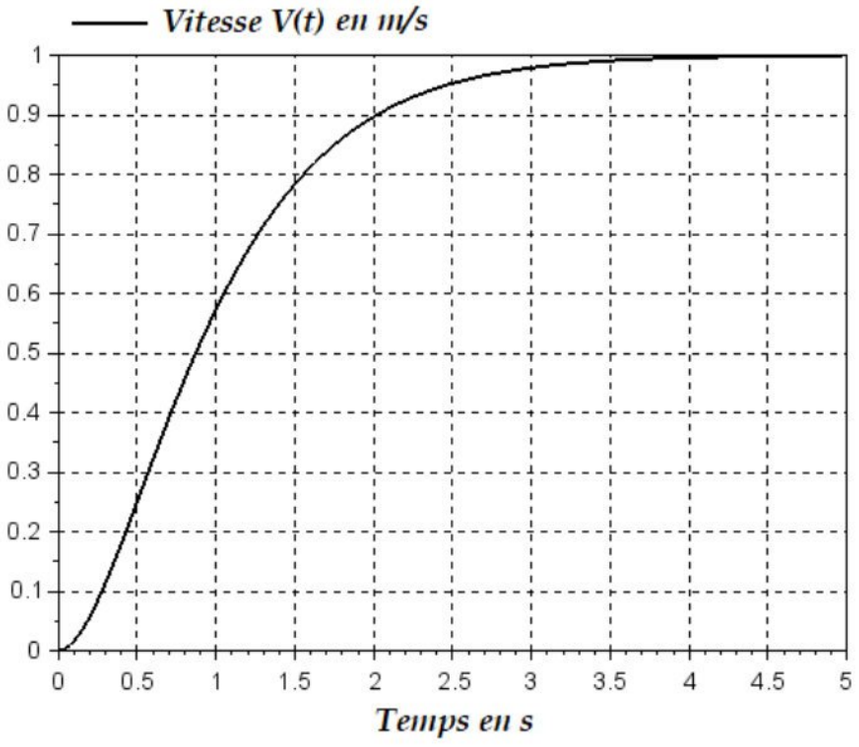


Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR3

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 26/31

Q47. *Figure R3 : La réponse à un échelon de vitesse de 1 m/s de l'asservissement pour* $K_i = 4,5$.



Compléter le tableau ci-dessous par « respectée » ou « non respectée »

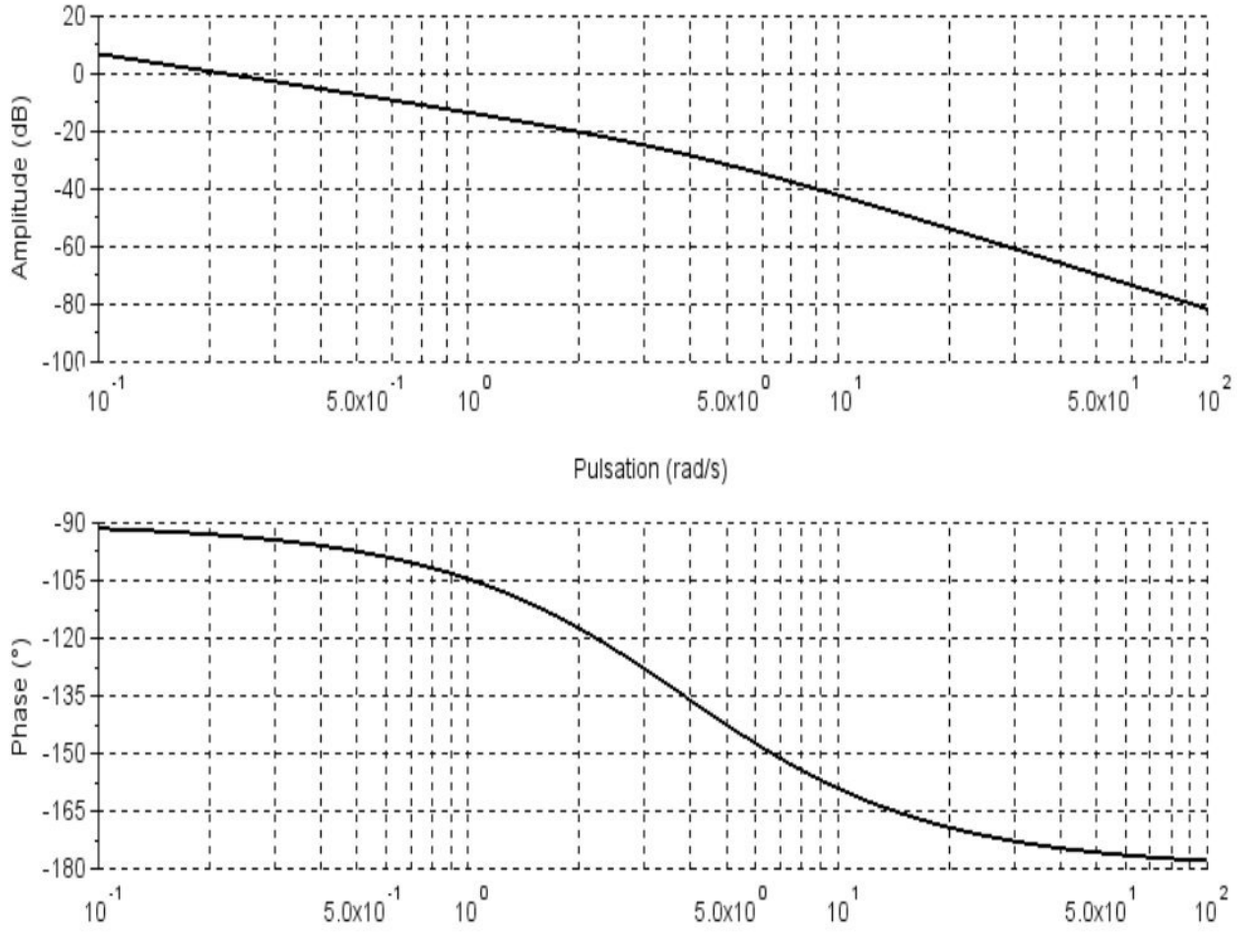
Exigences	Critère	Niveau	CONCLUSION
Amortissement	Dépassement	Aucun	.....
Précision	Erreur statique	Nul	.....
Rapidité	Temps de réponse	1 s maximum	.....

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR4

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 27/31

Q48. *Figure R4 : Diagrammes de Bode en gain et en phase de* $G_{BO}(p)$ *pour* $K_i = 1$.



Marge de phase ? .....

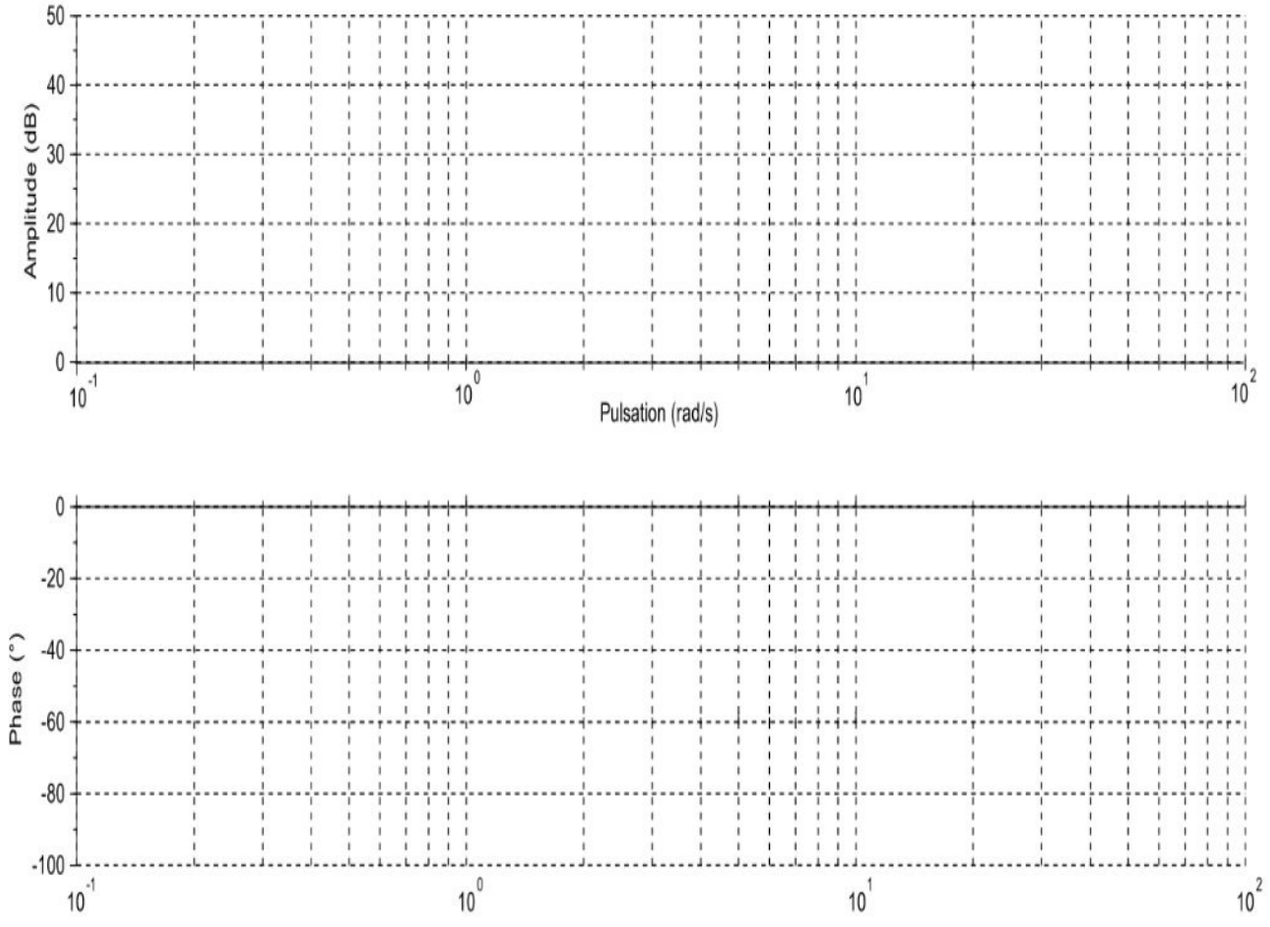
Exigences	Critère	Niveau	CONCLUSION
Stabilité	Marge de phase	45° minimum	.....

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR5

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 28/31

Q49. *Figure R5 : Diagrammes de Bode (asymptotes et courbes réelles) du correcteur Proportionnel Intégral.*



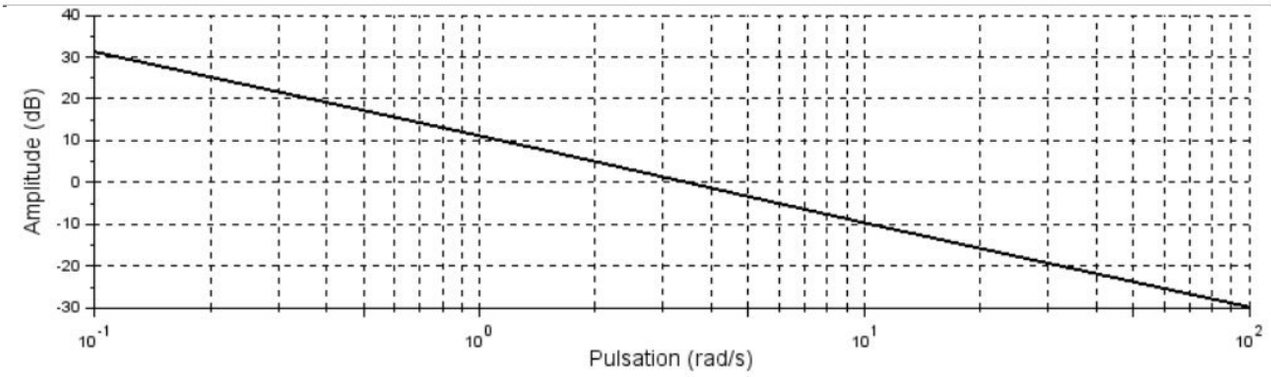
Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR6

Q50. Fig R6 : Diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 29/31



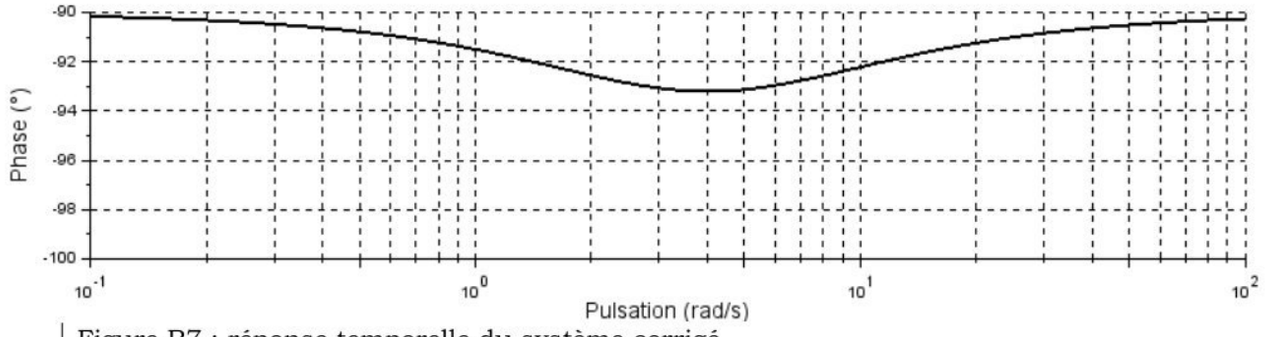
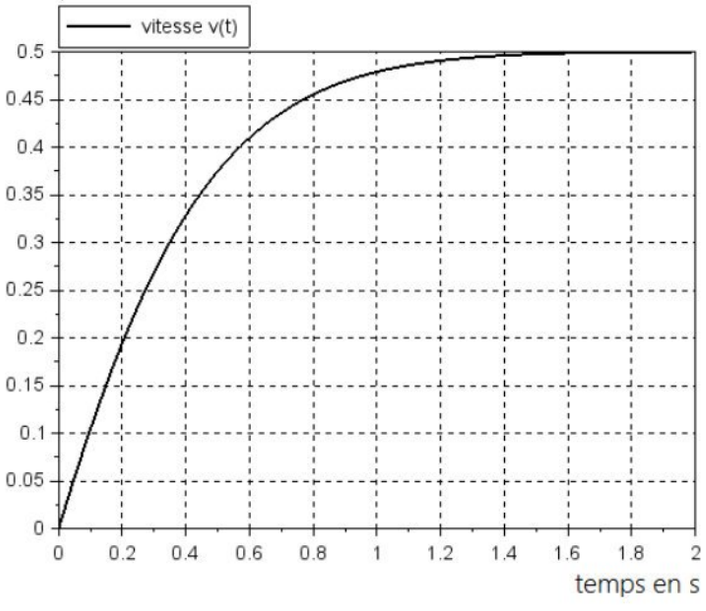


Figure R7 : réponse temporelle du système corrigé



Stabilité

Marge de phase

.....

Amortissement

Dépassement

.....

Précision

Erreur statique

.....

Rapidité

Temps de réponse à5%

.....

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5592 - Wadifa Info - page 30/31

Wadifa Info

www.wadifa-info.com

Le sujet suivant à préparer — **النموذج التالي للتحضير**

نموذج مباراة ولوج سلك التكوين الأساسي - المدرسة الوطنية العليا للإدارة - دورة 26 نونبر 2016 -

Modèle de concours d'accès au cycle de formation initiale – École Nationale Supérieure de l'Administration – 26 novembre

www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/640

Chaîne WhatsApp — **قناة واتساب**

المباريات الجديدة والنتائج كل يوم

Nouveaux concours et résultats chaque jour

wadifa-info.com/wa

Chaîne YouTube — **قناة يوتيوب**

امتحانات تجريبية بالتصحيح، بالدارجة

Examens blancs corrigés, expliqués en darija

youtube.com/@wadifainfo

Envoyer à un ami — **أرسل النموذج لصديق**

شارك هذا النموذج على واتساب مع من يحضّر معك

Partagez ce sujet sur WhatsApp

wa.me