

Durée de l'épreuve : 2h00

Aucun document autorisé - Calculatrice autorisée

La notation tiendra compte de la rigueur des raisonnements et de la qualité graphique de la composition.

Régulation d'un groupe Turbo Alternateur d'une centrale nucléaire

La France produit plus de 400 TWh d'électricité à partir d'énergie nucléaire. Pour cela, une centrale nucléaire contient plusieurs transformations d'énergie. On s'intéresse dans ce sujet à la transformation de l'énergie thermique de la vapeur d'eau du circuit secondaire en énergie mécanique de rotation de la turbine.

La zone d'étude se limitera aux vannes de régulation et de sécurité.

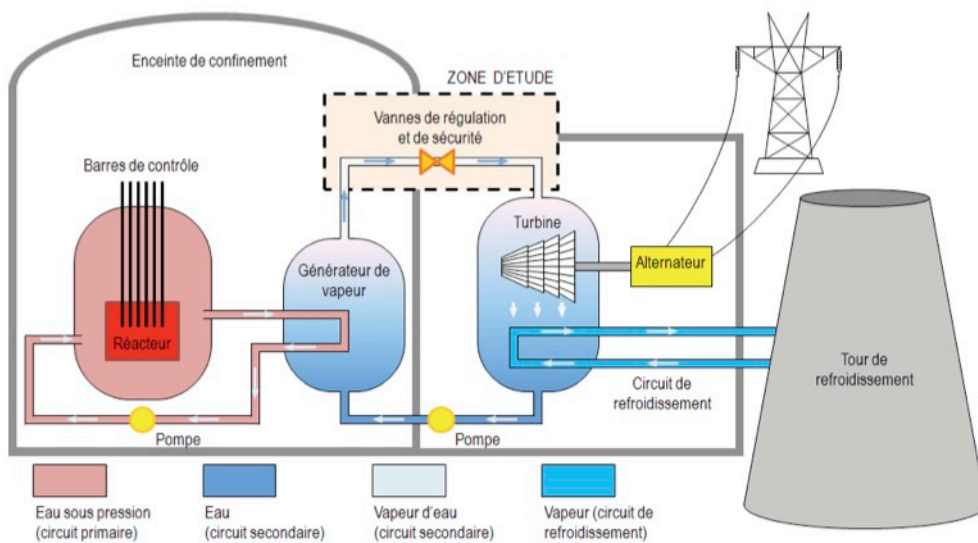


Figure 1 : Schéma d'une installation d'une centrale nucléaire

1. Présentation de la vanne

L'objet de notre étude porte sur deux vannes installées sur le circuit secondaire. Ces deux vannes quasi identiques ont deux fonctions différentes :

- vanne de régulation VI : permet de réguler le débit de vapeur et donc la fréquence de rotation de la turbine,
- vanne Tout ou Rien VM : permet de couper le circuit en cas d'alerte de sécurité.

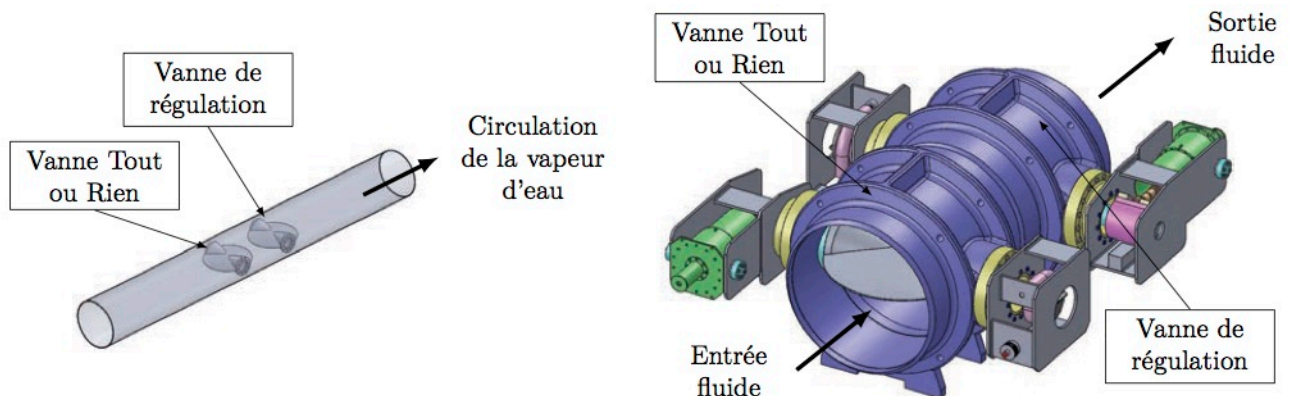


Figure 2 : Implantation des vannes sur la canalisation

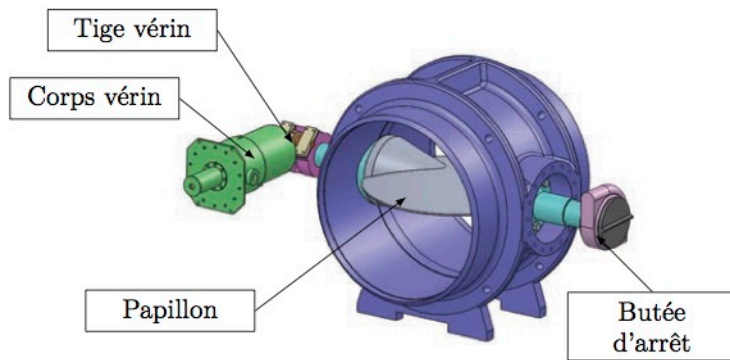


Figure 3 : Vanne en position ouverte

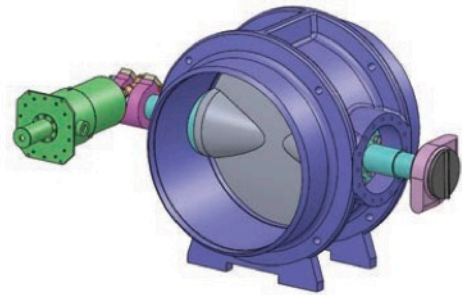


Figure 4 : Vanne en position fermée

Le débattement angulaire de l'obturateur (papillon) est d'un quart de tour pour passer de la position section de passage nulle (vanne totalement fermée) à section de passage maximale (vanne totalement ouverte).

Problématique : La fréquence du courant électrique produit par l'alternateur est liée à la vitesse de rotation de l'alternateur installé en bout d'arbre de la turbine. Cette vitesse de rotation est liée au débit de fluide circulant dans les canalisations d'alimentation de la turbine. Il est donc nécessaire de réguler ce débit.

Nous allons étudier les éléments de nature à garantir cette contrainte de vitesse de rotation du GTA (Groupe Turbo-Alternateur) et son contrôle en cas d'incident en relation avec le débit de vapeur du circuit secondaire alimentant la (ou les) turbine(s). Le diagramme partiel des exigences est donné par la Figure 5 et le diagramme des blocs internes du système par la Figure 6.

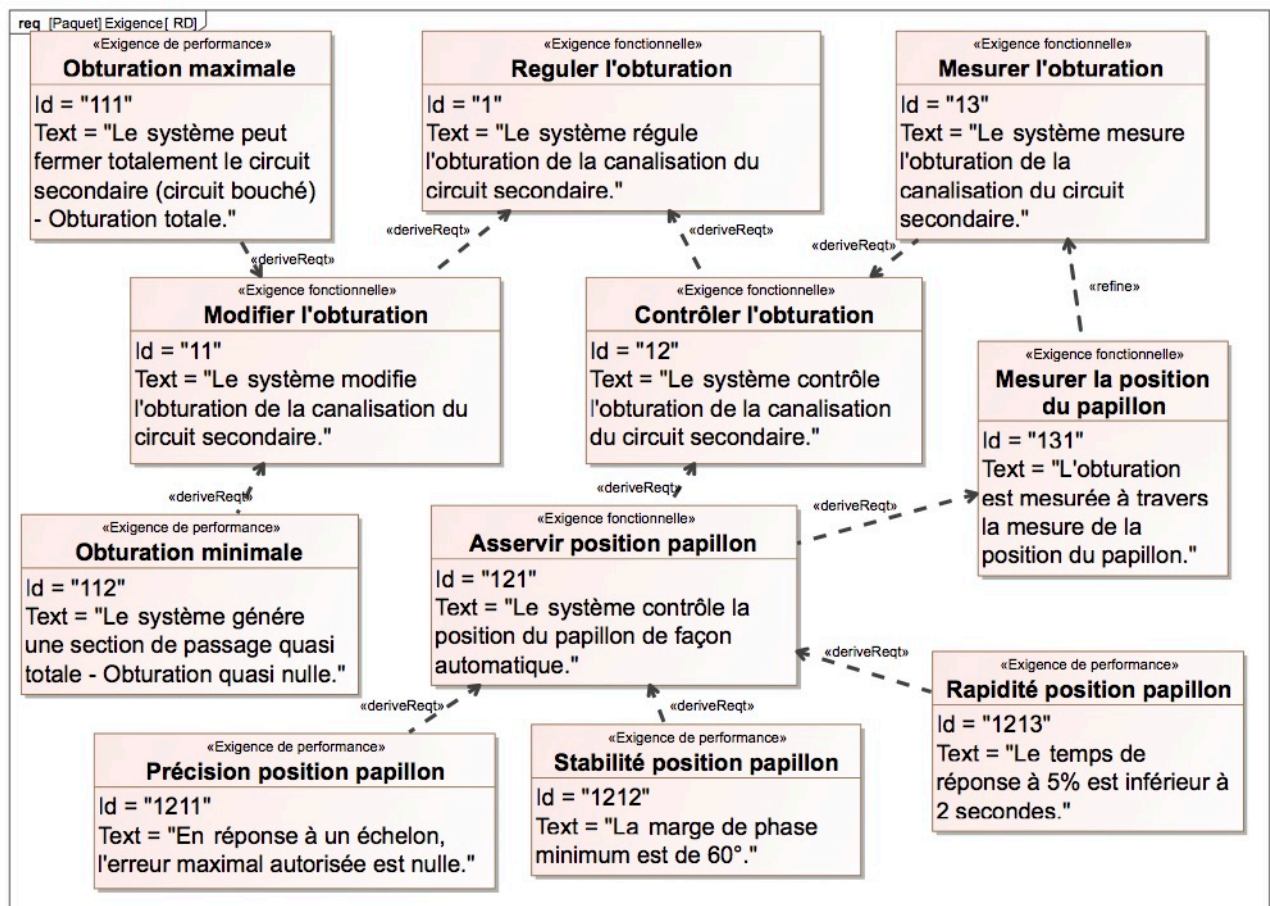


Figure 5 : Diagramme partiel des exigences

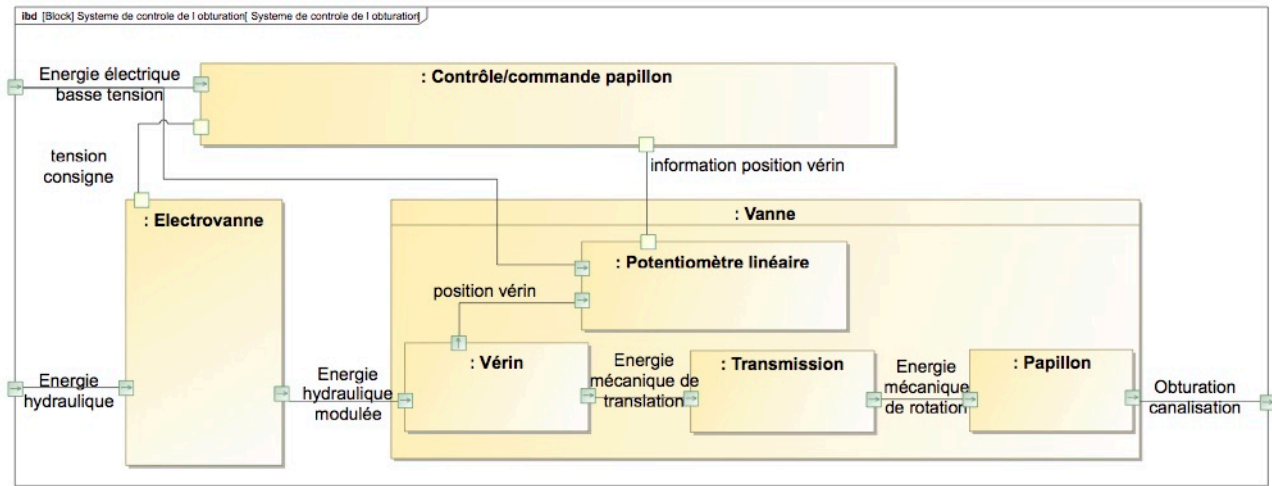


Figure 6 : Diagramme des blocs internes

2. Validation des performances de l'asservissement en position de la vanne

Le débit de vapeur alimentant la turbine est piloté par une vanne « quart de tour » (décrite précédemment) dont la position angulaire est asservie. L'objectif de cette partie est le dimensionnement du correcteur installé dans la boucle d'asservissement de la commande de position angulaire du papillon, permettant de vérifier les exigences attendues.

2.1. Étude géométrique de la vanne

Le système de pilotage de la vanne est décrit par le schéma cinématique de la Figure 7. Le papillon de la vanne, relié au levier de commande (1), est mis en rotation par l'intermédiaire d'un vérin hydraulique (corps (3) et tige (2)) dont le débit d'alimentation est contrôlé par une électrovanne.

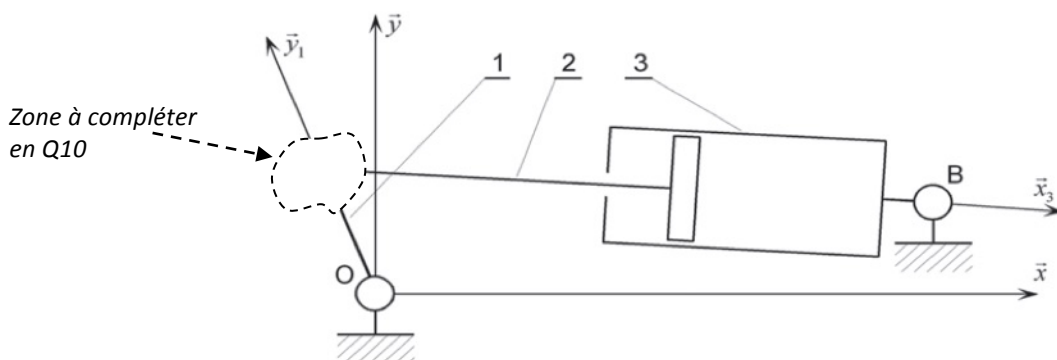


Figure 7 : Schéma cinématique et paramétrage du système de pilotage de la vanne

On définit les repères suivants :

- $R_0 = (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié au bâti 0,
- $R_1 = (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ lié au papillon 1, tel que $\theta(t) = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$ avec $\theta = \frac{\pi}{4}$ pour la position fermée et $\theta = -\frac{\pi}{4}$ pour la position ouverte,
- $R_2 = (A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ lié à la tige de vérin, en liaison rotule de centre A avec le papillon 1, tel que $\overrightarrow{OA} = e \cdot \vec{y}_1$,
- $R_3 = (B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ lié au corps du vérin tel que $\overrightarrow{OB} = L \cdot \vec{x} + d \cdot \vec{y}$, $\beta(t) = (\vec{x}, \vec{x}_3) = (\vec{y}, \vec{y}_3)$ et $\overrightarrow{AB} = \lambda(t) \cdot \vec{x}_3$.

On donne : $L = 864,8\text{mm}$ $d = 96\text{mm}$ $e = 135,8\text{mm}$.

Q1. Rappeler la liaison généralement retenue pour modéliser le contact entre le corps et la tige d'un vérin et préciser les caractéristiques de la liaison entre les solides 2 et 3.

Q2. Réaliser le graphe des liaisons du système de pilotage de la vanne.

Q3. Réaliser les figures géométrales représentant les paramétrages angulaire et linéaire des mouvements dans le système de pilotage de la vanne.

Q4. Préciser les paramètres d'entrée et de sortie du système de pilotage de la vanne.

Q5. Déterminer la loi entrée/sortie du système de pilotage en déterminant l'expression du paramètre d'entrée en fonction du paramètre de sortie et des grandeurs géométriques.

Q6. Inverser la relation déterminée précédemment afin d'exprimer le paramètre de sortie en fonction du paramètre d'entrée et des grandeurs géométriques.

Q7. À partir des valeurs extrêmes de l'angle θ , exprimer la course utile $\Delta\lambda_{max}$ du vérin en fonction des grandeurs géométriques.

Calculer $\Delta\lambda_{max}$ en mm.

On cherche à construire un modèle linéaire de la loi entrée/sortie de ce mécanisme. A cet effet, une simulation numérique de la loi déterminée en Q5 conduit au tracé de l'évolution du paramètre λ en fonction de l'angle θ fourni en Figure 8.

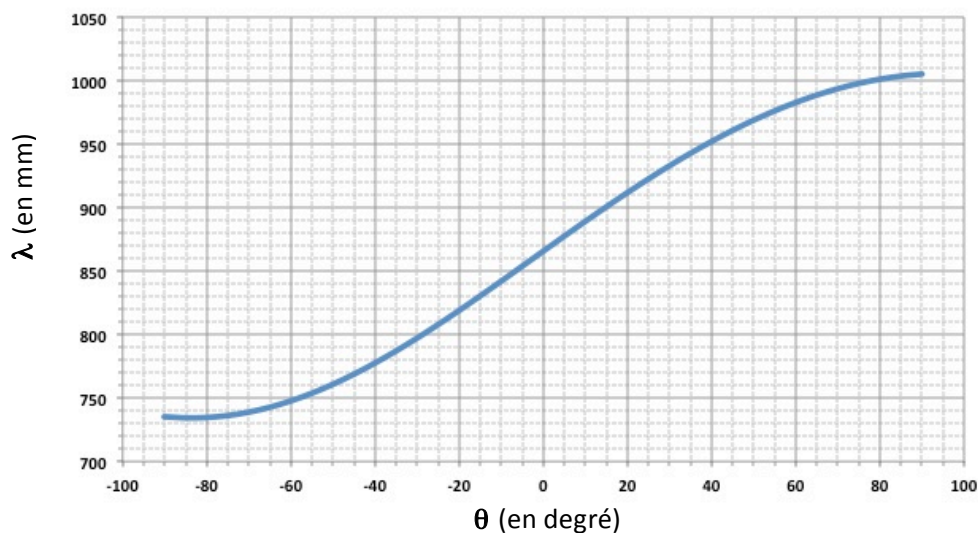


Figure 8 : Simulation numérique de la loi entrée/sortie

Q8. Justifier que la loi entrée/sortie déterminée en Q5 puisse être linéarisée.

Q9. Identifier la valeur numérique du gain K_θ tel que $\theta = K_\theta \cdot \Delta\lambda$ en unité S.I.

Q10. Sur le document réponse DR1, réaliser, à l'échelle, le schéma cinématique du système de pilotage de la vanne dans ses deux positions extrêmes.

Le schéma cinématique fera apparaître le modèle de liaison normalisée retenu en Q1 entre les solides 2 et 3.

Un soin tout particulier devra être apporté à cette construction (couleurs, représentation des différents paramètres cinématiques, des vecteurs utiles,...).

Q11. Vérifier à l'aide de la construction graphique la course utile du vérin calculée en Q7.

Q12. Sur le document réponse DR2, proposer le schéma cinématique d'une solution alternative (position $\theta = 0^\circ$) où le vérin hydraulique serait remplacé par un vérin électrique. Dans ce cas, l'énergie mécanique de translation en sortie de vérin est obtenue par un moteur à courant continu associé à un dispositif vis-écrou.

2.2. Modélisation de l'asservissement en position de la vanne

Pour la suite du sujet, pour toute fonction temporelle notée $f(t)$, on note $F(p)$ son image dans le domaine de Laplace et on considère que les conditions d'Heaviside sont réalisées.

Le vérin est alimenté par une électrovanne (entrée tension de commande $u(t)$, sortie débit volumique $q(t)$) dont le comportement est modélisé par un gain pur de valeur K_{ev} . La section utile du vérin est notée S .

Q13. Montrer que la fonction de transfert du vérin peut se mettre sous la forme $H_v(p) = \frac{\Delta\lambda(p)}{Q(p)} = \frac{K_v}{p}$ avec K_v une constante à préciser.

La mesure de l'angle θ n'est pas réalisée directement sur le papillon, un potentiomètre linéaire mesure le déplacement de la tige du vérin. Ce capteur de gain K_{cap} délivre une tension $u_\lambda(t)$ image de la position définie par $\Delta\lambda(t)$.

Le potentiomètre linéaire a une course électrique de 200mm et est alimenté par une tension de 24 V. Le signal délivré $u_\lambda(t)$ est proportionnel au déplacement et $0V \leq u_\lambda(t) \leq 24V$.

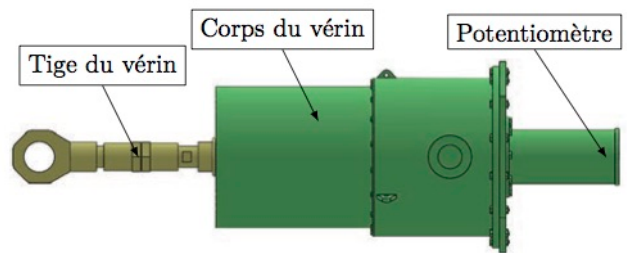


Figure 9 : Vérin équipé du potentiomètre

Q14. Déterminer la valeur numérique du gain pur du potentiomètre K_{cap} à exprimer en unité SI.

Un adaptateur de gain k transforme la consigne angulaire $\theta_c(t)$ (exprimée en radian) en une tension $u_c(t)$. Un correcteur de gain pur C amplifie l'écart $\varepsilon(t)$ entre la tension de consigne $u_c(t)$ et la tension $u_\lambda(t)$ issue du capteur et délivre la tension d'alimentation $u(t)$ de l'électrovanne.

Q15. Construire le schéma bloc modélisant l'asservissement de position angulaire de la vanne. Préciser pour chaque bloc sa fonction de transfert sous forme littérale et ses variables d'entrée et de sortie.

Q16. Déterminer l'expression de k en fonction de K_{cap} et K_θ afin que le système soit correctement asservi. Cette valeur de k sera adoptée pour la suite.

Q17. Déterminer, sous forme canonique, l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $H(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}$ de l'asservissement en position angulaire.

Q18. En déduire son ordre, sa classe ainsi que ses paramètres caractéristiques sous forme littérale.

Q19. Conclure quant à la validation du critère de précision de l'exigence Id 1211.

Q20. Pour une consigne en échelon d'amplitude θ_0 , exprimer $\theta(p)$ sous la forme $\theta(p) = \frac{A}{p} + \frac{B}{1+\tau.p}$ à l'aide du résultat de Q17.

On exprimera les constantes A et B en fonction de θ_0 et éventuellement des autres constantes du modèle.

Tout comme la transformée de Laplace, la transformée de Laplace inverse est linéaire.

Q21. Appliquer la transformée de Laplace inverse à l'expression de $\theta(p)$ déterminée question précédente afin d'exprimer $\theta(t)$ en fonction de θ_0 et éventuellement des autres constantes du modèle.

Rappel : $L[e^{-a.t}] = \frac{1}{p+a}$ où L désigne la transformée de Laplace.

Q22. Tracer l'allure de $\theta(t)$ et confirmer le résultat de la question Q19.

La réponse indicielle $\theta(t)$ à un échelon de consigne d'amplitude θ_0 présente-t-elle des dépassements ?

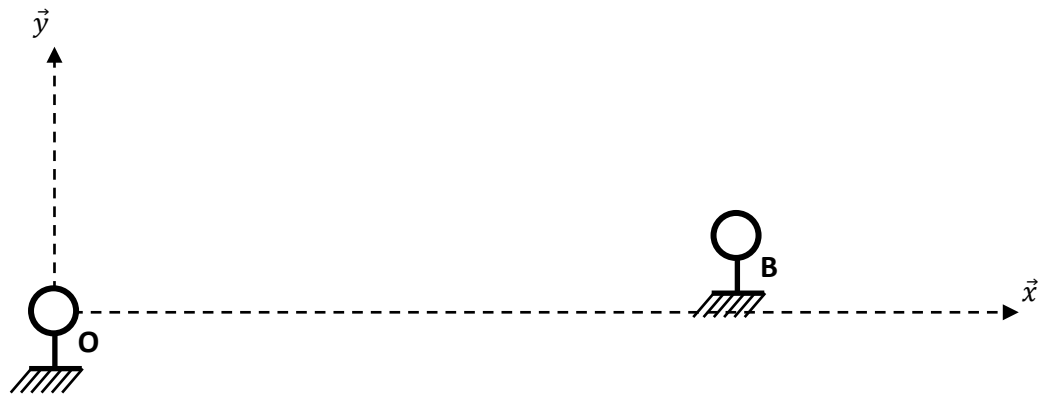
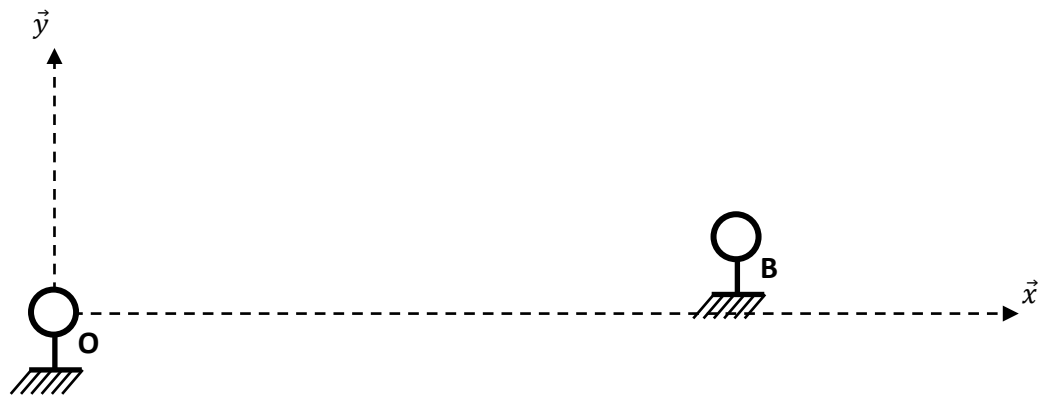
Q23. Compte tenu des observations faites à la question précédente, démontrer que le temps de réponse de cet asservissement de position est $T_{r5\%} \simeq 3. \tau$.

En déduire la valeur minimale de C (gain du correcteur) permettant de satisfaire l'exigence de rapidité *Id 1213*.

On donne les valeurs numériques suivantes : $K_v = 100 \text{ m}^{-2}$ et $K_{ev} = 0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$.

Nom :

Document Réponses

DR1Position extrême 1 : $\theta =$ Position extrême 2 : $\theta =$ **DR2** Solution alternative dans la position $\theta = 0^\circ$ 