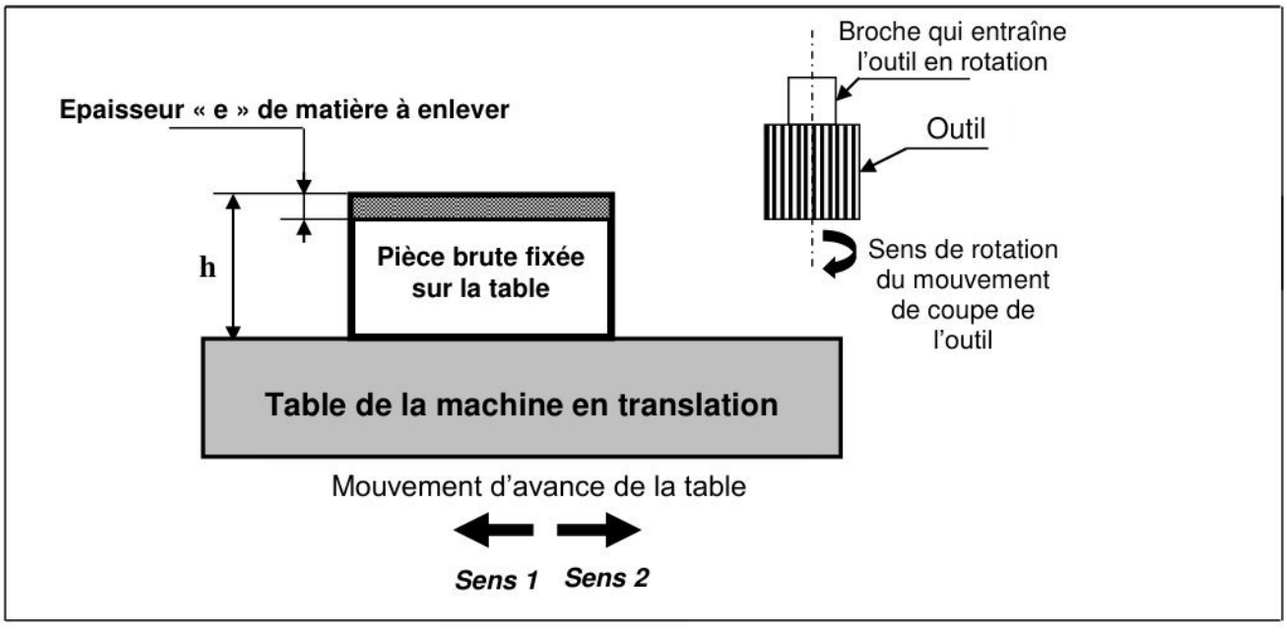
CENTRE D'USINAGE A GRANDE VITESSE (UGV)

Mise en situation :

Dans l'industrie mécanique, la fabrication d'un grand nombre de produits est basée sur l'usinage qui est une opération permettant la modification des formes des pièces par enlèvement de matière. La génération d'une surface par enlèvement de matière est obtenue grâce à un outil muni d'arêtes coupantes. Cette opération est illustrée par la figure suivante :



Après réglage des paramètres d'usinage et pour enlever l'épaisseur « **e** », deux mouvements sont indispensables : la rotation de l'outil autour de son axe (mouvement de coupe) et la translation de la table dans le sens 2 (Mouvement d'avance). A la fin de cette opération, la pièce usinée aura comme hauteur « **h-e** ».

L'exigence, en terme de réduction des coûts de production grâce à une meilleure productivité, est plus élevée. Ceci a donc donné naissance à de nouvelles techniques de production comme l'**UGV.** L'**U**sinage à **G**rande **V**itesse (**UGV**) fait souvent référence à l'usinage avec des vitesses élevées dont les avantages sont :

- L'augmentation de la productivité ;
- L'amélioration de l'état de surface des pièces usinées ;
- L'amélioration de la précision ;
- La diminution des forces de coupe tangentielles lorsque la vitesse de coupe augmente, ce qui rend possible l'usinage des parois minces ;
- La minimisation de la chaleur transmise à la pièce, ce qui conserve sa structure.

Le moyen de production qui permet l'opération UGV, est appelé centre **UGV**. Cette machine a des caractéristiques spécifiques :

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 1/26

- Sa structure est rigide ;
- Sa broche tourne avec des vitesses très élevées (entre 10000 tour/min et 50000 tour/min) ;
- L'ensemble outil et porte-outil est équilibré ;
- Sa partie commande s'adapte aux vitesses élevées.

Conscient de la concurrence et de la compétitivité dans le domaine industriel, Le Maroc a implanté des centres **UGV** dans son environnement scolaire.
En effet, les centres **UGV** sont utilisés dans plusieurs établissements publics de l'enseignement technique (ENSAM de Rabat, lycées incluant les BTS …), ce qui permet de dispenser aux étudiants une formation pratique sur cette nouvelle technique de production.

Dans ce sujet, nous allons étudier le centre d'usinage représenté sur la **Figure 1** du document **Annexe 1**. Nous nous intéresserons aux constituants suivants :

- Le bâti $\mathbf{S_0}$ en béton renforcé de fibres et de matériaux spéciaux ;
- Le chariot $\mathbf{S_1}$ en translation par rapport à $\mathbf{S_0}$ suivant $\vec{x_0}$;
- Le chariot $\mathbf{S_2}$ porte broche en translation par rapport à $\mathbf{S_1}$ suivant $\vec{z_0}$;
- L'ensemble $\mathbf{S_3}$ = {outil + broche}, en rotation par rapport à $\mathbf{S_2}$ suivant $\vec{z_0}$;
- Le changeur d'outils $\mathbf{S_4}$ contenant plusieurs outils ;
- La table $\mathbf{S_5}$ dont l'étude des mouvements est hors du cadre de ce sujet.

Dans cette machine, chaque axe de translation est composé d'un :

- Modulateur d'énergie ;
- Moteur électrique associé à un réducteur de vitesse (Motoréducteur) ;
- Chariot en translation ;
- Système de transformation de mouvement de rotation en translation ;
- Capteur de vitesse et d'un capteur de position.

A- Exercice préliminaire : notée 4 points sur 20

> ***Q1 :*** *Sur le document réponse **DR1**, compléter le schéma relatif à la structure d'un axe de translation de la machine ;*

Le schéma cinématique de la **Figure 3** du document **Annexe 2**, représente une partie du centre d'usinage UGV dont la photo est donnée sur la **Figure 1** du document **Annexe 1.**

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 2/26

Repérage et paramétrage :

- Le repère associé au bâti **S_0** est $R_0(O_0, \vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$ supposé Galiléen avec $\vec{z_0}$ vecteur vertical ascendant. L'accélération de la pesanteur est $\vec{g} = -g\,\vec{z_0}$;
- Le repère $R_1(A, \vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$ est lié au solide **S_1**, de masse m_1, avec : $\overrightarrow{O_0A} = x(t)\,\vec{x_0}$;
- Le repère $R_2(B, \vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$ lié à **S_2**, de masse m_2, avec : $\overrightarrow{AB} = z(t)\,\vec{z_0}$;
- Le repère $R_3(C, \vec{x_3}, \vec{y_3}, \vec{z_0})$ est associé à **S_3**, de masse m_3, avec : $\overrightarrow{CB} = L\,\vec{z_0}$ et $(\vec{x_0}, \vec{x_3}) = (\vec{y_0}, \vec{y_3}) = \theta(t)$.

$$x(t), z(t) \text{ et } \theta(t) : \text{variables} \ ; \ L : \text{constante}.$$

Trois actionneurs **A_{01}, A_{12} et A_{23}** de masses négligeables, sont placés respectivement au niveau des liaisons ℓ_{01} (entre **S_0** et **S_1**), ℓ_{12} (entre **S_1** et **S_2**) et ℓ_{23} (entre **S_2** et **S_3**). Les liaisons sont supposées parfaites.

On adopte les notations suivantes :

✓ *Torseur de l'action mécanique transmissible par la liaison* ℓ_{ij} :

$$\left\{S_i \overset{\ell ij}{\rightarrow} S_j\right\} = \underset{Point}{\begin{Bmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{Bmatrix}_{Base}} \ ;$$

✓ *Torseur cinématique du solide* S_i *par rapport à* S_j, *réduit au point* A :

$$\left\{\mathcal{V}_{(Si/Sj)}\right\} = \underset{A}{\begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{(Si/Sj)} \\ \vec{V}_{(A,\ Si/Sj)} \end{Bmatrix}}.$$

Q2 : *Sur le document réponse* ***DR1****, donner la forme du torseur de l'action mécanique transmissible par chaque liaison ;*

Q3 : *Déterminer, par dérivation, le vecteur vitesse* $\vec{V}_{(A,\ S1/S0)}$, *puis donner le torseur cinématique au point A de* **S_1** *dans son mouvement par rapport à* **S_0** *;*

Q4 : *Déterminer, par composition des mouvements, le vecteur vitesse* $\vec{V}_{(B,\ S2/S0)}$, *puis donner le torseur cinématique au point B de* **S_2** *dans son mouvement par rapport à* **S_0** *;*

Q5 : *Déterminer le torseur cinématique au point C de* **S_3** *dans son mouvement par rapport à* **S_0** *;*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 3/26

Modélisation de l'asservissement en position d'un axe de la machine UGV :

Le principe retenu pour l'asservissement en position du chariot $\mathbf{S_1}$ par rapport à $\mathbf{S_0}$ de la machine UGV est décrit par le schéma fonctionnel de la **Figure 6** du document **Annexe 4**.

Dans cette partie nous nous intéressons à la modélisation du motoréducteur seul.

Le comportement du motoréducteur peut être modélisé par les équations d'un moteur à courant continu, qui sont :

- ✓ Equation électrique : $u(t) - e(t) = R.i(t)$ (1) ;
- ✓ Equation mécanique : $C_m(t) - C_r(t) = J_{éq}.\frac{d\,\omega(t)}{dt}$ (2) ;
- ✓ Equations électromécaniques : $e(t) = k_e.\omega(t)$ (3) et $C_m(t) = k_m.i(t)$ (4) .

Avec :

- R : résistance de l'induit (en Ohm) ;
- k_m : constante de couple (en N.m .A^{-1}) ;
- k_e : constante de force contre électromotrice (en V. s/rad) ($\boldsymbol{k_e = k_m = k}$) ;
- u(t) : tension d'alimentation de l'induit du moteur (en V) ;
- $J_{éq}$: inertie équivalente du système, ramenée sur l'arbre moteur (en Kg.m^2) ;
- i(t) : courant dans l'induit du moteur (en A) ;
- $e(t)$: force contre électromotrice (en V) ;
- $C_m(t)$: couple moteur (en N.m) ;
- $C_r(t)$: couple résistant (en N.m) ;
- $\omega(t)$: vitesse angulaire du motoréducteur (en rad/s).

On adopte la notation suivante :

✓ $U(p), I(p), E(p), C_m(p),\ C_r(p)\ et\ \Omega(p)$: *transformées de Laplace respectives des grandeurs physiques* $u(t),\ i(t),\ e(t),\ C_m(t),\ C_r(t)\ et\ \omega(t)$.

> ***Q6 :*** *Déterminer, en considérant des conditions initiales nulles, les transformées de Laplace des quatre équations (1) à (4) du motoréducteur.*

Le schéma bloc du motoréducteur est représenté sur la **Figure 7** ci-dessous :

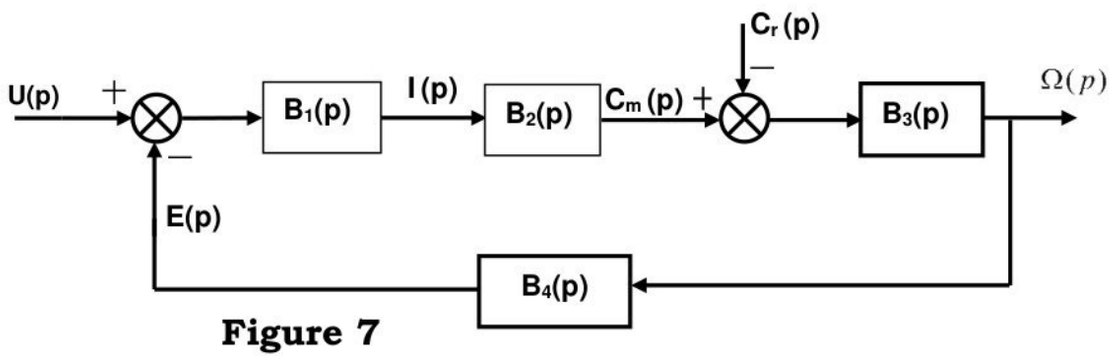


Figure 7

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 4/26

Q7 : *Donner les expressions des fonctions de transfert $B_{1\,(p)}$, $B_{2\,(p)}$, $B_{3\,(p)}$ et $B_{4\,(p)}$;*

Q8 : *Pour $C_r(p)=0$:*

a *- Montrer que le schéma fonctionnel de la **Figure 7** peut être mis sous la forme canonique suivante, puis exprimer $H_{(p)}$ en fonction de $B_{1\,(p)}$, $B_{2\,(p)}$ et $B_{3\,(p)}$;*

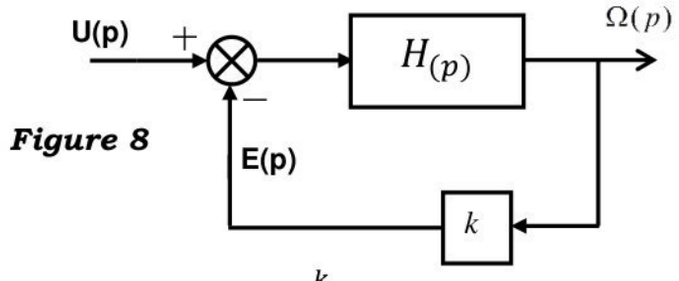


Figure 8

b *– Montrer que :* $H_{(p)} = \frac{k}{(R\,.\,J_{èq})\,.\,p}$.

Q9 : *En se référant au schéma bloc de la **Figure 8** :*

a *- Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée :* $H_{1\,(p)} = \frac{\Omega_{(p)}}{U_{(p)}}$;

b *- Donner les paramètres canoniques de H_1 (p) : gain statique K_M et constante de temps T_M .*

Pour valider le modèle de connaissance trouvé précédemment, on a alimenté le motoréducteur par une tension échelon u(t) = 24V et on a mesuré sa réponse $\omega(t)$.
La courbe de cette réponse est représentée sur le document réponse **DR2.**

Q10 : *Sur le document réponse **DR2** :*

a *- Montrer que la fonction de transfert $H_1(p)$ du motoréducteur peut s'écrire sous la forme* $\boldsymbol{H_1(p) = \frac{K_M}{1+T_M\,.\,p}}$;

b *- Evaluer K_M et T_M.*

Fin de l'exercice préliminaire

B- Etude de l'exigence « Enlèvement de l'outil » :

Cette exigence est assurée par *un système automatisé de **changement d'outils***, constitué de quatre éléments :

- Moteur qui entraîne la broche ;
- Codeur incrémental ;
- Changeur d'outils ;
- Système de serrage et desserrage.

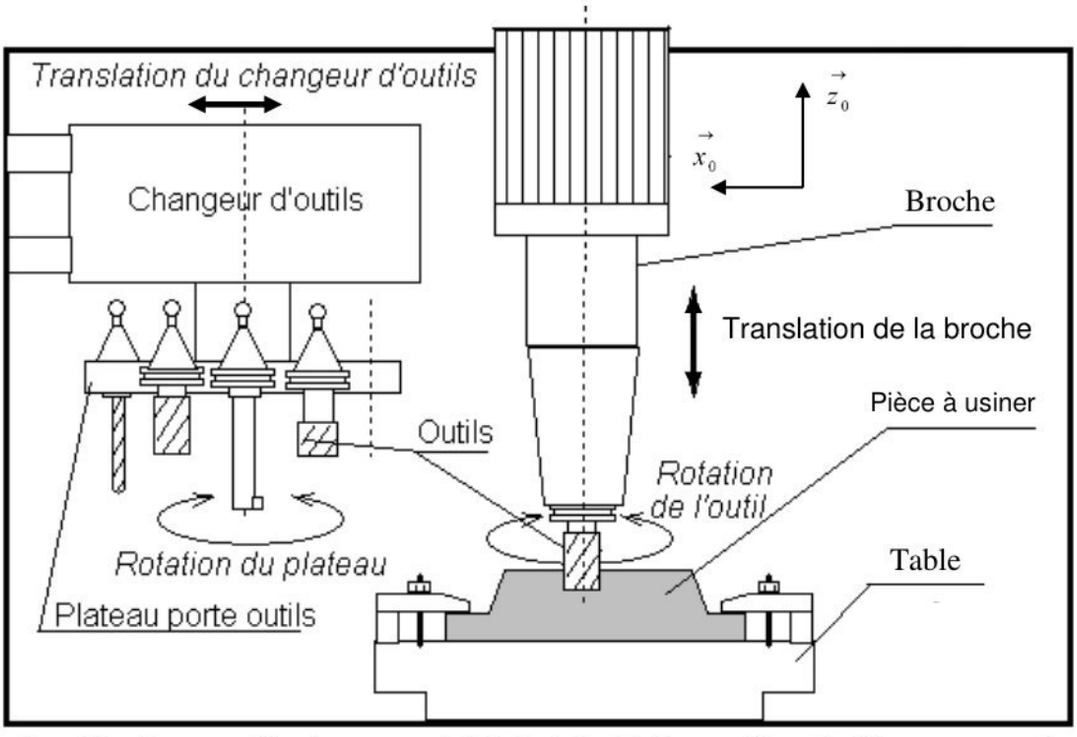
Le diagramme partiel des exigences est donné sur la **Figure 2** du document **Annexe 2**.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 5/26

Le constituant « changeur d'outils » permet d'intervertir les outils, c'est-à-dire enlever un outil (1) et le remplacer par un autre outil sur la broche.

Ce système peut faire une translation suivant $\vec{x_0}$ et son plateau porte outils peut tourner autour de $\vec{z_0}$ (Voir la **Figure** ci-dessous).

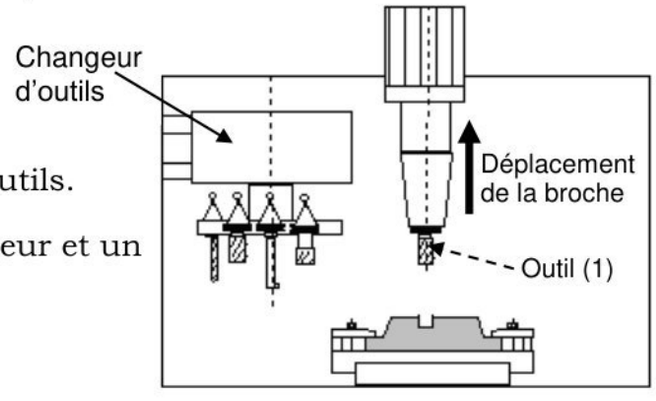


On souhaite développer l'exigence « " **Id 1.4** **":** Enlever l'outil (1) », assurée en trois phases. Il est à **noter** que le changement d'outil ne peut être réalisé que lorsque le mouvement de rotation de la broche est complètement arrêté.

Phase 1 :

La broche se déplace suivant $\vec{z_0}$ afin que l'outil (1) soit aligné avec le plateau porte outils.

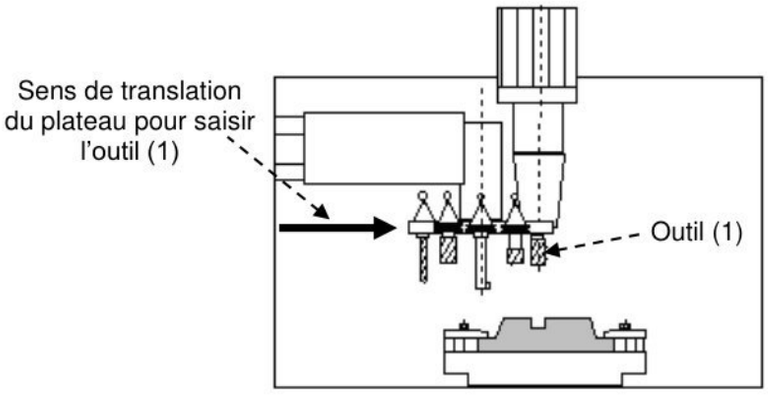
Ce déplacement est commandé par un moteur et un système de transformation de mouvement.



- ***Phase 2 :***

Le plateau porte outils se déplace et vient pincer l'outil (1) qui se trouve dans la broche.

Ce déplacement est obtenu par un vérin V_1 (Non représenté).



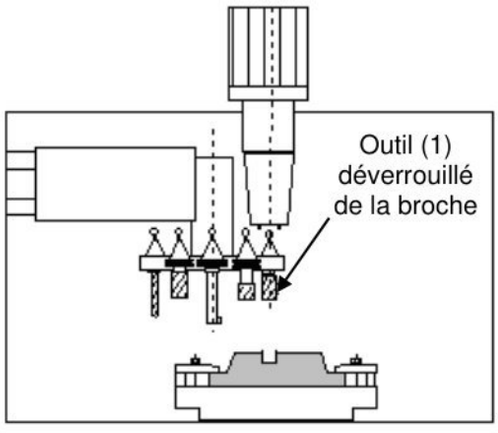
wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 6/26

- ***Phase 3 :***

Cette phase est assurée par un système de verrouillage et déverrouillage de l'outil.

L'action d'un vérin V_2 (Non représenté) sur un levier provoque le déplacement vertical d'un ensemble de pièces, entraînant l'empilage d'un ensemble de rondelles élastiques. L'outil (1) est donc déverrouillé de la broche. Le dégagement vertical de la broche libère complètement l'outil (1) et le changeur peut reculer. L'opération inverse, associée à une rotation du plateau porte outils, permet de charger un nouvel outil dans la broche.



En se référant au diagramme partiel d'exigences de la **Figure 2** du document **Annexe 2**, on demande :

> ***Q11 :*** *Quelle est la solution technologique retenue pour déplacer la broche afin de libérer l'outil ?*

On s'intéresse à une partie du circuit hydraulique qui commande la translation du plateau porte outils (Voir document réponse **DR2 – Q13**).

> ***Q12 :*** *Donner le nom complet du pré-actionneur de ce circuit ;*

> ***Q13 :*** *Sur le document réponse **DR2**, câbler le circuit hydraulique pour obtenir la sortie de la tige du vérin.*

C- Etude du mécanisme de verrouillage et de déverrouillage de l'outil :

Le mécanisme représenté par le schéma cinématique de la **Figure 9** (Page **8**), est animé par le vérin **V2** (Corps **9** et tige **10**).

La translation de **10** par rapport à **9**, permet par l'intermédiaire du levier **11**, de déplacer verticalement l'ensemble **12**. La translation de **12** par rapport au bâti **0**, permet d'agir sur un ensemble de rondelles élastiques (non représentées sur la figure), ce qui provoque le déverrouillage de l'outil monté sur la broche. La liaison entre **11** et **12** est une sphère-plan de normale $(I, \vec{z_0})$.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 7/26

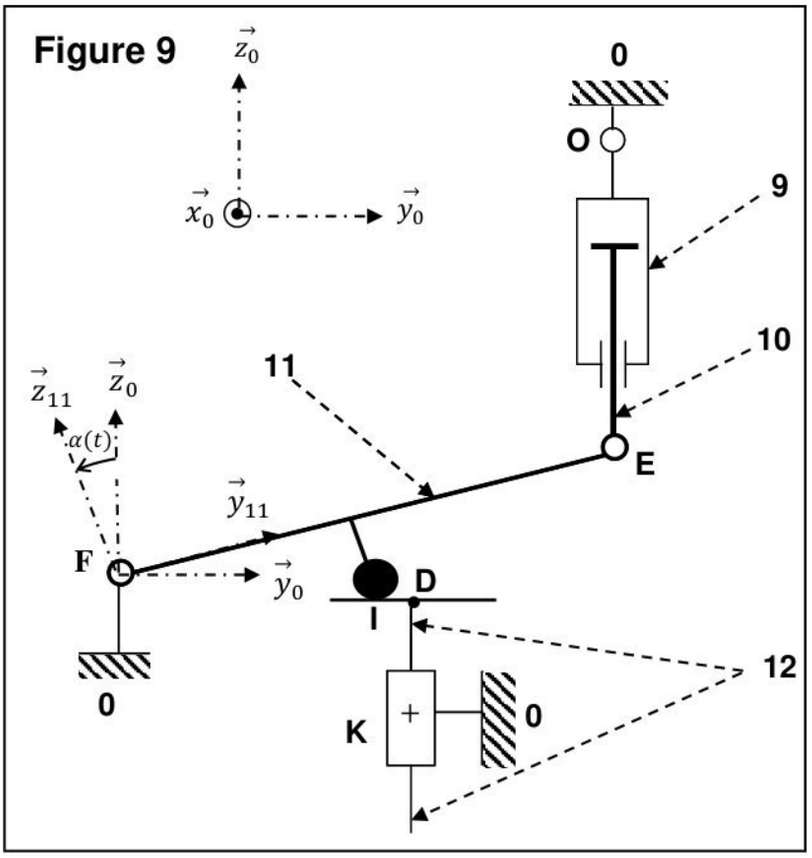
Repérage et paramétrage :

- Le repère associé au bâti **0** est $R_0(F,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$ supposé Galiléen avec $\vec{z_0}$ vecteur vertical ascendant. L'accélération de la pesanteur est : $\vec{g} = -g\,\vec{z_0}$;

- Le repère $R_{11}(F,\vec{x_0},\vec{y_{11}},\vec{z_{11}})$ est lié au solide **11** avec :
$(\vec{y_0},\vec{y_{11}}) = (\vec{z_0},\vec{z_{11}}) = \alpha(t)$;
On donne : $\overrightarrow{FD} = a_{11}\,\vec{y_0} + \lambda(t)\,\vec{z_0}$;
$\overrightarrow{DI} = \delta(t)\,\overrightarrow{y_0}$ et $\overrightarrow{FK} = e\,\vec{y_0} - L\,\vec{z_0}$.

a_{11}, L et e : constantes.

Figure 9



C.1 Etude des chaînes des solides :

Hypothèse : Toutes les liaisons sont parfaites.

Q14 : *Tracer le graphe des liaisons (Schéma de structure) du mécanisme ;*

Q15 : *Justifier que sa mobilité est $m_c = 1$.*

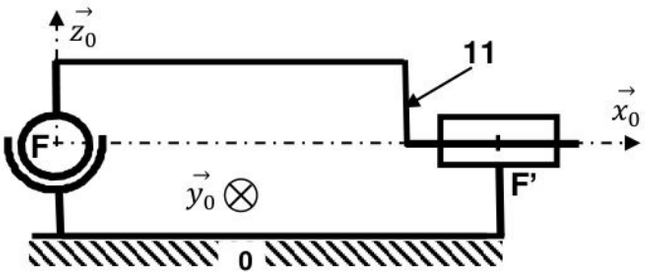
Pour rendre le système meilleur du point de vue simplicité du montage, on envisage de remplacer les liaisons en O et E par des rotules.

Q16 :

a - *Sur le document réponse **DR3**, compléter l'extrait du schéma cinématique;*

b - *Réévaluer la mobilité cinématique m_c du mécanisme.*

La liaison en F entre **11** et **0** est réalisée par association de deux liaisons en parallèles comme le montre la **Figure** ci-contre :



Q17 : *Donner la liaison équivalente aux deux liaisons entre **0** et **11**.*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 8/26

C.2 ***Etude cinématique :***

Q18 : *Exprimer le vecteur vitesse de rotation* $\vec{\Omega}_{(11/12)}$ *;*

Q19 :

a *- Déterminer le vecteur vitesse* $\vec{V}_{(I,11/0)}$ *;*

b *- Déterminer le vecteur vitesse* $\vec{V}_{(I,12/0)}$ *;*

c *- Déduire le vecteur vitesse de glissement* $\vec{V}_{(I,12/11)}$ *;*

Q20 : *Peut-on avoir un roulement sans glissement au point I ? Expliquer.*

Q21 : *Sur le document réponse* ***DR3****, proposer le schéma d'une solution permettant de réduire le glissement dans le contact 11-12 au point I.*

C-3 ***Etude statique :***

On considère le système en équilibre dans la position de la **Figure 9** de la page **8** caractérisée par : $\overrightarrow{OE} = -L_e\,\vec{z}_0,\ \delta(t) = \delta_e\ ,\ \lambda(t) = \lambda_e\ et\ \alpha(t) = \alpha_e$.

On donne : $\overrightarrow{FE} = L_{11}\,\vec{y}_{11}$.

Dans cette partie on désire évaluer l'action exercée par le levier **11** sur la tige **10**.

Hypothèses :

- Les liaisons sont parfaites ;
- Les poids des pièces sont négligés devant les autres actions mécaniques ;
- Le problème est supposé plan. L'étude sera alors menée dans le plan $(F,\ \vec{y_0}, \vec{z_0})$, et les actions mécaniques en F, E et O sont des glisseurs en ces points ;
- L'action de **12** sur **11** est modélisable par un glisseur au point I, de résultante : $\vec{R}_{(12\to11)} = R\,\vec{z}_0$ (R : effort connu).

Q22 : *En isolant {9+10}, déduire la droite d'action de* $\vec{R}_{(11\to10)}$ *;*

Q23 : *En isolant* ***11****, et par application du théorème du moment statique au point F, déterminer* $\left|\vec{R}_{(10\to11)}\right|$*, norme de* $\vec{R}_{(10\to11)}$ *, en fonction de l'effort R et des autres données ;*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 9/26

D- Etude du centre UGV :

Le schéma cinématique de la F**igure 3** du document **Annexe 2**, représente une partie du centre d'usinage UGV dont la photo est donnée sur la **Figure 1** du document **Annexe 1**.
Le repérage et le paramétrage et de ce système sont donnés sur la page **3** de l'énoncé.

D.1 Etude cinétique et dynamique :

Le solide $\mathbf{S_3}$, supposé homogène, est constitué de trois parties, comme le montre la **Figure 4** du document **Annexe 3** :

- $\mathbf{P_1}$: Cylindre creux de rayon extérieur R, de rayon intérieur r et de hauteur H. La masse de cette partie est m_{P1} , et son centre d'inertie est G_{P1};
- $\mathbf{P_2}$: Cylindre plein de rayon R_{P2}, de hauteur h, de masse m_{P2} et de centre d'inertie G_{P2} ;
- $\mathbf{P_3}$: Disque de centre d'inertie C et de rayon 6r. Il est percé de deux trous T_1 et T_2 de rayon r. La masse de cette partie est m_{P3}.

$(C, \overrightarrow{z_0})$ est un axe de révolution commun aux parties $\mathbf{P_1}$ et $\mathbf{P_2}$.

On adopte la notation suivante :

✓ *Matrice d'inertie du solide S_i au point M dans la base β :* $\bar{\bar{I}}_{(M\ ,\ Si)} = \begin{bmatrix} A_i & -F_i & -E_i \\ -F_i & B_i & -D_i \\ -E_i & -D_i & C_i \end{bmatrix}_{\beta}$.

Q24 : *Déterminer la position du centre d'inertie G_3 du solide $\mathbf{S_3}$ dans le repère $R_3(C, \vec{x_3}, \vec{y_3}, \vec{z_0})$, en fonction des dimensions de $\mathbf{P_1}$, $\mathbf{P_2}$ et $\mathbf{P_3}$ et de leurs masses ;*

Q25 :

a *- Donner la forme simplifiée de la matrice d'inertie du solide $\mathbf{S_3}$ au point C et dans la base $(\vec{x_3}, \vec{y_3}, \vec{z_0})$. (On ne demande pas d'expliciter les termes non nuls de cette matrice) ;*

b *- Cette matrice conservera-t-elle sa forme dans la base de R_0 ? Expliquer ;*

Q26 : *Est-ce que $\mathbf{S_3}$ est équilibré dynamiquement autour de son axe de rotation ? Justifier.*

La matrice d'inertie de la partie $\mathbf{P_1}$ en son centre d'inertie G_{P1} est :

$$\bar{\bar{I}}_{(GP1,P1)} = m_{P1} \begin{pmatrix} \frac{R^2+r^2}{4} + \frac{H^2}{12} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^2+r^2}{4} + \frac{H^2}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^2+r^2}{2} \end{pmatrix}_{R3}$$

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 10/26

> ***Q27 :*** *En négligeant l'effet des trous T_1 et T_2 , déterminer le moment d'inertie C_3 du solide* ***S_3*** *par rapport à son axe $(C, \vec{z_0})$.*

Pour les questions suivantes, on considère que la matrice d'inertie de **S_3** au point C est : $\bar{\bar{I}}_{(C,S_3)} = \begin{pmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{pmatrix}_{(\vec{x}_3,\ \vec{y}_3,\ \vec{z}_0)}$. Sa masse est m_3 et $\overrightarrow{CG_3} = L_3\,\overrightarrow{z_0}$.

On adopte les notations suivantes :

- ✓ *Torseur cinétique, au point M, dans le mouvement du solide S_i par rapport au repère R :*

$$\{\mathcal{C}_{(Si/R)}\} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_c}_{(Si/R)} \\ \vec{\sigma}_{(M,\ Si/R)} \end{Bmatrix}_M ;$$

- ✓ *Torseur dynamique, au point M, dans le mouvement du solide S_i par rapport au repère R :*

$$\{\mathcal{D}_{(Si/R)}\} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_d}_{(Si/R)} \\ \vec{\delta}_{(M,\ Si/R)} \end{Bmatrix}_M .$$

> ***Q28 :*** *Déterminer le torseur cinétique au point C de* ***S_3*** *dans son mouvement par rapport à* ***S_0*** *;*
>
> ***Q29 :*** *Déterminer la projection sur $\vec{z_0}$, du moment dynamique au point C de* ***S_3*** *dans son mouvement par rapport à* ***S_0*** *: $\vec{\delta}_{(C,\ S3/S0)}.\vec{z_0}$.*

L'actionneur A_{01} (respectivement A_{12}) exerce sur le solide **S_1** (respectivement **S_2**) une action mécanique représentée par un glisseur de résultante $F_{01}\,\overrightarrow{x_0}$ (respectivement $F_{12}\,\overrightarrow{z_0}$), au point A (respectivement B).

L'actionneur A_{23} exerce sur **S_3** un couple de moment $C_{23}\,\vec{z_0}$.

Les liaisons ℓ_{01} et ℓ_{23} sont toujours supposées parfaites, tandis que la liaison ℓ_{12} est réalisée avec frottement visqueux de coefficient f.

> ***Q30 :*** *En s'appuyant sur un schéma d'analyse du système (Graphe des actions mécaniques), déterminer les expressions du couple C_{23} et de l'effort F_{12} en fonction des données.*

D.2 Etude énergétique :

La **Figure 5** du document **Annexe 3**, montre le schéma cinématique du mécanisme qui permet de générer la translation de **S** par rapport à **S_0** suivant $\vec{x_0}$.
Ce mouvement est obtenu grâce à un actionneur rotatif (moteur) A_{01} associé à un réducteur de vitesse de rotation, et un système vis **S_6** -écrou **S**.

Dans cette partie, **S** représente la classe d'équivalence constituée du chariot **S_1** et des pièces embarquées par **S_1**.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 11/26

Hypothèses et données :

- J : Moment d'inertie de $\mathbf{S_6}$ par rapport à son axe ;
- J_R : Moment d'inertie équivalent du rotor et du réducteur ramené à l'axe du rotor ;
- q : Pas réduit (en m/rad) de la liaison hélicoïdale (à gauche) d'axe (A, $\vec{x_0}$), entre **S** et la vis $\mathbf{S_6}$;
- M : Masse de **S** (masse embarquée) ;
- L'action de A_{01} est : $\{A_{01} \to rotor\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{0} \\ C_m \vec{x_0} \end{matrix} \right\}$;
- f_s : Cœfficient de frottement sec dans la liaison glissière entre $\mathbf{S_0}$ et **S** ;
- Le torseur de l'action mécanique transmissible par la liaison hélicoïdale supposée parfaite, a la forme simplifiée suivante : $\{S_6 \to S\} = \left\{ \begin{matrix} X_{61}.\vec{x_0} \\ L_{61}.\vec{x_0} \end{matrix} \right\}_A$ (Cette forme se justifie par l'utilisation d'un écrou flottant) ;
- La liaison pivot entre $\mathbf{S_0}$ et $\mathbf{S_6}$ est supposée parfaite ;
- La vitesse de rotation du rotor par rapport au bâti est : $\vec{\Omega}_{(rotor/S_0)} = \omega_m \vec{x_0}$;
- La vitesse de translation de **S** par rapport à $\mathbf{S_0}$ est $\dot{x}\,\vec{x_0}$ ($On\ prend : \dot{x} > 0$) ;
- Le rapport de réduction du réducteur est k, et son rendement est η (k et η sont < 1) ;
- Tous les solides en rotation sont équilibrés dynamiquement.

> ***Q31 :*** *Exprimer la relation entre X_{61} et L_{61} ;*
> ***Q32 :*** *Déterminer l'énergie cinétique $T_{(E/S0)}$ du système* **E = {$\mathbf{S_6}$, rotor, réducteur, S}**, *dans son mouvement par rapport à* $\mathbf{S_0}$. *En déduire le moment d'inertie équivalent J_E du système* ***E****, ramené sur le rotor du moteur.*

On pose : $\vec{R}_{(S_0 \to S)} = X_{01}\vec{x_0} + Y_{01}\vec{y_0} + Z_{01}\vec{z_0}$, la résultante de l'action mécanique de $\mathbf{S_0}$ sur **S**.

> ***Q33 :***
> ***a*** *- En appliquant les lois de Coulomb (dans le cas du glissement), donner la relation entre X_{01}, Y_{01} , Z_{01} et f_s ;*
> ***b*** *- Par le théorème de la résultante dynamique appliqué à* **S**, *déterminer X_{01} en fonction de f_s, M et g ;*
> ***Q34 :***
> ***a*** *- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système* ***E*** *par rapport au repère R_0 , déterminer le couple moteur C_m en fonction de ω_m, J_E , X_{01} , η , q et k ;*
> ***b*** *- Déduire l'expression du couple C_m lors du régime établi (permanent) du moteur en fonction de q, k, M, g , η et f_s .*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 12/26

E- Etude de l'asservissement en position des axes de l'UGV :

Dans cette partie nous allons étudier l'asservissement en position du chariot $\mathbf{S_1}$ par rapport à $\mathbf{S_0}$ de la machine UGV. Le principe retenu pour cet asservissement est décrit par le schéma fonctionnel de la **Figure 6** du document **Annexe 4**.

En l'absence de la perturbation, un travail de modélisation du système et de simplification du schéma bloc (Ce travail est hors du cadre de ce sujet) a permis d'obtenir le schéma bloc à retour unitaire suivant **(Figure 10)**:

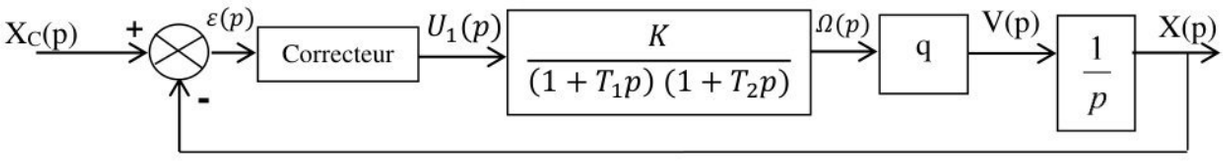


Figure 10

La fonction de transfert du correcteur est C(p).

L'étude proposée consiste à justifier la nécessité d'une correction de l'asservissement, et par conséquent déterminer la fonction de transfert du correcteur permettant de satisfaire les exigences souhaitées (voir le diagramme partiel d'exigences de la **Figure 11**) :

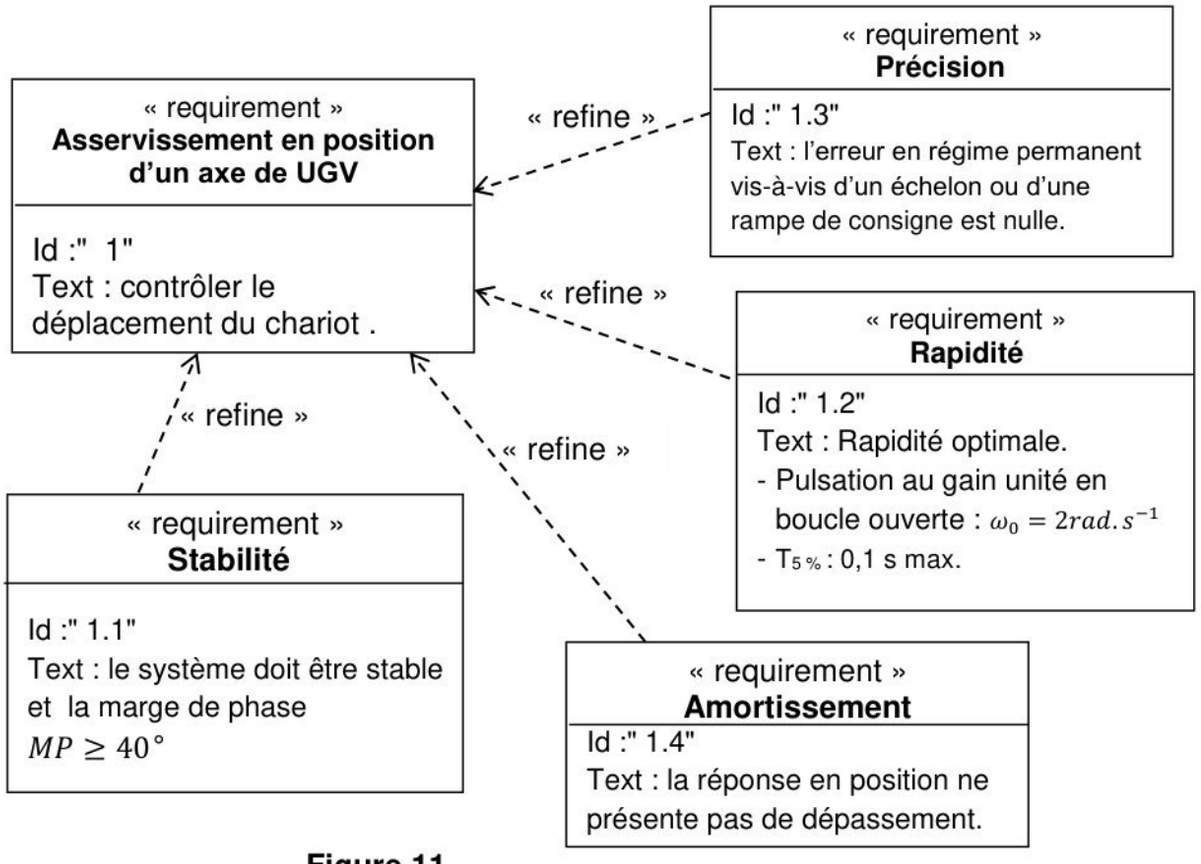


Figure 11

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 13/26

Dans un premier temps, on suppose que l'asservissement est non corrigé ($C_{(p)}$ =1)

Les courbes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte du ***système non corrigé***, sont données sur le document réponse **DR4**.

> ***Q35 :*** *Sur le document réponse* ***DR4***
>
> ***a*** *- A partir des courbes de Bode, déduire l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{BO}(p)$ du système non corrigé ;*
>
> ***b*** *- Déterminer la valeur de ses grandeurs caractéristiques : gain K_{BO}, coefficient d'amortissement z et pulsation propre ω_n ;*
>
> ***c*** *- Justifier que $H_{BO}(p)$ peut être mise sous la forme : $H_{BO}(p) = \frac{K_{BO}}{p.(1+T_1p)\,(1+T_2p)}$;*
>
> ***d*** *- En se référant à la courbe de phase, trouver les valeurs approximatives de T_1 et T_2 ;*
>
> ***e*** *- Déterminer les marges de phase et de gain du système non corrigé.*

Pour la suite on considère que :

$$H_{BO}(p) = \frac{K_{BO}}{p.(1+T_1p)(1+T_2p)}$$ avec : K_{BO} = 0,04 , T_1 =0,08 s et T_2 = 0,8 s.

> ***Q36 :***
>
> ***a*** *- Donner les écarts de position ε_p et de traînage ε_T de ce système (Consigne en échelon et rampe unitaires) ;*
>
> ***b*** *- En se référant à l'exigence de précision, montrer qu'il est nécessaire de prévoir une correction de l'asservissement.*

Dans une première solution, le concepteur opte pour une correction proportionnelle intégrale de la forme : $C(p) = \frac{C_0\,(1+\tau_1\,p)}{\tau_1\,p}$ $(C_0 : gain\ positif\ en\ v.m^{-1})$.

> ***Q37 :*** *Justifier clairement le choix de ce correcteur au regard des exigences du cahier des charges.*

Pour régler ce correcteur, le concepteur a choisi la compensation du pôle dominant non nul de $H_{BO\,(p)}$.

> ***Q38 :*** Déduire la valeur de τ_1.

Le schéma bloc de la **Figure 10** peut se mettre sous la forme suivante (**Figure 12**):

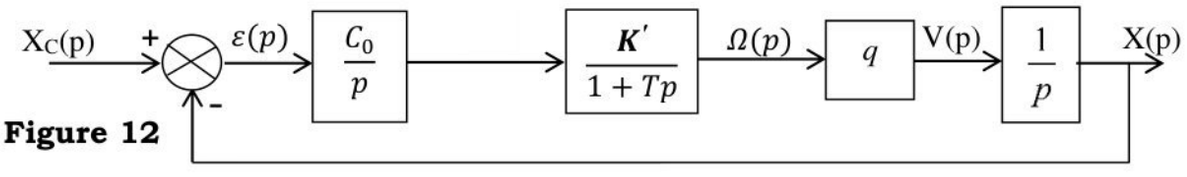


Figure 12

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 14/26

Les calculs antérieurs ont permis d'évaluer :

$$K' = 5\ rad.s^{-1}/v, \quad T = 8.10^{-2}\ s \quad et \quad q = 10^{-2}\ m.rad^{-1}.$$

Pour la solution représentée par le schéma bloc de la **Figure 12** :

> ***Q39 :*** *Montrer qu'aucune valeur de C_0 ne permettra de satisfaire l'exigence de stabilité.*

A l'issue de cette étude introductive, il parait clairement que la correction proportionnelle intégrale n'est pas capable seule de satisfaire les exigences du cahier des charges en terme de stabilité.

Le concepteur propose de l'associer à une correction à avance de phase dont la fonction de transfert est : $C_{AP}(p) = \frac{k_A\,(1+\tau\,p)}{1+a\,\tau\,p}$ *avec* $0 < a < 1$.

Le schéma bloc de la **Figure 12** peut se mettre sous la forme suivante :

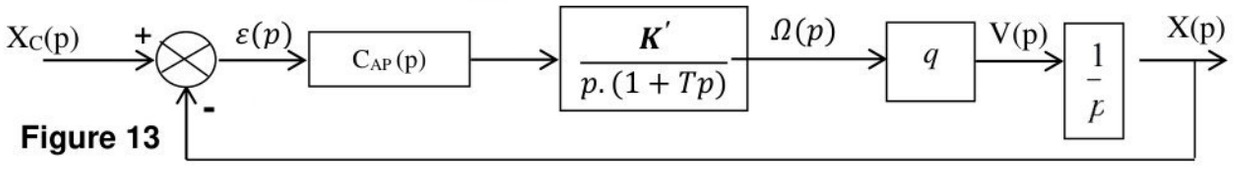
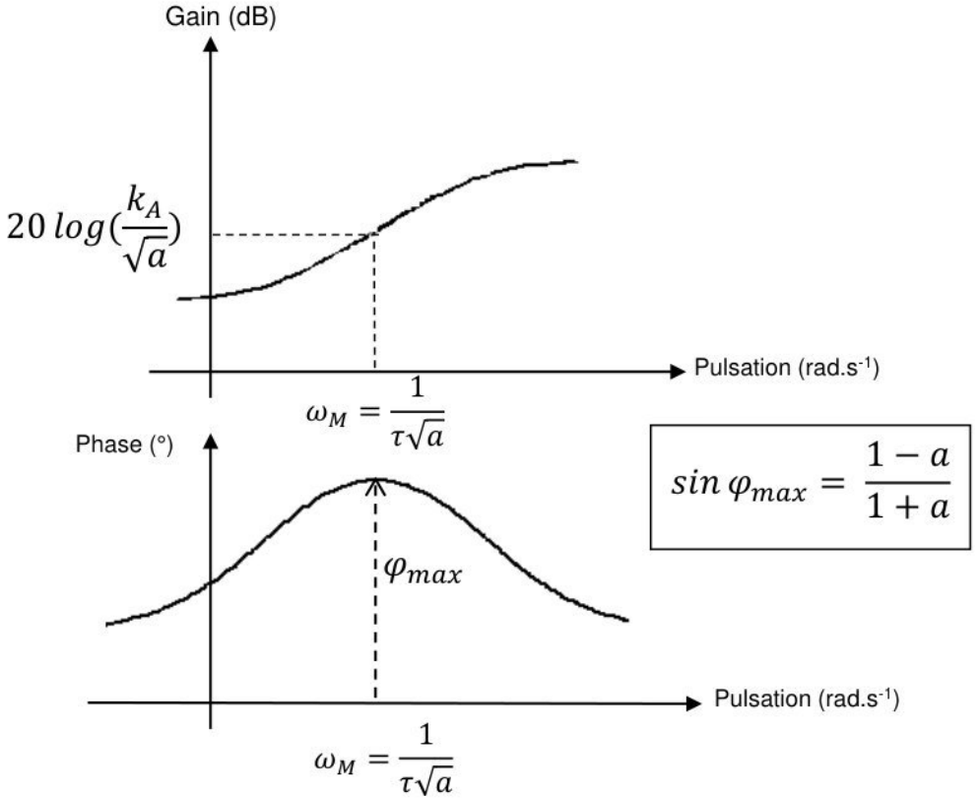


Figure 13

> ***Q40 :*** *Sans aucun calcul, justifier le choix du concepteur.*

Le diagramme de Bode d'un correcteur à avance de phase est donné ci-dessous :



$$sin\,\varphi_{max} = \frac{1-a}{1+a}$$

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 15/26

Q41 : *Déduire une relation entre τ et a, sachant que ce correcteur devra apporter une phase maximale à la pulsation* $\omega_0 = 2rad.s^{-1}$;

Q42 : *Déterminer en fonction de* φ_{max} *la marge de phase du système corrigé ;*

Q43 : *Quelle condition doit satisfaire* φ_{max} *pour assurer la stabilité de l'asservissement requise ?*

Q44 : *Pour* $\varphi_{max} = 55°$, *calculer la valeur de a puis celle de τ ;*

Q45 : *Par une démarche clairement explicitée, calculer la valeur de* k_A *puis déduire la forme numérique de la fonction de transfert en boucle ouverte du système corrigé.*

La carte des pôles P_i dans le plan complexe de la fonction de transfert en boucle fermée du système est donnée sur la **Figure 14** ci-dessous :

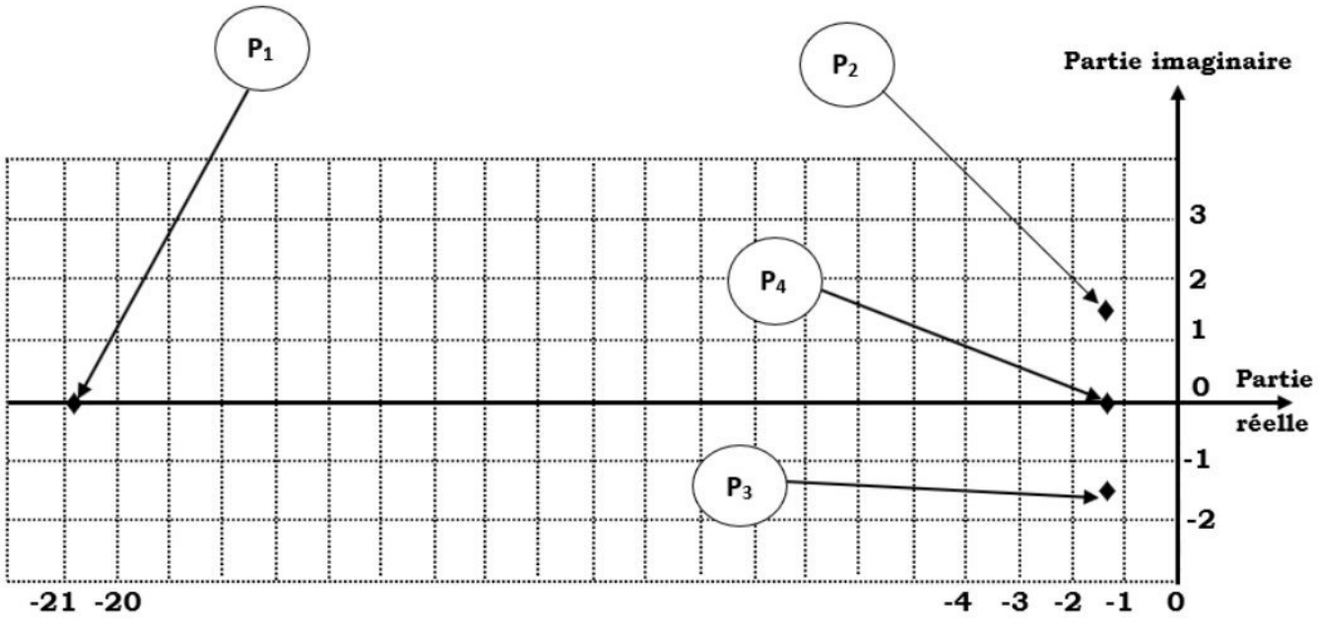


Figure 14

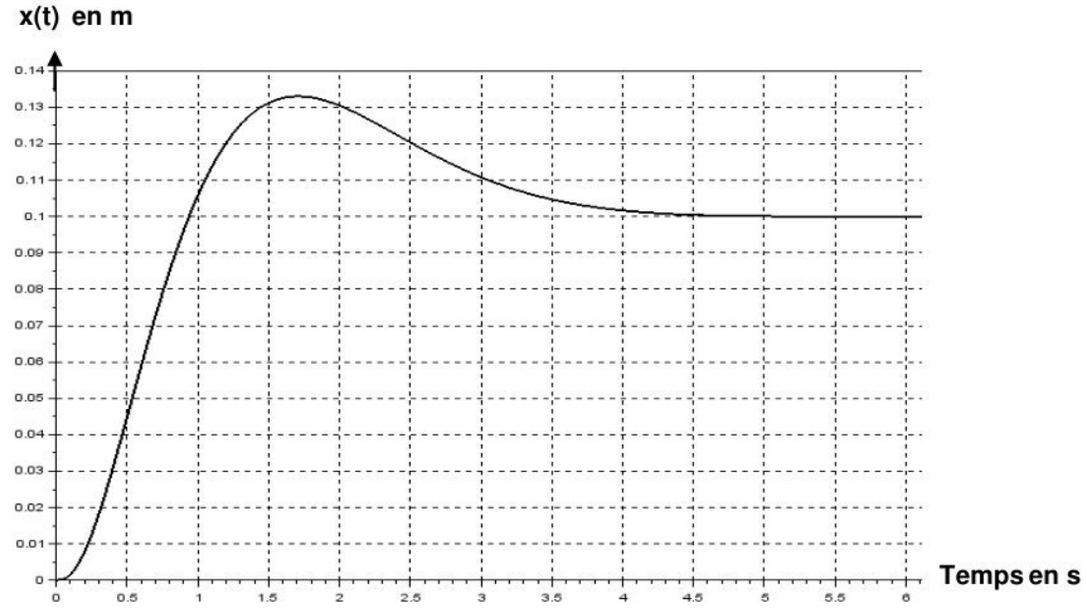
Q46 : *En déduire les expressions numériques des 3 pôles dominants de cette fonction de transfert. Conclure vis-à-vis des dépassements de la réponse indicielle de ce système.*

Une simulation de la réponse indicielle pour une entrée $x_c = 0,1m$ a permis de relever la courbe de la **Figure 15** :

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 16/26

Figure 15



Q47 : Sur le document réponse **DR3**, on demande de relever :

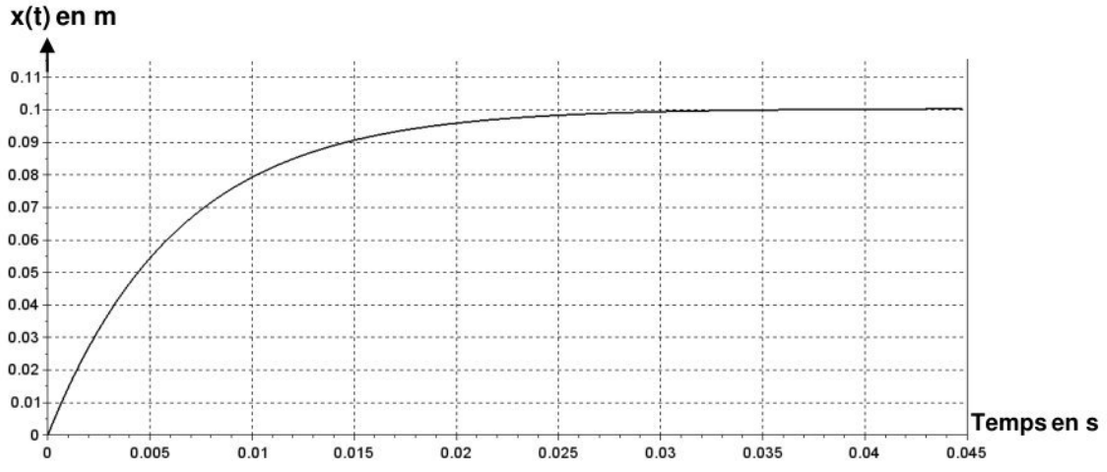
a **-** *Le temps de réponse à 5% de ce système ;*

b **-** *L'écart de position ε_p de ce système ;*

c **-** *Conclure quant à la capacité de ce correcteur à satisfaire le cahier des charges.*

Le concepteur a finalement opté pour le correcteur Proportionnel Intégral Dérivé PID. Il réalise une simulation, dont les résultats sont donnés sur la **Figure 16** :

Figure 16



Q48 : *Sur le document réponse **DR3**, conclure quant à la capacité de ce correcteur à satisfaire les exigences du cahier des charges.*

Fin de l'énoncé

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 17/26

Annexe 1

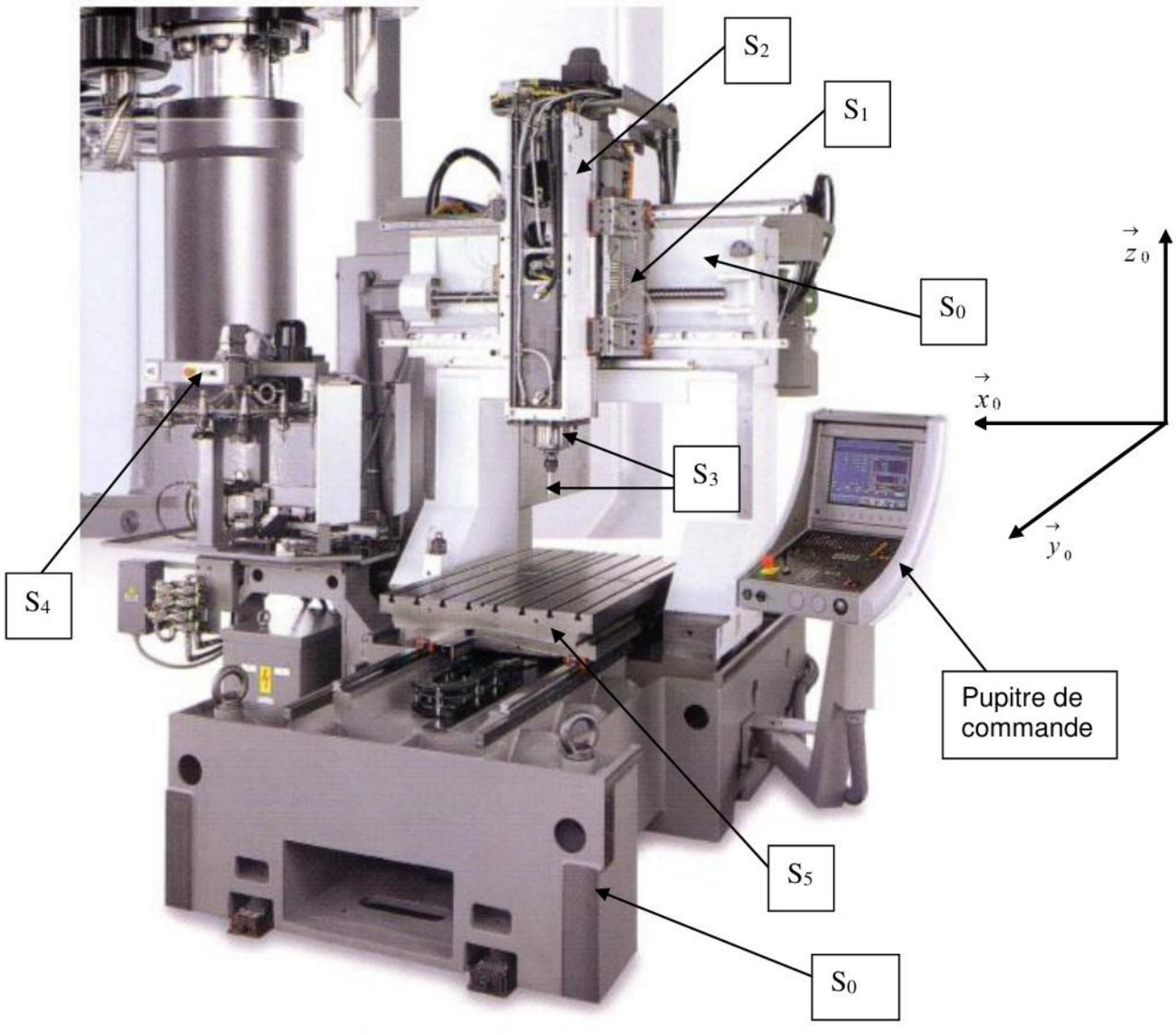


Figure 1 : Centre UGV à structure transversale

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 18/26

Annexe 2

Diagramme partiel des exigences du changeur d'outils:

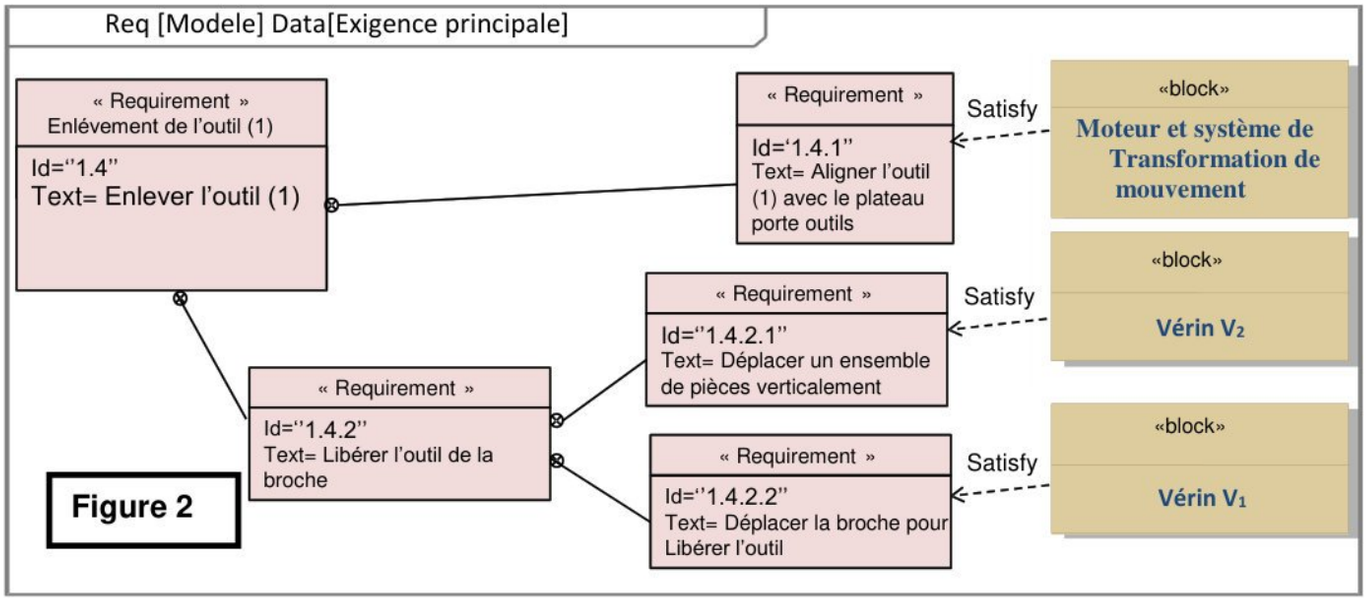


Figure 2

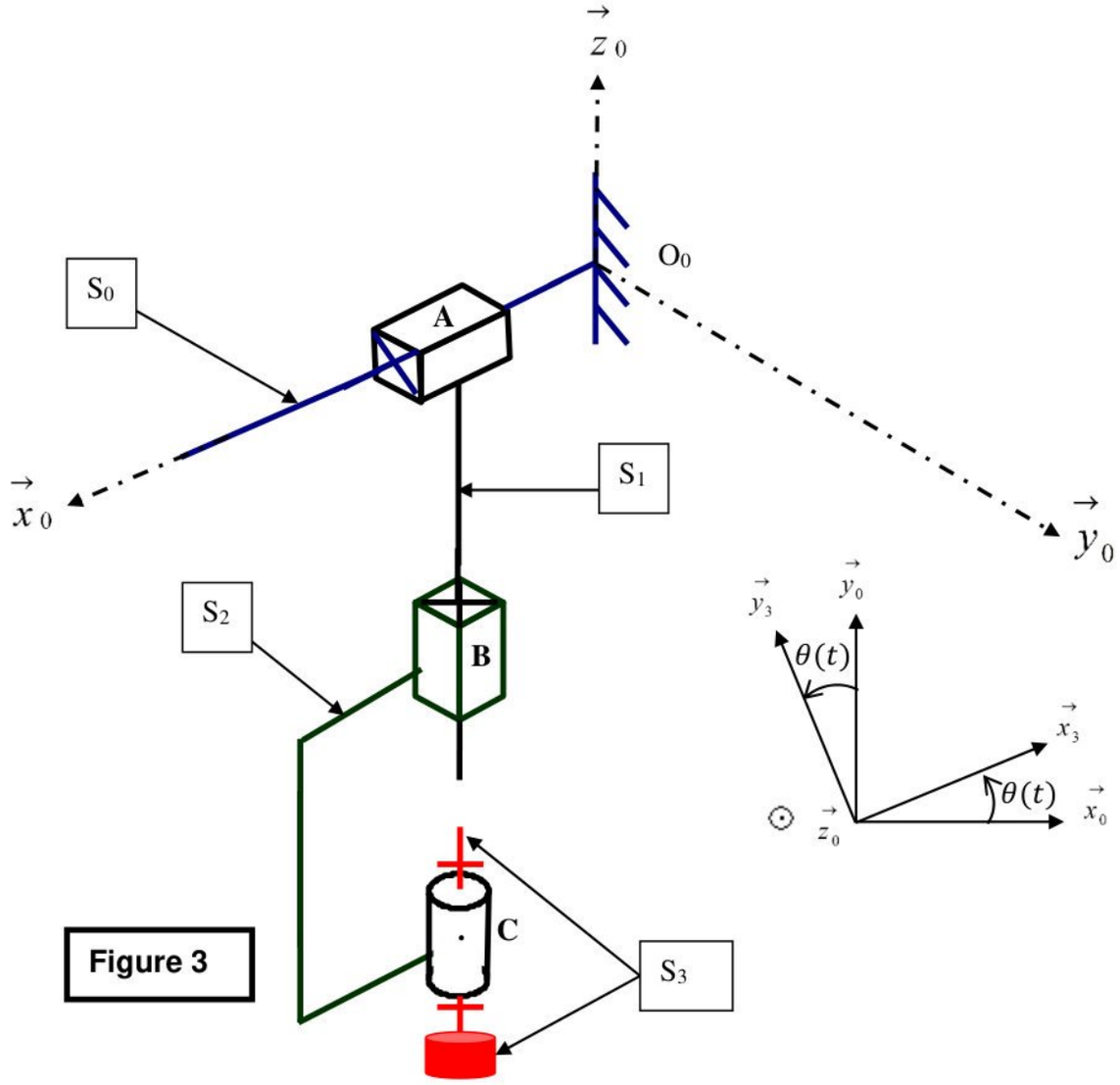


Figure 3

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 19/26

Annexe 3

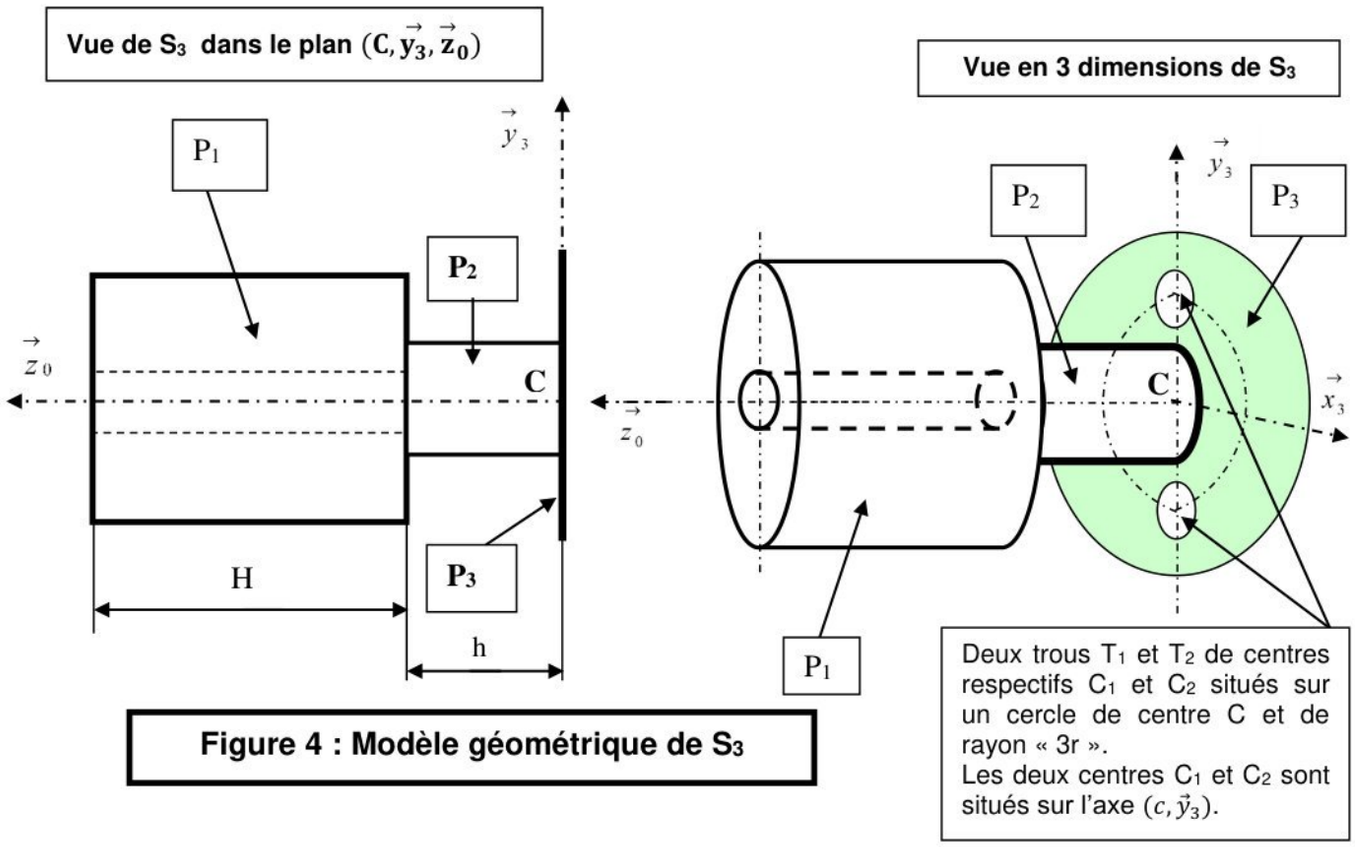
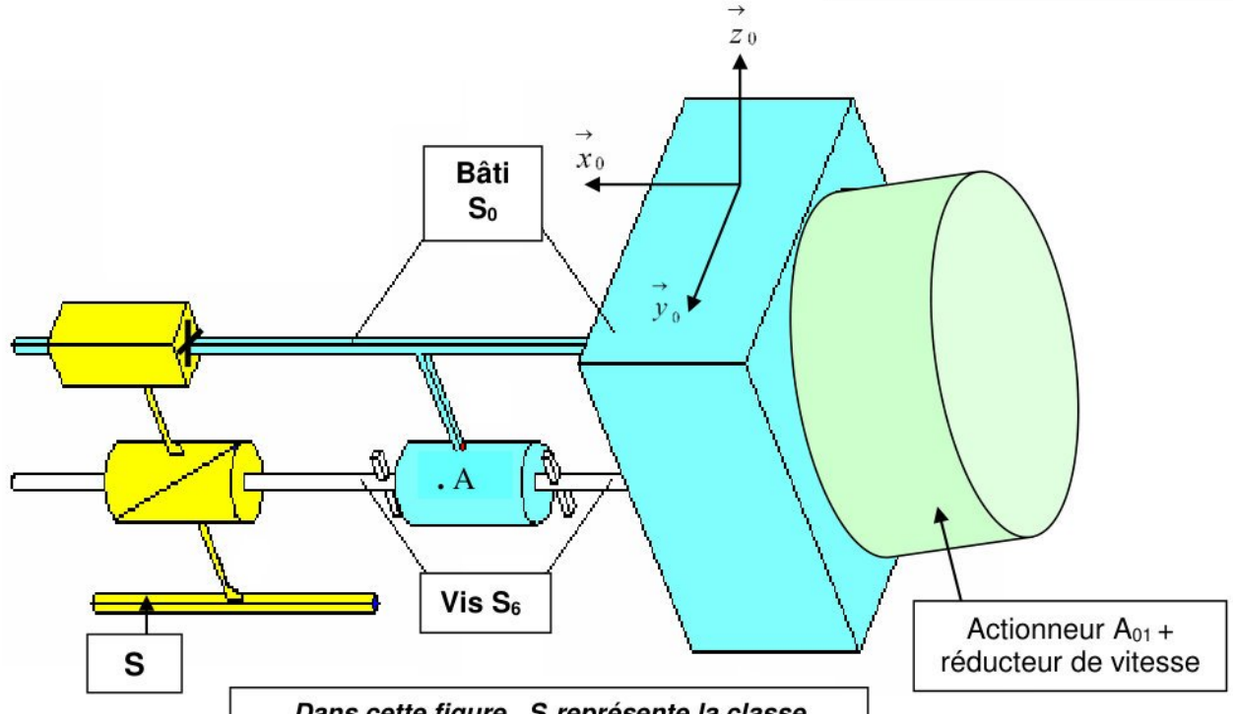


Figure 4 : Modèle géométrique de S3



Dans cette figure, S représente la classe d'équivalence constituée du chariot S1 et des pièces embarquées par S1 .

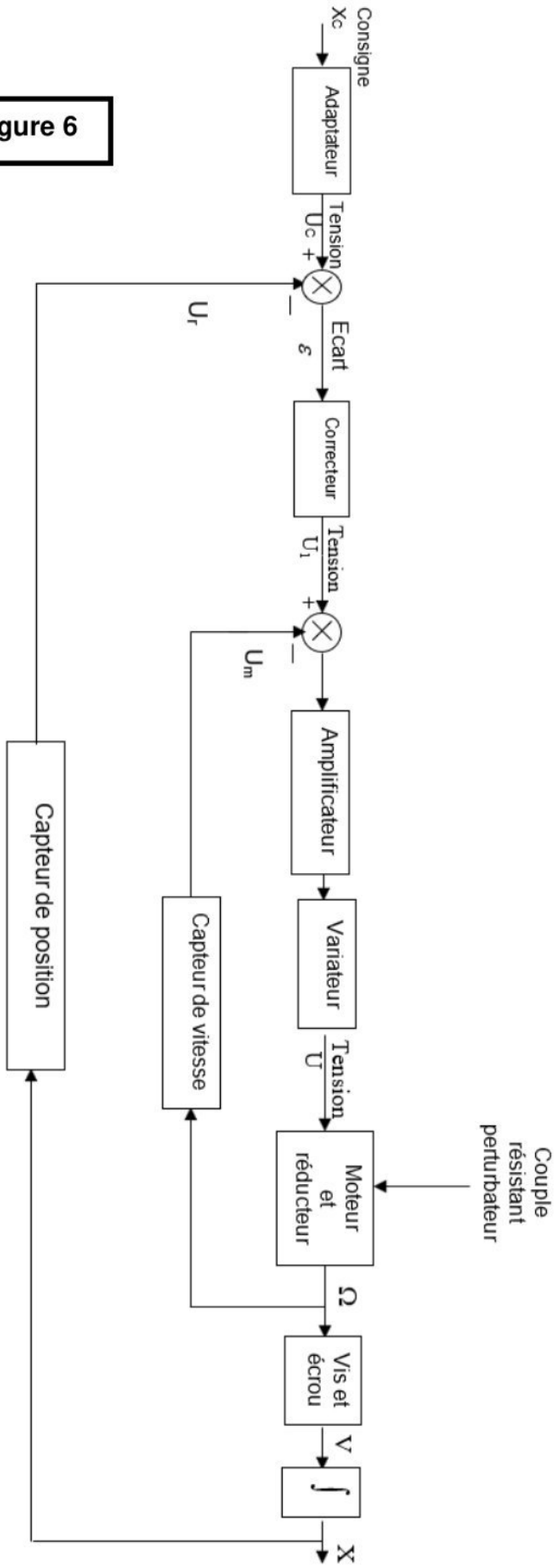
Figure 5

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 20/26

Annexe 4

Figure 6



$\Omega(p)$ = La transformée de Laplace de la vitesse de rotation $\omega(t)$ de l'arbre moteur ;
V(p) = La transformée de Laplace de la vitesse de translation v(t) du chariot (S_1) par rapport à (S_0) ;
X(p) = La transformée de Laplace du déplacement x(t) du chariot (S_1) par rapport à (S_0) ;
U(p) = La transformée de Laplace de la tension de commande u(t) du moteur électrique supposé à courant continu ;
$U_m(p)$ = La tension image de la vitesse de rotation $\Omega(p)$;
$U_r(p)$ = La tension image du déplacement linéaire X(p) ;

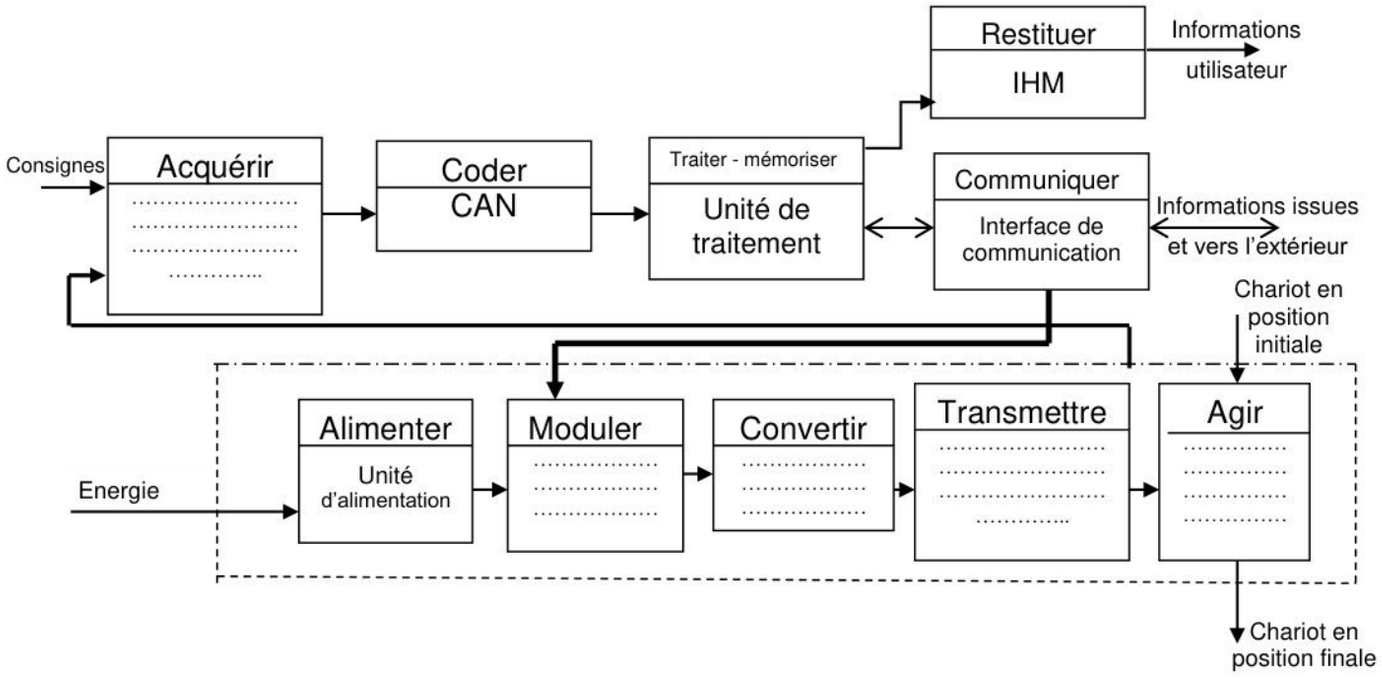
wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 21/26

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR1

Q1 :



Q2 :

Liaison	Forme du torseur de l'action mécanique transmissible par la liaison
Entre S_0 et S_1	
Entre S_1 et S_2	
Entre S_2 et S_3	

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

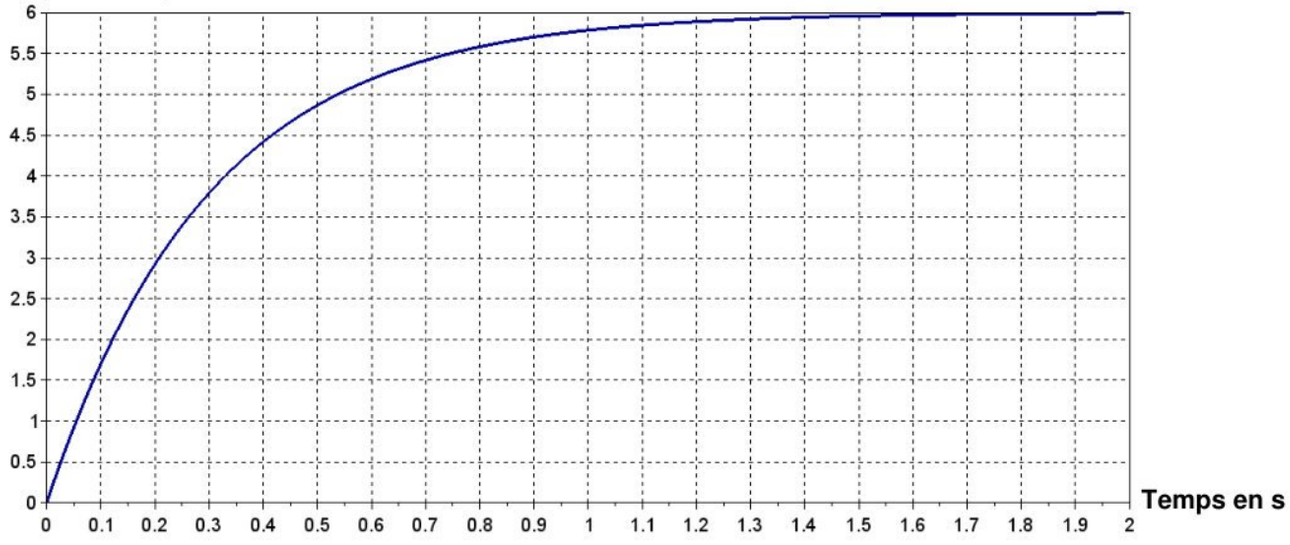
Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 22/26

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR2

Q10 : *Il est conseillé de laisser des traces des constructions graphiques que vous êtes amenés à faire*

$\omega(t)$ *en rad/s*



a *- Montrer que la fonction de transfert $H_1(p)$ du motoréducteur est :* $H_1(p) = \frac{K_M}{1 + T_M \cdot p}$

.....

.....

.....

.....

b *- Evaluer K_M et T_M.*

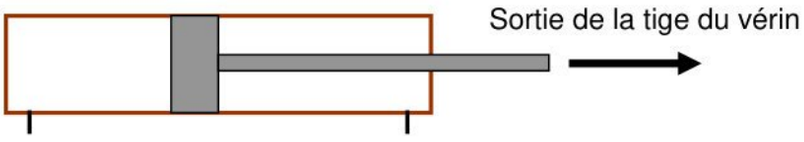
.....

.....

.....

.....

Q13 :



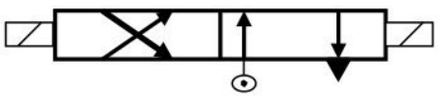


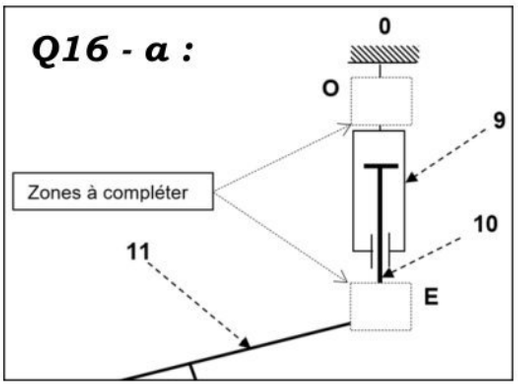
Figure : circuit hydraulique

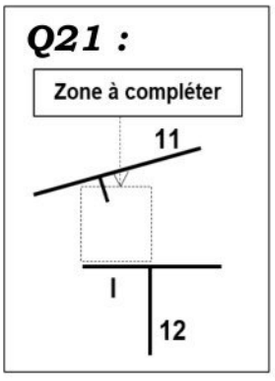
wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 23/26

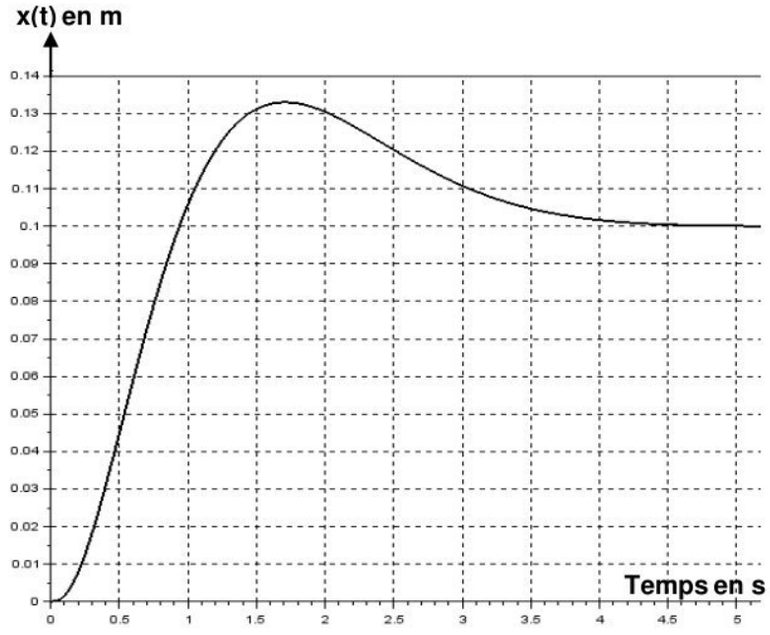
Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR3





Q47 : *Il est conseillé de laisser des traces des constructions graphiques que vous êtes amenés à faire*



a - ……

……

……

b - ……

……

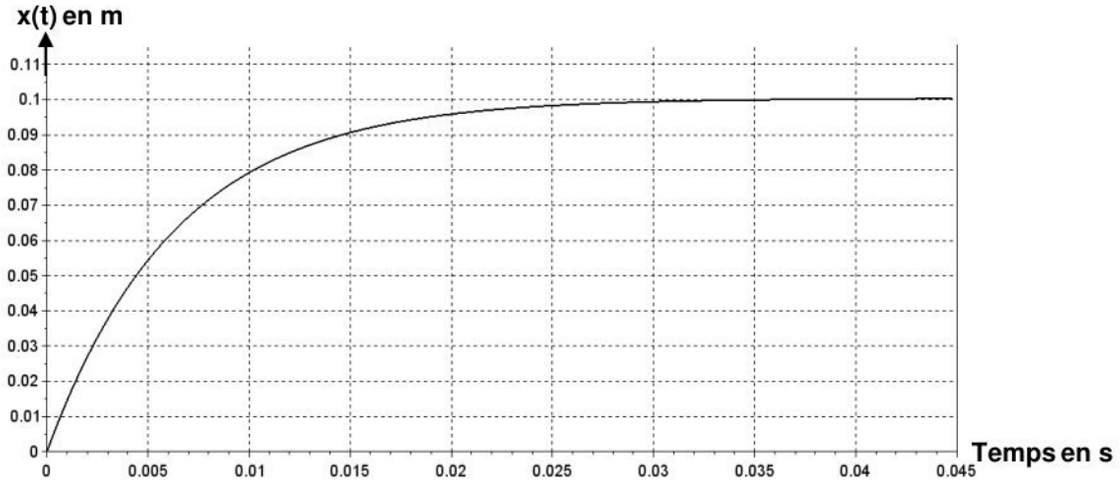
……

c - ……

……

……

Q48 : *Il est conseillé de laisser des traces des constructions graphiques que vous êtes amenés à faire*



……

……

……

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 24/26

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse DR4

Q35 : *Il est conseillé de laisser des traces des constructions graphiques que vous êtes amenés à faire*

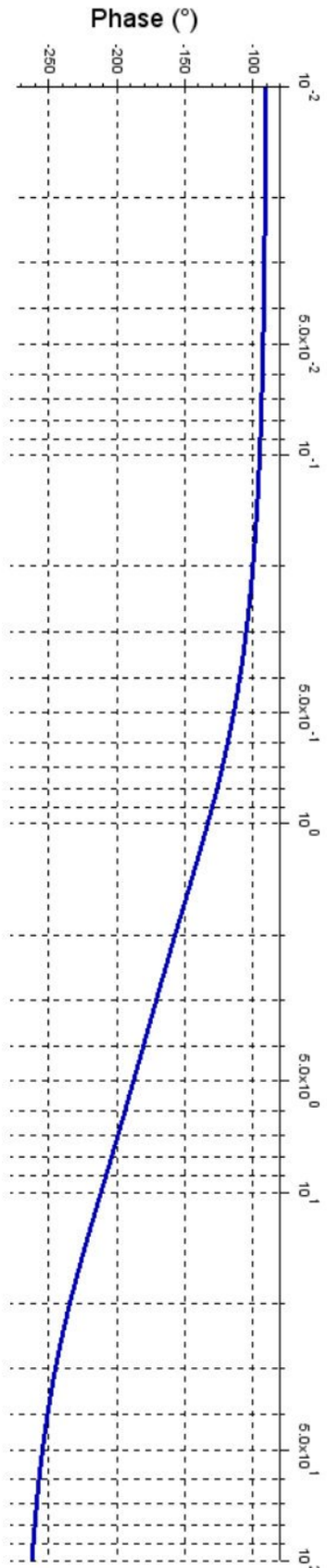
a -

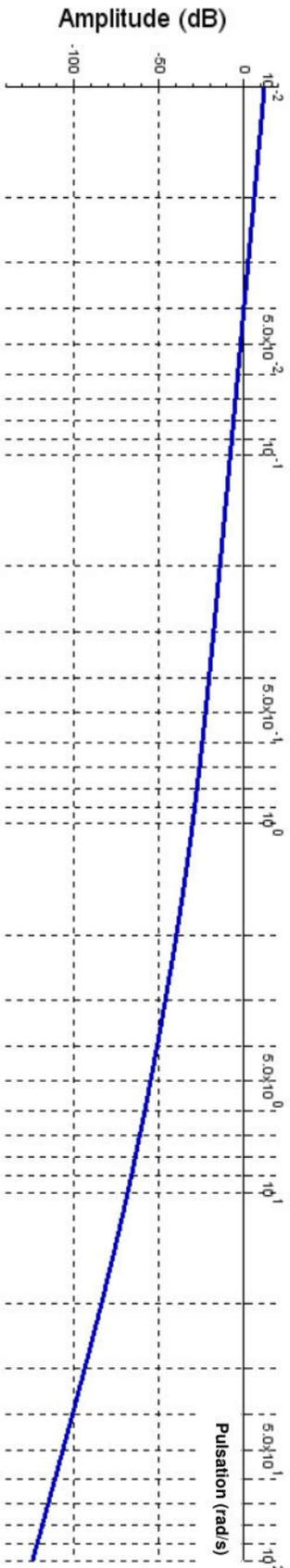
b -

c -

d -

e -





wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/5585 - Wadifa Info - page 25/26

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