Concours e3a-Polytech, France

Session 2026, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : présentation de l'ONG The Ocean Cleanup et coûts de la pollution plastique
- Partie II : implantation des Interceptor
- Partie III : extraction de déchets de la rivière
- Partie IV : remplissage des barges
- Partie V : autonomie du système
- Partie VI : conclusion

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/e3a/psi/2026/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

ÉPREUVE MUTUALISÉE AVEC E3A-POLYTECH

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PSI

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Durée : 4 heures

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

RAPPEL DES CONSIGNES

- *Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, bleu clair ou turquoise, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.*
- *Ne pas utiliser de correcteur.*
- *Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.*

Les calculatrices sont interdites.

Énoncé : 16 pages
Document Réponse : 12 pages

Il est conseillé d'utiliser des feuilles de papier brouillon afin de mettre au point les développements mathématiques, schémas, graphes et courbes, avant de les recopier au propre sur le **Document Réponse**.

Seul le Document Réponse (DR) doit être rendu dans son intégralité (le QR Code doit être collé sur la première page du DR).

Barges « Interceptor »
Nettoyer les rivières pour protéger les océans

Partie I - Présentation de l'ONG « The Ocean Cleanup »

I.1 - La pollution plastique

La résolution 5/14 de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement du 2 mars 2022 donne pour obligation aux états de s'attaquer à la « pollution plastique héritée », qui correspond à tous les déchets plastiques émis dans l'environnement par un pays. La limite de cette résolution est qu'elle ne peut malheureusement pas contraindre les états à traiter la pollution dans les zones situées au-delà des juridictions nationales, ce qui est le cas des millions de tonnes de déchets plastiques atteignant chaque année les océans. Les conséquences de la pollution maritime pour les états et spécialement les états côtiers sont multiples : pollutions chimique et visuelle des côtes et des plages, mortalité accrue dans toute la chaîne alimentaire marine du plancton aux grands prédateurs, effets indirects encore mal estimés sur la santé humaine (augmentation des risques de cancers, présence de perturbateurs endocriniens).

Q1. Identifier, à la lecture du paragraphe précédent, deux secteurs économiques des états côtiers pouvant être impactés par la pollution plastique et des exemples de coûts indirects que celle-ci peut avoir sur la société.

À titre indicatif, une étude conjointe menée par Deloitte et « The Ocean Cleanup » (« Price Tag of Plastic Pollution ») a estimé l'impact de la pollution plastique sur 87 pays côtiers à environ 19 milliards de dollars en 2018, à mettre en regard des investissements extrêmement faibles pour limiter l'émission des déchets (certains états ne sont pas en capacité financière ou ne disposent pas des infrastructures économiques nécessaires pour se doter d'une filière de recyclage). Si des mesures immédiates et directes ne sont pas prises, les débris plastiques en haute mer persisteront pendant des décennies – voire plus – tout en se fragmentant lentement en particules micro et nanoplastiques encore plus nocives pour les générations à venir.

I.2 - Présentation du projet

« The Ocean Cleanup » est une Organisation Non Gouvernementale fondée en 2014 dont l'objectif est le nettoyage des océans. Elle s'est fixée la mission d'enlever 90 % des déchets flottants sur les océans d'ici 2040. Les différents projets de l'organisation en sont encore au début de leur développement mais ont déjà permis d'enlever près de 40 000 tonnes de plastique des océans. Le fondateur et responsable de cette organisation, M. Boyan Slat a axé la stratégie sur deux axes et deux projets principaux (**figure 1**) :

- évacuer les déchets plastiques à la surface des océans à l'aide de grandes barrières (assimilables à des filets de pêche adaptés exclusivement aux déchets plastiques) déplacées à la surface des océans au niveau des principaux « vortex de déchets », grandes zones accumulant la plus grande part des déchets plastiques ;
- « fermer le robinet » en installant sur les rivières les plus polluantes du monde des systèmes récupérateurs de déchets appelés les « Interceptor » (un millier de rivières est à l'origine de 80 % de la pollution plastique pénétrant les océans).

Le sujet portera sur l'étude des barges « Interceptor », solution déployée pour nettoyer certaines des rivières les plus polluantes et sera centrée sur les points suivants :

- choix des lieux d'implantation des « Interceptor » par la mesure du flux de déchets à l'aide d'une Intelligence Artificielle et utilisation de modèles d'écoulement ;
- étude du fonctionnement de l'extracteur de déchets (le convoyeur) ;
- étude du système de remplissage et de gestion des conteneurs de déchets (la navette et la barge) ;
- étude de l'autonomie énergétique du système (les batteries et les panneaux solaires).



(a) Système de barrière océanique



(b) Bateau « Interceptor » à Los Angeles

Figure 1 - Deux types de systèmes de récupération de plastiques

Partie II - Implantation des « Interceptor »

Objectif : choisir des emplacements stratégiques pour les « Interceptor » permettant une extraction maximale de déchets et une maintenance aisée du bateau.

II.1 - Sélection des rivières

De nombreux critères – géopolitiques, pratiques, logistiques – interviennent au moment du choix de la rivière et de l'implantation. Bien entendu, un « Interceptor » doit être placé sur un bras d'une rivière très polluante mais il faut une volonté des autorités locales d'implanter le système et les moyens techniques pour mettre en place et assurer la maintenance du système (accès, infrastructures routières, création d'un centre de recyclage ou tout au moins de tri des déchets associé à l'« Interceptor »). Cet énorme travail de communication effectué en amont ne sera pas développé ici. Lorsqu'une collaboration avec un état ou des autorités locales est envisagée, il faut choisir un cours d'eau polluant. La quantité de déchets produite par une rivière peut être mesurée via des prélèvements, des estimations visuelles par des volontaires, ce qui requiert une main d'œuvre importante, mais aussi par des caméras et une identification des déchets à l'aide d'une Intelligence Artificielle.
L'objectif est double :

- identifier des déchets et caractériser leurs dimensions en amont de la zone d'implantation ;
- distinguer les déchets plastiques des déchets organiques.

La mise au point de la méthode a été réalisée à l'aide d'images provenant de caméras montées sur des ponts de cinq rivières différentes situées à Jakarta, en Indonésie.

La **figure 2** montre deux exemples de configuration de surveillance via une caméra vidéo montée perpendiculairement à la surface de l'eau. À chaque endroit, la caméra (même modèle pour tous les tests) a enregistré des séquences continues d'un flux vidéo pendant

3 à 10 jours. Pour entraîner la méthode de surveillance, deux ensembles de données étaient nécessaires : un ensemble de données d'images de la surface de l'eau telles que capturées par la caméra et un ensemble de données des mêmes images recadrées et étiquetées identifiant les objets flottant sur l'eau. À cette fin, des volontaires ont étiqueté l'ensemble des 1 272 images des données d'images de la rivière en dessinant des boîtes rectangulaires autour des régions des images qui contiennent des déchets plastiques.
Ces ensembles sont appelés respectivement ensemble de données d'images de rivière et ensemble de données de plastiques flottants.



Figure 2 - Positionnement des caméras

Étant donnée une image de rivière comme image d'entrée (à gauche sur la **figure 3**), la méthode de surveillance se compose de deux étapes :

- (1) l'étape de segmentation qui prédit quelles régions de l'image sont intéressantes (c'est-à-dire contenant probablement un objet flottant) ;
- (2) l'étape de détection qui détermine si les objets des zones étudiées sont des déchets plastiques ou non (beaucoup de déchets végétaux perturbent la détection).

On définit le rappel comme le nombre de déchets plastiques correctement identifiés par rapport au nombre réellement présents dans les échantillons labellisés. On notera que des inspections visuelles par des volontaires en lieu et place des caméras ont un rappel moyen d'environ 55 %.

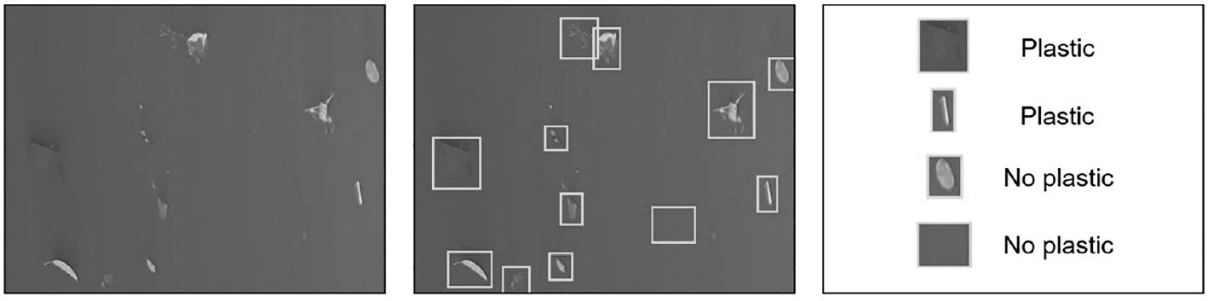


Figure 3 - Étapes de la méthode de détection

Différents tests destinés à trouver les paramètres optimaux de détection ont été effectués :

- augmenter le nombre de photos exploitées en données d'apprentissage (**figure 4**) ;
- augmenter le nombre de données d'apprentissage en présentant la même image sous différents angles.

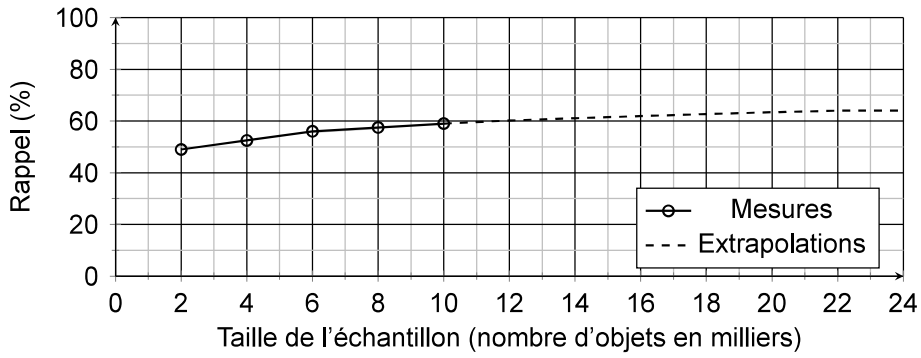


Figure 4 - Influence du nombre de photos sur le rappel

Q2. Donner le nom de ce type d'apprentissage ainsi que le nom de cette première phase de création d'un modèle d'IA. Donner le rappel maximal qu'il est possible d'espérer avec un échantillon de 20 000 objets.

En jouant sur d'autres paramètres, on améliore la qualité de la détection. On soumet le réseau de neurones à un échantillon de 200 images « inconnues » (labellisées mais non utilisées pour l'apprentissage) provenant de la même rivière. On obtient la matrice de confusion suivante :

	plastiques réels	non plastiques réels
plastiques prédits	90	38
non plastiques prédits	26	46

Q3. Donner le nom de cette deuxième phase de création d'un modèle d'IA. La justesse est le nombre de prédictions correctes par rapport au nombre de prédictions totales. Déterminer la justesse de l'algorithme à l'aide de la matrice de confusion.

On entraîne le réseau de neurones en utilisant des données additionnelles provenant d'autres rivières dans le but de tester les performances sur des données inconnues issues de ces rivières. Les résultats sont donnés sur la **figure 5**.

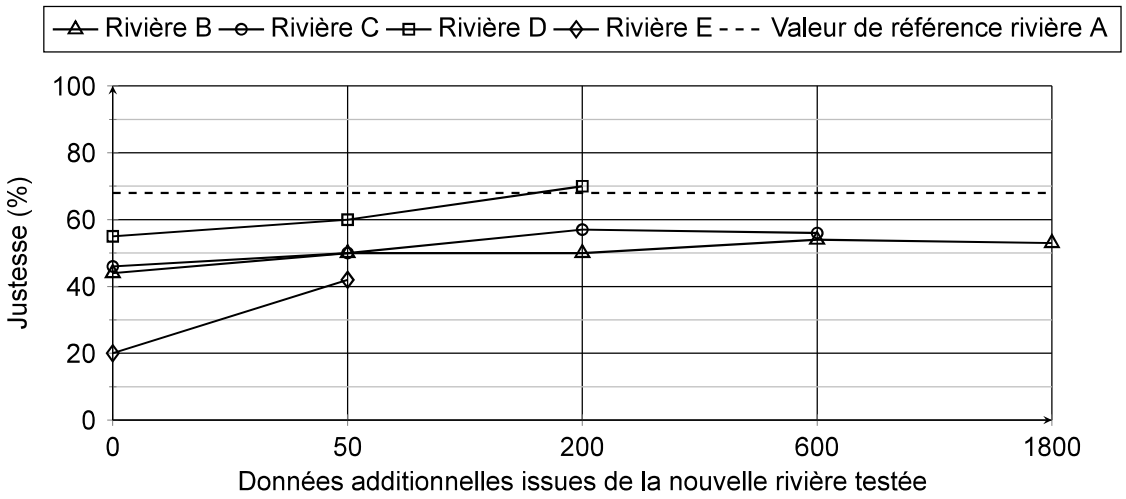


Figure 5 - Comportement de l'IA devant des données inconnues

Q4. Conclure quant à l'intérêt d'utiliser des données issues des 5 rivières.

Cette première étude permet de choisir une zone pour l'implantation d'une barge « Interceptor ».

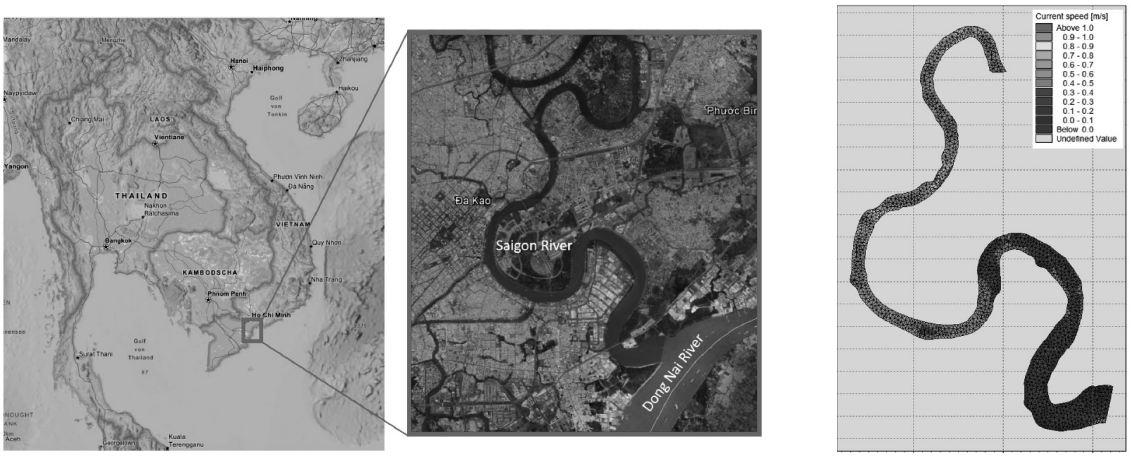
II.2 - Sélection de l'emplacement sur la rivière

Une fois la localisation grossière effectuée, il faut choisir l'implantation exacte de l'« Interceptor ». Pour cela, il faut connaître le flux de déchets sur une zone assez large et pour toutes les saisons. En effet, l'écoulement de certaines rivières est totalement différent selon la période de l'année.

L'emplacement du bateau devra permettre :

- de récupérer un maximum de déchets ;
- de ne pas entraver la circulation fluviale.

Une procédure exclusivement basée sur des mesures sur site est trop complexe et coûteuse en temps et des modèles numériques de mécanique des fluides sont utilisés. Différents bras de rivière sont modélisés et les écoulements dans ces bras de rivière sont déterminés (**figure 6**). Le logiciel permet également de modéliser l'influence de barrières artificielles sur les lignes d'écoulement. Les modèles fournis par le logiciel de simulation de mécanique des fluides sont des profils de vitesse sur des portions de rivière. Les résultats de simulation vont permettre une adaptation optimale du site de collecte de déchets (positionnement de l'« Interceptor » et placement de barrières déflectrices).



(a) Sélection d'un bras de rivière

(b) Simulation de l'écoulement sur le bras sélectionné

Figure 6 - Modélisation du bras de rivière sélectionné

Partie III - Extraction de déchets de la rivière

Objectif : étudier les solutions mises en place pour permettre d'extraire les déchets de la rivière.

III.1 - Dimensionnement de la motorisation du convoyeur

L'objectif de cette sous-partie est de choisir un moteur qui permet de respecter le cahier des charges.

Pour assurer le fonctionnement, le système doit respecter une exigence sur la capacité d'extraction des déchets (**figure 7**).

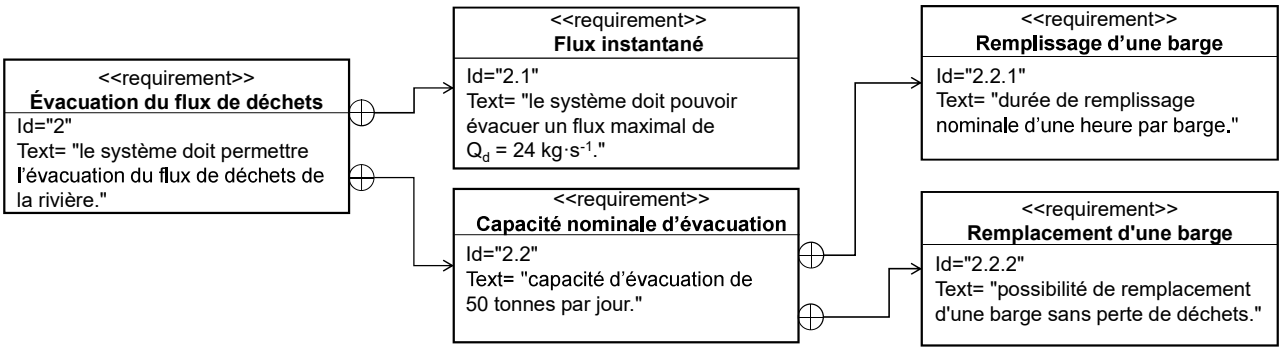


Figure 7 - Détail de l'exigence 2

Le système d'extraction est constitué d'un moteur à courant continu, couplé à un réducteur qui entraîne un système constitué de deux roues dentées et d'une chaîne reliée à un tapis métallique qui recueille les déchets (**figure 8** et **figure 9**). La partie inférieure du mécanisme est immergée de manière à ce que les déchets plastiques ne puissent pas passer sous le système de récupération. La sortie du convoyeur est placée au-dessus de la navette permettant l'accumulation des déchets en attendant la répartition dans les bacs.



Figure 8 - Système d'extraction

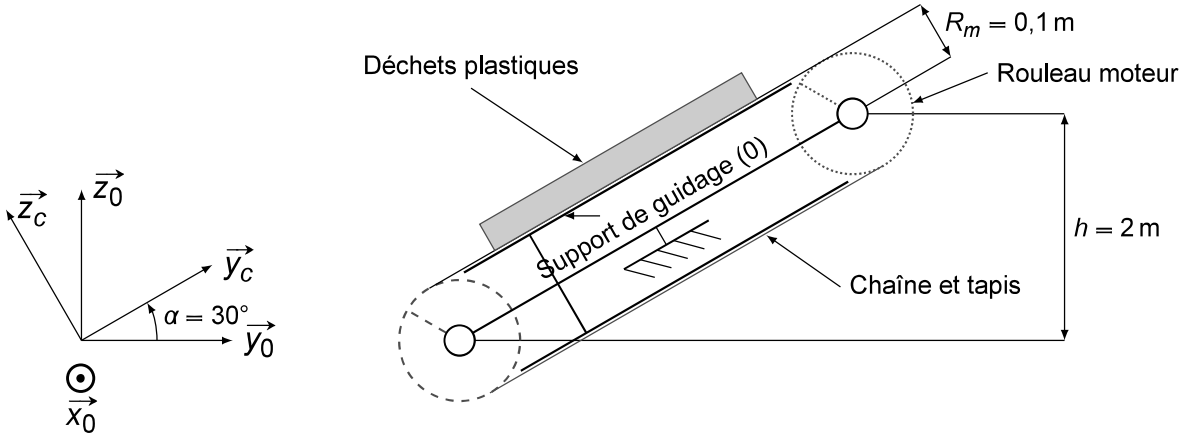


Figure 9 - Paramétrage du convoyeur

On suppose que le support de guidage (0), lié au bateau « Interceptor », n'a pas de mouvements par rapport au sol et que le référentiel associé est galiléen.

Paramétrage :

- $\omega_m(t)$ est la vitesse de rotation de l'arbre moteur (en rad·s^{-1}) ;
- $C_m(t)$ est le couple moteur (en Nm) ;
- $\omega_r(t)$ est est la vitesse de rotation de la poulie motrice en sortie du réducteur (en rad·s^{-1}) ;
- l'accélération de la pesanteur a pour expression : $\vec{g} = -g\vec{z_0}$ avec $g = 10\,\text{m·s}^{-2}$;

- l'inertie de l'ensemble à vide (sans déchets) ramenée sur l'arbre moteur est notée $J_e = 4 \cdot 10^{-2}\,\text{kg}\cdot\text{m}^2$;
- le rapport du réducteur est noté $k = \dfrac{\omega_r(t)}{\omega_m(t)} = -\dfrac{1}{10}$;
- le rayon du rouleau moteur est noté $R_m = 0{,}1\,\text{m}$;
- la masse maximale totale de déchets sur le convoyeur est notée $M_D = 100\,\text{kg}$.

Q5. À l'aide des informations de la **figure 9**, déterminer l'expression littérale de la vitesse minimale V_{lim} du système d'extraction (au niveau de la chaîne du convoyeur) permettant de vérifier la sous-exigence 2.1.

On considérera par la suite une vitesse limite V_{lim} de $1\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q6. Déterminer l'expression littérale de la vitesse de rotation de l'arbre moteur $\omega_m(t)$ correspondant à cette vitesse V_{lim}. Faire l'application numérique.

Q7. Déterminer l'énergie cinétique de la masse de déchets plastiques entraînée par rapport au support de guidage, notée $E_c(D/0)$, ramenée sur l'arbre moteur (sous la forme $\dfrac{1}{2}J_D\omega_m(t)^2$).

Q8. Donner sous forme littérale la puissance de l'action du moteur.

Q9. Justifier que la puissance de la pesanteur sur le système à vide est nulle en analysant d'une part l'ensemble moteur, réducteur, rouleaux et d'autre part l'ensemble chaîne et tapis.

Q10. Calculer la puissance des actions de pesanteur liée uniquement au flux de déchets. Le résultat sera exprimé sous forme littérale en fonction notamment de la vitesse de la chaîne V_{lim} et de la masse de déchets M_D.

Le coefficient de frottement f entre le tapis du convoyeur et le support de guidage (voir **figure 9**) est considéré constant sur toute la surface de contact et égal à 0,2. On modélise globalement l'action du support de guidage sur le tapis avec les déchets par une résultante dont on note $\overrightarrow{F_N}$ la composante normale et $\overrightarrow{F_T}$ la composante tangentielle due au frottement. On donne sur la figure de la **Q11** du **DR** le tracé de l'action normale $\overrightarrow{F_N}$ en un point A arbitraire. On suppose que la masse du tapis est négligeable devant celle des déchets et que l'action de la chaîne sur le tapis est uniquement selon $\overrightarrow{y_c}$.

Q11. Tracer sur le schéma (en respectant l'échelle fournie) l'action de frottement $\overrightarrow{F_T}$ appliquée par le support sur le tapis. Déterminer l'action normale $\overrightarrow{F_N}$ en isolant le morceau de tapis avec les déchets dessus. En déduire la puissance de l'action de frottement entre le support de guidage du convoyeur et le tapis. Le résultat sera exprimé sous forme littérale en fonction notamment du coefficient de frottement f de la vitesse maximale de la chaîne V_{lim} et de la masse de déchets M_D.

Q12. Exprimer la puissance liée à l'action de frottement et aux actions de pesanteur sous la forme $C_{Req}\omega_m$. Déterminer l'expression du couple résistant équivalent C_{Req} ramené sur l'arbre moteur.

Q13. En expliquant votre méthode (théorème appliqué, ensemble isolé et hypothèses associées), déterminer l'équation du mouvement du système reliant $C_m(t)$, $C_{Req}(t)$, $\dfrac{d\omega_m(t)}{dt}$ et les inerties J_e et J_D.

Les applications numériques des différentes constantes calculées précédemment donnent $J_D = 1 \cdot 10^{-2}\,\text{kg}\cdot\text{m}^2$ et $C_{Req} = -6{,}7\,\text{Nm}$. La motorisation retenue possède un couple de démarrage de 15 Nm et un couple nominal de 10 Nm.

Q14. Déterminer si le moteur retenu convient pour la phase de démarrage, en supposant que le moteur met 5 secondes pour atteindre sa vitesse maximale en accélérant uniformément, ainsi que pour la phase de fonctionnement à vitesse constante.

III.2 - Régulation de la vitesse du convoyeur

Afin d'optimiser l'extraction des déchets et le remplissage des conteneurs, la vitesse du tapis du convoyeur est régulée via un asservissement en vitesse de rotation de l'arbre du moteur. Les exigences de cet asservissement sont rappelées ci-dessous (**figure 10**).

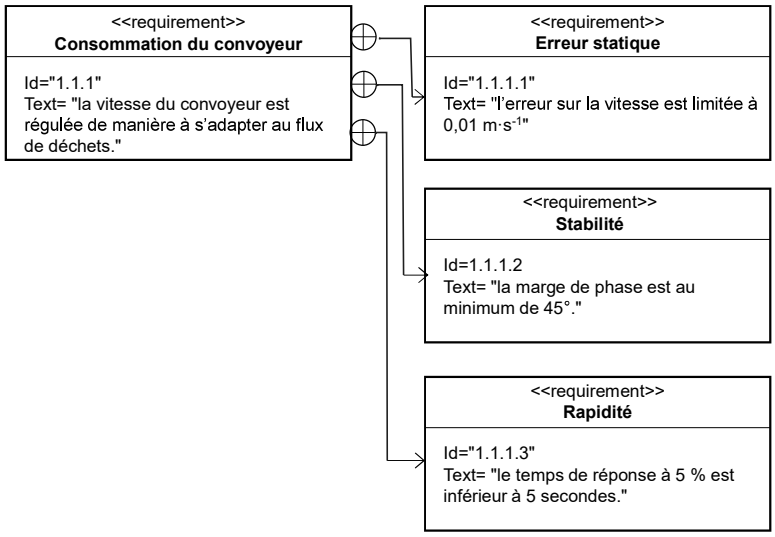


Figure 10 - Détail de l'exigence 1.1.1

La consigne de vitesse $v_c(t)$ est calculée à partir d'une mesure du débit de la rivière (non traité ici). Elle est convertie en une consigne $n_c(t)$ en incréments par seconde via un convertisseur de gain K_A. La réponse $n_m(t)$ mesurée au niveau d'un codeur incrémental de gain K_{COD} monté sur l'arbre moteur est comparée avec l'image de la consigne afin de former un écart $\varepsilon(t)$ qui sera corrigé par un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ afin d'élaborer la commande $u_c(t)$ (en Volts) envoyée au moteur. La modulation d'énergie réalisée par un variateur de vitesse permettant d'obtenir cette commande ne sera pas modélisée ici. Le moteur de fonction de transfert $H_m(p)$ est ensuite suivi du réducteur et du système poulie/chaîne décrits dans la partie précédente afin d'obtenir la vitesse de déplacement du convoyeur $v(t) = K_R\omega_m(t)$. Une perturbation extérieure, représentant les efforts de pesanteur et de frottement, modélisée sous la forme d'une tension $u_p(t)$ s'ajoutant à la tension $u_c(t)$ au niveau de l'entrée du moteur, est appliquée au système.

On considère que les conditions de Heaviside sont vérifiées. La transformée de Laplace d'une fonction $f(t)$ sera notée $F(p)$.

Q15. Proposer un schéma-bloc de la structure d'asservissement d'entrées $V_c(p)$ et $U_P(p)$ et de sortie $V(p)$.

Q16. Donner l'expression du gain K_A afin de garantir un écart $\varepsilon(t)$ proportionnel à l'erreur $v_c(t) - v(t)$.

La partie moteur du système soumise à une tension de commande $U_c(p)$ et à une perturbation $C_{Req}(p)$ est modélisée par le schéma-bloc partiel de la **figure 11**.

On rappelle le principe de fonctionnement du codeur incrémental en **figure 12.** Une carte électronique possédant deux détecteurs qui vont lire la polarité de deux pistes magnétiques

sur lesquelles les aimants sont placés en quadrature de phase. Le codeur utilisé dans cette application possède 128 pôles par piste et on utilise l'ensemble des changements détectables.

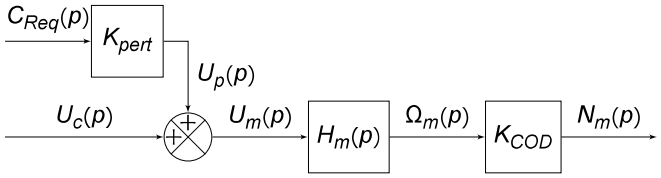


Figure 11 - Schéma-bloc partiel de la partie moteur et son codeur incrémental

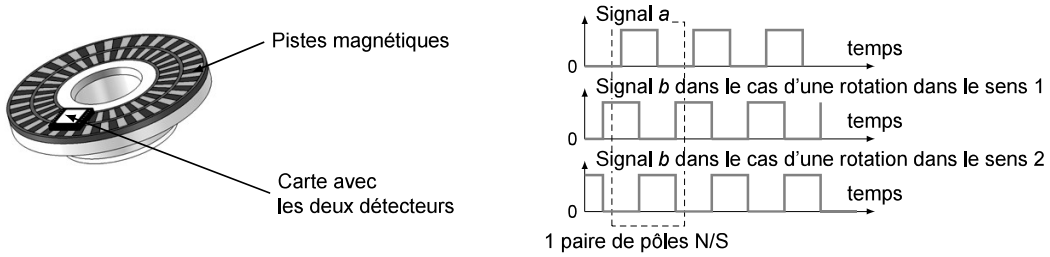


Figure 12 - Fonctionnement du codeur incrémental

Q17. Donner l'expression du gain K_{COD} en fonction des caractéristiques du codeur.

On donne sur le **DR** la réponse du moteur niveau codeur $n_m(t)$, en incrément par seconde, pour un échelon de tension de consigne $u_c(t)$ de 48 V et pour différentes perturbations en échelon $C_{Req}(t)$ appliquées sur le convoyeur.

Q18. Identifier le gain K_{pert} et la fonction de transfert $H_m(p)$ permettant de modéliser le comportement du système. Les tracés justificatifs devront apparaître clairement sur le **DR**. Vous ne donnerez qu'un ordre de grandeur (et l'unité) du gain de $H_m(p)$ et de K_{pert}.

On utilisera par la suite le schéma-bloc simplifié fourni **figure 13**.

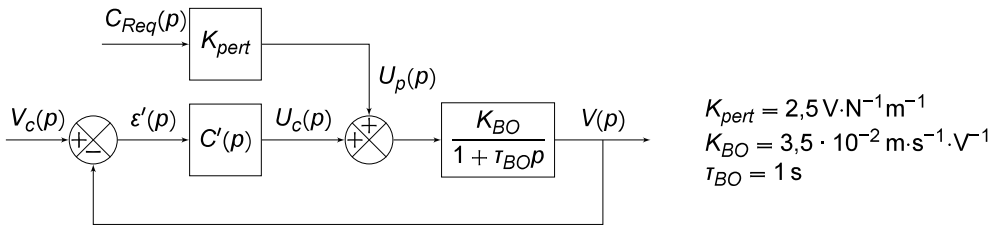


Figure 13 - Schéma-bloc bouclé simplifié

On considère dans un premier temps le système non perturbé ($C_{Req}(p) = 0$) soumis à une consigne de vitesse en échelon de valeur $V_{C0} = 1\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$ ainsi qu'un correcteur proportionnel $C'(p) = K_P$.

Q19. Déterminer les valeurs de K_P permettant d'avoir une erreur statique inférieure ou égale à 1 %.

Q20. Donner le temps de réponse à 5 % du système en fonction de K_P. Faire l'application numérique avec la valeur limite de K_P obtenue à la question précédente. Vérifier la conformité du temps de réponse par rapport à l'exigence du cahier des charges.

On considère dans un second temps l'influence de la perturbation $C_{Req}(p)$.

Q21. Donner l'expression de l'erreur statique (en fonction de K_P) ajoutée par une perturbation $C_{Req}(p)$ en échelon de valeur C_{R0}.

Le modèle du premier ordre précédent était un peu trop simplifié pour l'étude de la stabilité du système. On fournit dans le **DR** le diagramme de Bode d'un modèle plus élaboré de la FTBO, tracé pour un gain K_P de $1\,000\,\text{V}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$.

Q22. En détaillant les tracés utiles, mesurer la valeur des marges de phase et de gain avec cette valeur de K_P, puis déterminer sur ce diagramme la valeur du gain K_P permettant de vérifier la valeur limite du critère de stabilité du cahier des charges.

Le correcteur proportionnel ne permet pas de valider tous les critères du cahier des charges. On décide de tester un correcteur proportionnel intégral de fonction de transfert $C'(p) = K_P \dfrac{1 + T_i p}{T_i p}$.

Q23. Justifier l'intérêt de ce correcteur en donnant le critère du cahier des charges qu'il permet de valider.

Le réglage du correcteur proportionnel intégral permet d'obtenir les valeurs suivantes :

- $K_P = 1\,420\,\text{V}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$;
- $T_i = 0{,}2\,\text{s}$.

Q24. Tracer les diagrammes de Bode asymptotiques et l'allure des diagrammes réels du correcteur sur le **DR**.

On fournit les courbes de simulations (réponse temporelle pour une consigne $V_c(p)$ en échelon d'amplitude $0{,}5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et une perturbation $C_{Req}(p)$ en échelon d'amplitude -4 Nm, ainsi que les diagrammes de Bode de la FTBO) après réglage du correcteur proportionnel intégral sur le **DR**.

Q25. Vérifier le respect du cahier des charges avec ce correcteur dans les conditions de la simulation en faisant apparaître les tracés nécessaires sur les courbes.

Q26. Préciser l'intervalle de temps pendant lequel il y a présence de saturation. Donner la grandeur saturée et la valeur de saturation.

Partie IV - Remplissage des barges

Objectif : établir une stratégie de remplissage des conteneurs de la barge pour assurer son équilibre.

Le système d'évacuation des déchets est composé d'une barge chargée de 6 conteneurs séparés. Les barges utilisées sont interchangeables et nécessitent un bateau extérieur pour être évacuées et remplacées par une autre barge vide (**figure 14**). Les phases de transport ne seront pas étudiées dans ce sujet, seul le processus de remplissage des conteneurs sera traité.

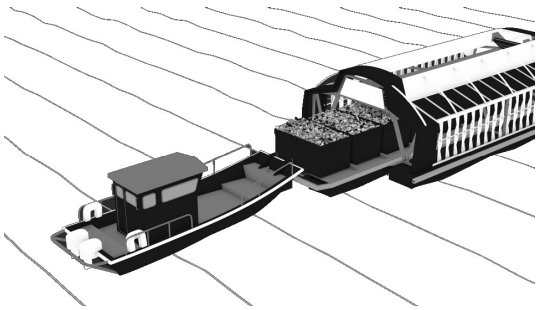


Figure 14 - Système d'extraction

L'élément principal du système de remplissage est appelé navette (shuttle) et se situe en phase de repos sous la sortie du convoyeur de manière à récupérer les déchets tombant du tapis roulant (**figure 15**).

Quand la navette est remplie de déchets, elle va se déplacer sur un rail au-dessus du conteneur à remplir et, grâce à un système similaire au convoyeur (système poulie/chaîne mis en mouvement par un moteur électrique indépendant présenté **figure 21**), va déverser son contenu dans le conteneur identifié. Quand le remplissage d'une barge est presque terminé, un signal est envoyé au site de maintenance sur la rive qui prendra les dispositions nécessaires pour le changement de barge. Le système peut continuer à fonctionner pendant un changement de barge tant que la navette peut accumuler des déchets.

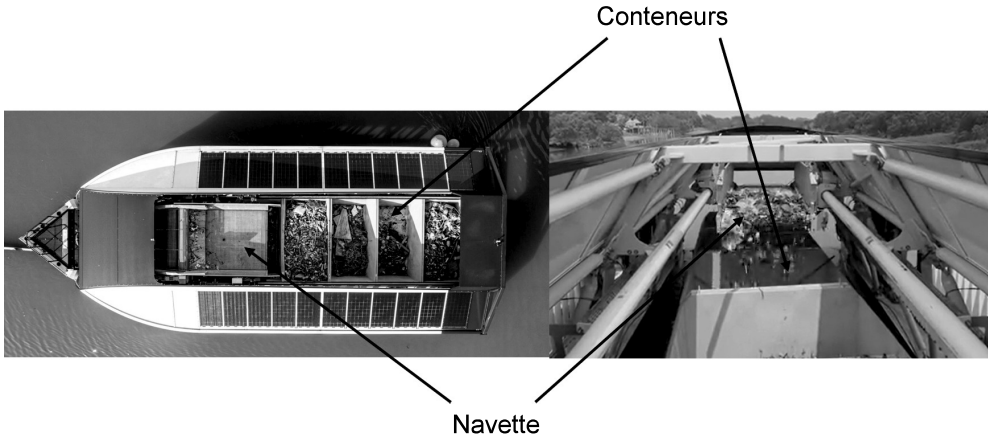


Figure 15 - Système de remplissage des déchets dans les conteneurs

IV.1 - Gestion de l'assiette de la barge

La gestion du remplissage des conteneurs est effectuée de manière à ne pas déséquilibrer la barge en modifiant son assiette. Une variation d'assiette de 0,5° est acceptée au maximum. Nous allons dans cette sous-partie déterminer l'angle d'assiette que pourrait engendrer un mauvais remplissage de la barge. Les caractéristiques principales (dimensions et masse) de la barge à vide sont fournies ci-dessous :

- longueur $L = 15\,\text{m}$;
- largeur $\ell = 5\,\text{m}$;
- flotteurs de largeur $a = 1{,}25\,\text{m}$;
- hauteur (hors conteneur avec partie immergée) $h = 1\,\text{m}$;
- masse à vide (conteneurs inclus) : $m_B = 10\,\text{tonnes}$;
- nombre de conteneurs : $n_c = 6$;
- charge nominale par conteneur : $m_c = 800\,\text{kg}$.

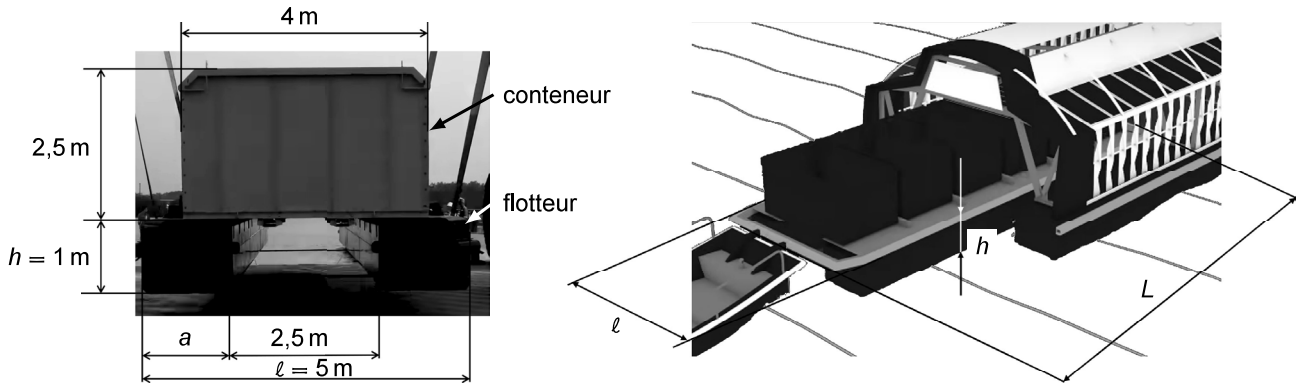


Figure 16 - Caractéristiques d'une barge

On considérera les hypothèses suivantes :

- accélération de la pesanteur $g = 10\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1\,000\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- éléments géométriques du socle de la barge parfaitement parallélépipédiques ;
- position du centre de gravité G_B suivant $\overrightarrow{y_0}$ (**figure 17**) au milieu de la barge à vide ;
- position du centre de poussée C_{P_A} suivant $\overrightarrow{y_0}$, notée $y_{C_{P_A}}$, au milieu de la barge lorsqu'elle est vide.

Q27. Déterminer l'enfoncement de la barge à vide dans l'eau h_{lm} fonction des dimensions caractéristiques et de la masse de la barge. Faire l'application numérique.

On considère maintenant le remplissage complet du conteneur 6 exclusivement, de centre de gravité G_{c6}, situé à l'extrémité de la barge, suivant le paramétrage indiqué en **figure 17**.

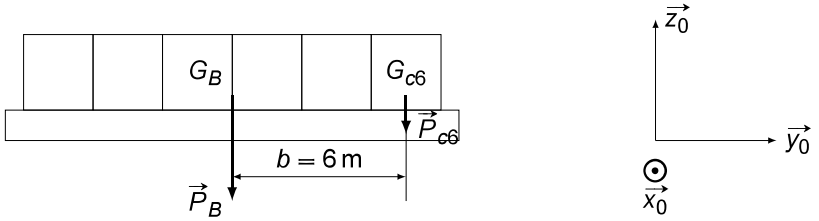


Figure 17 - Barge en remplissage

Q28. Calculer le décalage de la position du centre de gravité global Δy_G suivant $\overrightarrow{y_0}$ engendré par ce remplissage. Faire l'application numérique.

Q29. En considérant la barge à l'équilibre, soumise exclusivement à son poids et à la poussée d'Archimède, donner la condition que doit satisfaire la position suivant $\overrightarrow{y_0}$ du centre de poussée C_{P_A}.

On étudie maintenant exclusivement le volume immergé de la barge, avec un angle d'assiette non nul (cet angle est la conséquence du décalage du centre de gravité vers la droite). La valeur de cet angle d'assiette est amplifiée sur la **figure 18** de manière à mieux comprendre le paramétrage.

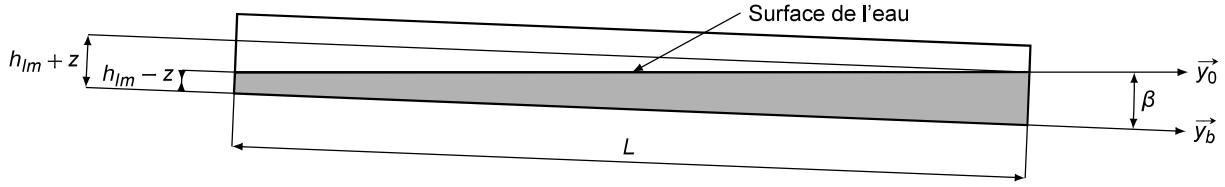


Figure 18 - Volume immergé avec angle d'assiette

Q30. Déterminer la valeur de l'angle d'assiette β en fonction de z et de L. Déterminer l'enfoncement z correspondant à un angle d'assiette de 0,01 rad.

Q31. Calculer le décalage de la position du centre de poussée d'Archimède $\Delta y_{C_{P_A}}$ (centre de la surface immergée) suivant $\overrightarrow{y_b}$ en fonction de z.

On donne la courbe issue des calculs précédents (**figure 19**) fournissant le décalage du centre de poussée suivant $\overrightarrow{y_0}$ en fonction de l'angle d'assiette β.

Q32. À partir de cette courbe et en exploitant les résultats de la **sous-partie IV.1**, justifier la nécessité d'un système de régulation de la répartition des déchets dans les conteneurs.

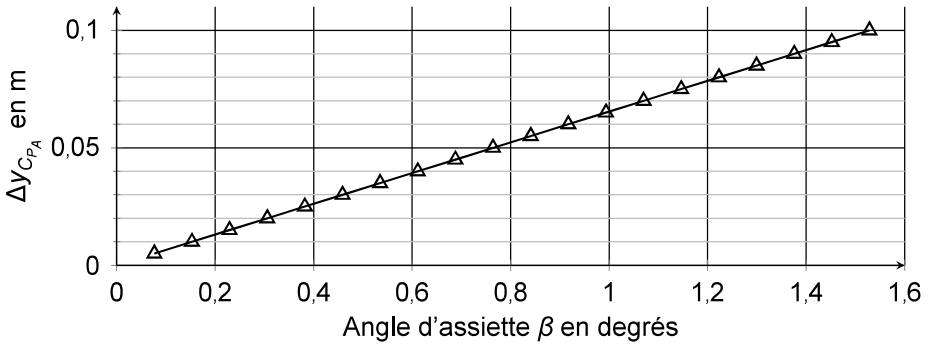


Figure 19 - Angle d'assiette et décalage de poussée

IV.2 - Commande du convoyeur intermédiaire

Les barges embarquent 6 conteneurs, nommés également bacs dans cette sous-partie. Pour garantir l'équilibre de la barge, chaque conteneur est équipé d'un système de mesure de la masse de déchets. Le système électronique de gestion va décider du conteneur à remplir pour garantir le meilleur équilibre. À intervalle régulier, la navette va se déplacer en direction du conteneur à remplir en vitesse rapide jusqu'à atteindre le deuxième détecteur du conteneur visé (**figure 20**). La navette change de sens de déplacement (vitesse lente) et le moteur du tapis roulant se met en fonctionnement (déplacement dans le sens inverse de celui du mouvement de la navette) permettant l'évacuation des déchets dans le conteneur (**figure 21**). Au front descendant du détecteur 1, la navette stoppe et le tapis continue à tourner pendant 3 secondes, puis retourne en position initiale en vitesse rapide.
La procédure est similaire pour le premier bac mais le déplacement s'effectue cette fois directement en vitesse lente (dans le sens mise en position) et le tapis est piloté dans le sens inverse pour évacuer les déchets vers l'arrière du convoyeur dans le bac. Au front descendant du détecteur 2, la navette stoppe et le tapis continue à tourner pendant 3 secondes, puis retourne en position initiale en vitesse rapide.

Une fois les conteneurs remplis (à un seuil fixé), un signal est envoyé vers le centre de maintenance et de collecte des déchets qui va envoyer un remorqueur pour récupérer la barge et décharger les conteneurs. Les conteneurs sont équipés de grands filets de récupération qui vont être extraits et changés très rapidement au niveau du centre de recyclage afin de minimiser le temps d'intervention.

Q33. À partir des données fournies sur le tapis roulant de la navette, calculer la valeur de la vitesse lente à adopter par la navette afin de répartir les déchets au mieux dans le conteneur (on considérera une répartition uniforme de déchets sur la largeur de la navette).

On notera de la manière suivante les événements et les actions décrits ci-dessus.

- Les évènements :
  - Bac1 ou Bac2a6 selon le bac à remplir ;
  - Det1 (respectivement Det2) pour le déclenchement (front montant) du détecteur 1 (respectivement détecteur 2) du bac visé (pour simplifier la notation, aucune distinction ne sera faite selon le numéro du bac associé aux capteurs) ;
  - !Det1 pour (respectivement !Det2) pour la coupure (front descendant) du détecteur 1 (respectivement du détecteur 2).

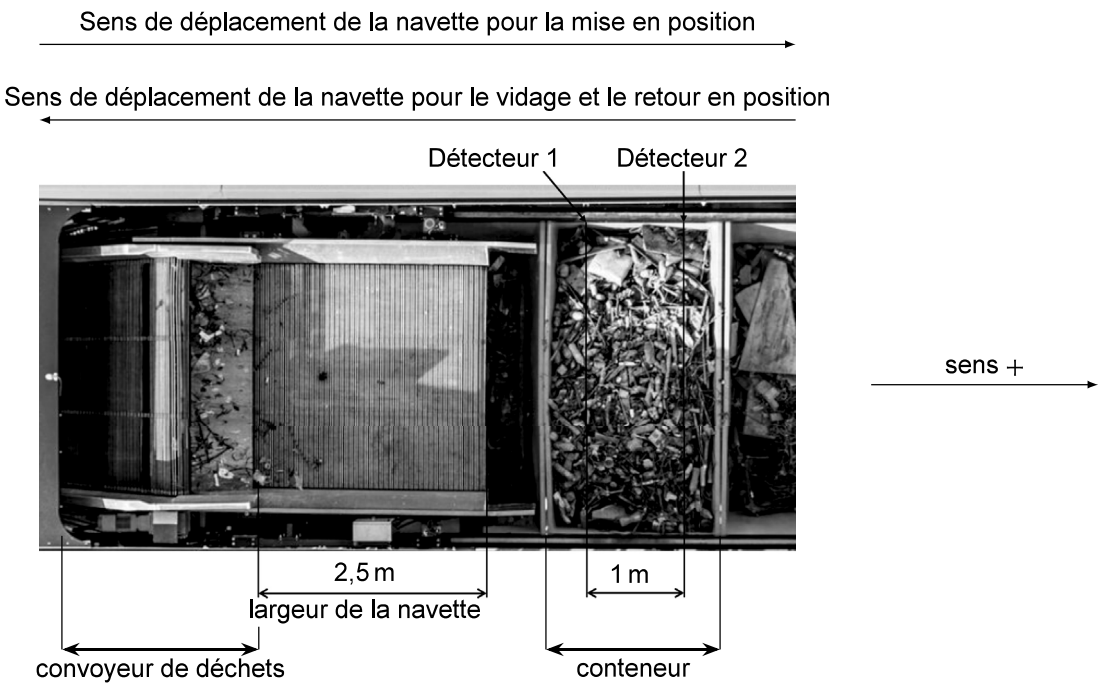


Figure 20 - Dimensions principales et constituants de la navette

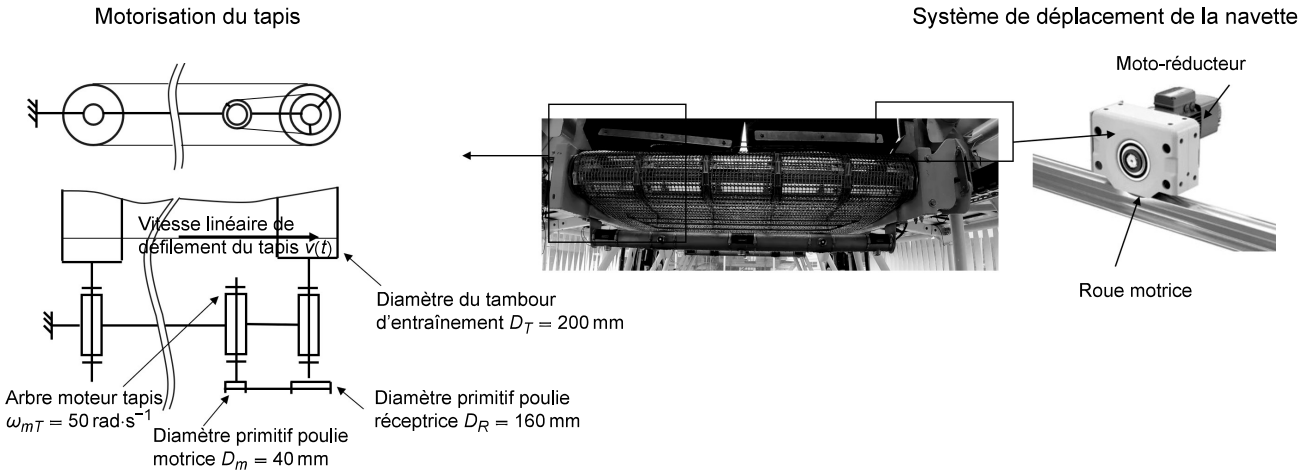


Figure 21 - Motorisation du tapis et système de déplacement de la navette

- Les activités :
  - le déplacement de la navette à vitesse rapide sera noté Vr+ dans le sens + et Vr- dans le sens − ;
  - le déplacement de la navette à vitesse lente sera noté Vl+ dans le sens + et Vl- dans le sens − ;
  - le déplacement du tapis sera noté T+ et T- selon le sens.

Q34. Compléter le diagramme d'état du fonctionnement de la navette en utilisant les notations fournies. Les valeurs numériques des différentes vitesses ne sont pas attendues à ce stade.

Partie V - Autonomie du système

Objectif : vérifier le fonctionnemment en autonomie du système à l'aide de panneaux solaires.

V.1 - Détermination de l'énergie totale consommée par le système.

On donne sur le **DR** la courbe de la puissance consommée par le système sur 24 heures (les puissances instantanées sont lissées de manière à faciliter la lecture de la courbe) lors d'une journée de chargement extrême (flux important de déchets suite à des crues en amont).

Q35. Estimer l'énergie consommée par le système durant 24 heures. Faire apparaître sur la courbe du **DR** les tracés justificatifs nécessaires.

V.2 - Calcul de l'autonomie et du temps de recharge sous certaines conditions d'ensoleillement.

Les caractéristiques de l'ensemble batteries / panneaux solaires sont fournies ci-dessous :

- puissance instantanée maximale délivrée en sortie des panneaux : 5,6 kW ;
- capacité des batteries : 20 kWh ;
- type des batteries : lithium-ion.

Q36. En considérant qu'il n'y a aucune perte dans le transfert d'énergie batteries/système et une décharge maximale admissible des batteries de 80 %, déterminer si les batteries sont capables d'alimenter le système sans recharge pour les conditions d'utilisation définies précédemment durant 24 heures.

Un ensoleillement optimal permet aux panneaux d'émettre une puissance moyenne d'environ 60 % de leur puissance maximale. Sur une journée normale, cette puissance sera de l'ordre de 30 % de la puissance maximale.

Q37. Calculer le temps de charge minimal des batteries en considérant une efficacité de 80 % entre les panneaux solaires et les batteries (80 % de la puissance fournie par les panneaux solaires est transmise aux batteries). Calculer le temps de charge dans des conditions « normales ». Conclure.

Partie VI - Conclusion

« The Ocean Cleanup » est une jeune société en pleine expansion. Le projet « Interceptor » a débuté fin 2019 et on recense actuellement 15 « Interceptors » en fonctionnement à temps plein permettant d'extraire chacun 1 000 tonnes de déchets annuellement. Le coût d'un « Interceptor » (prenant en compte la réalisation, l'implantation, la création des infrastructures d'accueil) est de l'ordre de 5 millions d'euros. Le coût de traitement des déchets dans les pays développés où la part de déchets non recyclés entrant dans les océans est très faible est estimé à 200 euros par tonne. La pollution plastique issue des 1 000 rivières les plus polluantes (80 % de la pollution issue de l'ensemble des rivières, qui elle-même représente la quasi-intégralité de la pollution des océans) est estimée à environ 2 millions de tonnes de déchets par an.

Q38. En considérant en première approche une efficacité similaire des potentiels systèmes implantés, estimer le coût d'une implantation massive de systèmes « Interceptor » sur les 1 000 rivières afin d'empêcher la pollution de parvenir aux océans et le coût d'utilisation de filières de recyclage adaptées. Conclure sur les sommes mises en jeu.

FIN

IMPRIMERIE NATIONALE – 26 1019 – D'après documents fournis

CONCOURS COMMUN INP

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom : _____

Prénom : _____

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2026

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

PSI7SI

DOCUMENT RÉPONSE

Ce Document Réponse doit être rendu dans son intégralité.

Q1 - Secteurs économiques impactés. Coûts indirects

Q2 - Type d'apprentissage. Nom de la première phase. Rappel pour 20 000 objets

Q3 - Nom de la nouvelle phase. Justesse par matrice de confusion

Q4 - Intérêt de l'utilisation des données de toutes les rivières

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q5 - Détermination de V_{lim}. Vérification de la sous-exigence 2.1

Q6 - Détermination de $\omega_m(t)$ correspondante. Application numérique

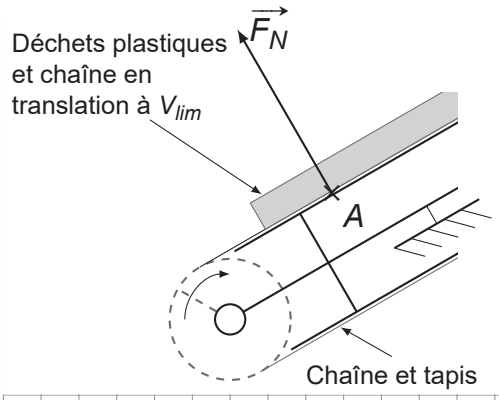
Q7 - Détermination de l'énergie cinétique des déchets plastiques ramenée sur l'arbre moteur

Q8 - Expression de la puissance de l'action du moteur

Q9 - Justification que la puissance de la pesanteur sur le système à vide est nulle

Q10 - Expression de la puissance des actions de pesanteur sur le flux de déchets plastiques

Q11 - Tracé de l'action tangentielle. Détermination de l'action normale. Expression de la puissance de l'action de frottement



Q12 - Expression de la puissance sous la forme $C_{Req}\omega_m$. Expression de C_{Req}

Q13 - Équation du mouvement

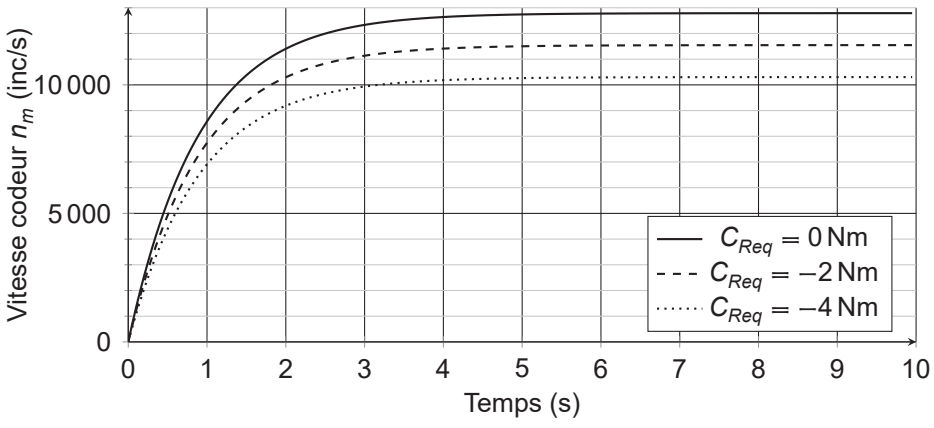
Q14 - Dimensionnement du moteur en phase de démarrage et en phase à vitesse constante

Q15 - Schéma-bloc de la structure d'asservissement

Q16 - Expression du gain K_A

Q17 - Expression du gain K_{COD}

Q18 - Identification de K_{pert} et $H_m(p)$



CONCOURS COMMUN

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2026

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

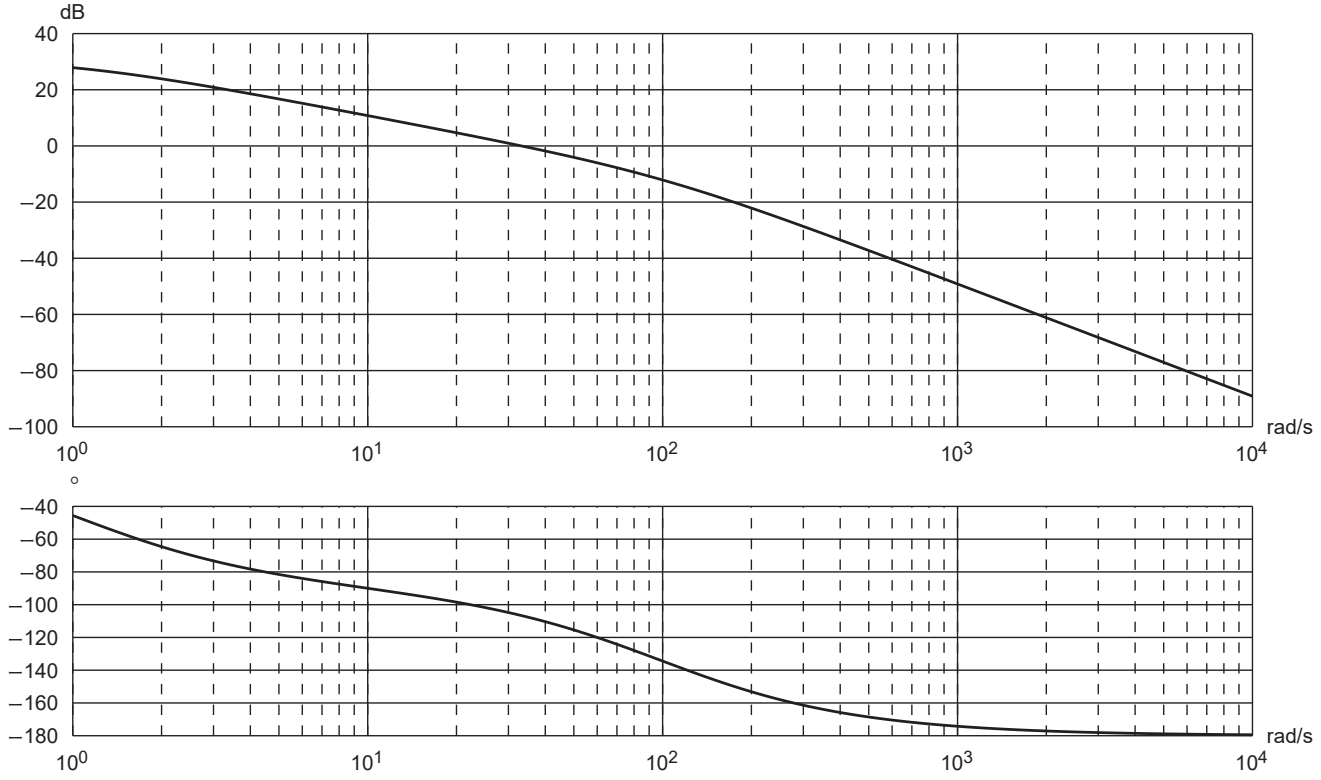
Q19 - Valeurs de K_P pour avoir une erreur statique inférieure ou égale à 1 %

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q20 - Expression du temps de réponse à 5 %. Application numérique et conclusion

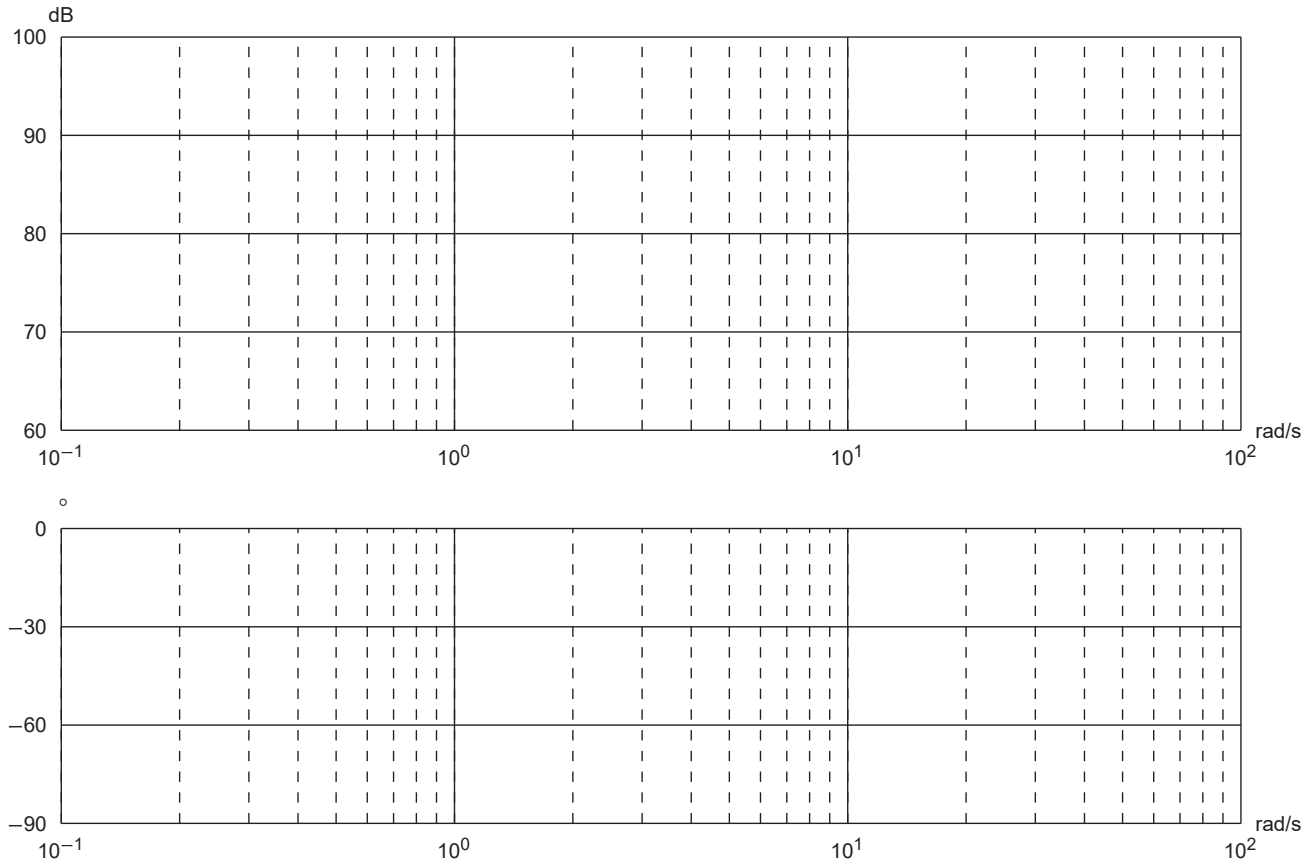
Q21 - Expression de l'erreur statique ajoutée par une perturbation en échelon de valeur C_{R0}

Q22 - Marge de phase et marge de gain. Valeur de K_P pour vérifier le cahier des charges

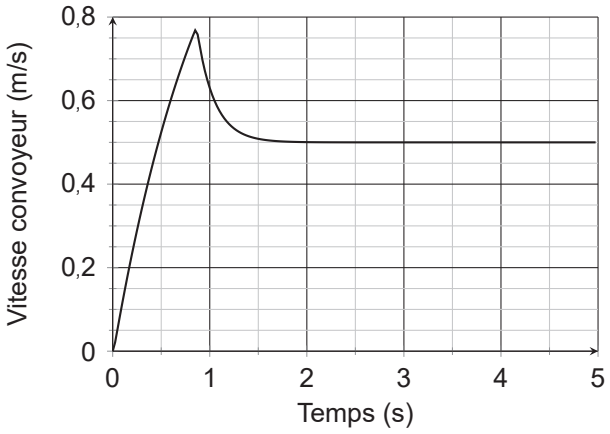


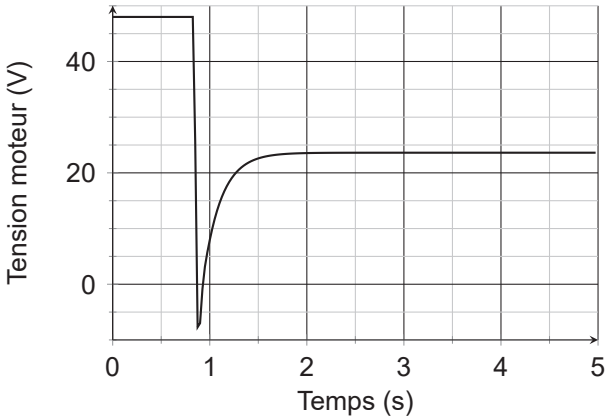
Q23 - Justification du correcteur

Q24 - Diagrammes de Bode du correcteur

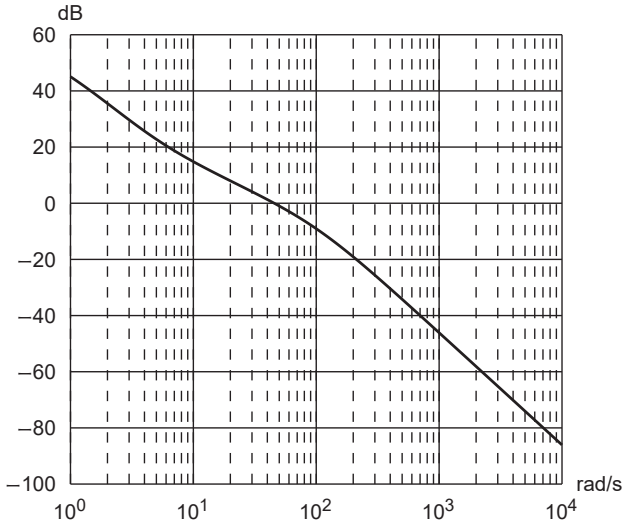


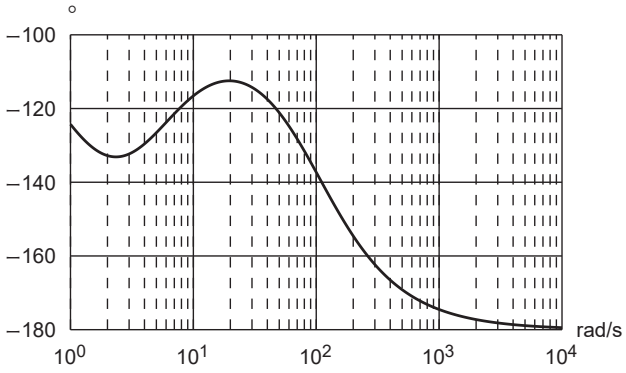
Q25 - Vérification du cahier des charges





Réponse temporelle





Diagrammes de Bode de la FTBO corrigée

Q26 - Intervalle de temps de la saturation. Grandeur saturée et valeur

Q27 - Expression de h_{lm}. Application numérique

CONCOURS COMMUN INP

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2026

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

Q28 - Décalage Δy_G. Application numérique

Q29 - Condition sur le centre de poussée C_{P_A}

Q30 - Expression de l'angle d'assiette. Enfoncement z pour un angle d'assiette de 0,01 rad

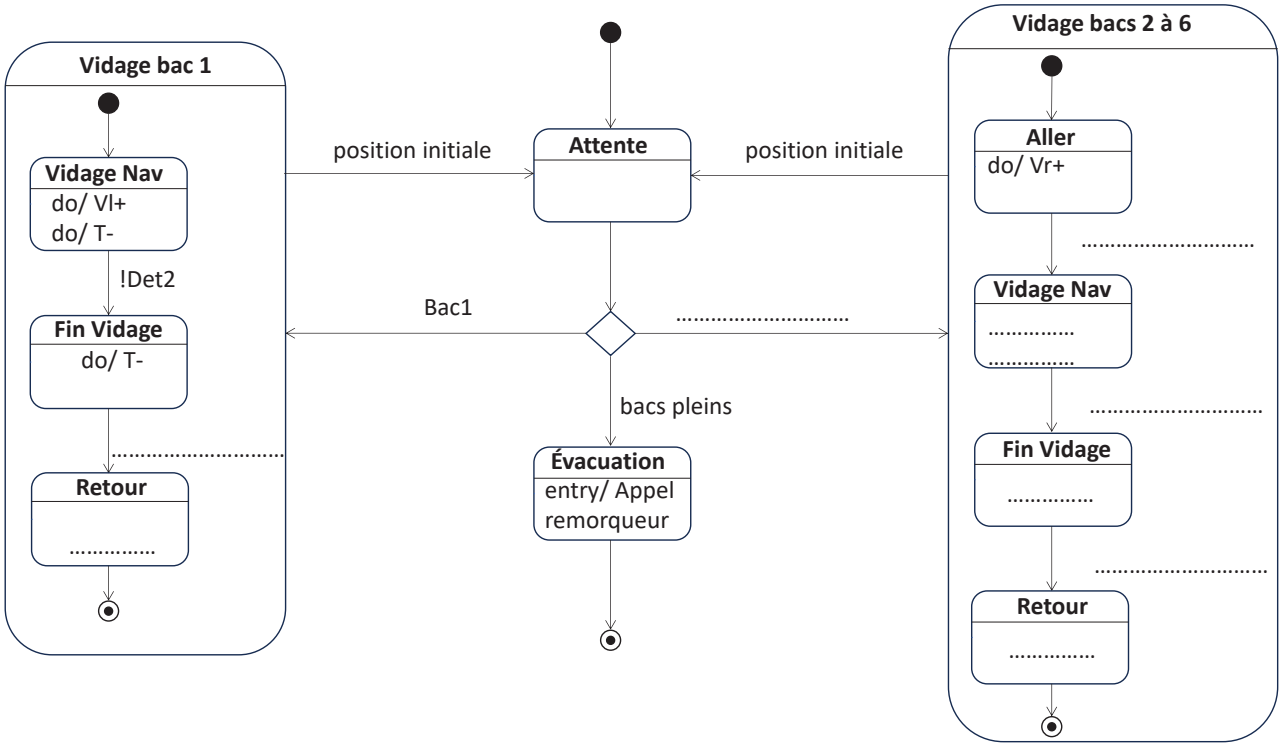
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q31 - Décalage du centre de poussée $\Delta y_{C_{P_A}}$ en fonction de z

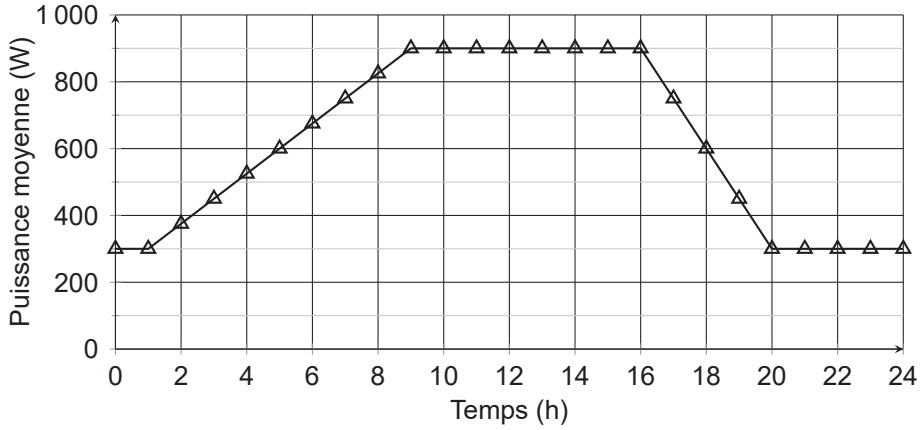
Q32 - Justification de la nécessité d'un système de régulation de la répartition des déchets

Q33 - Détermination de la vitesse lente de la navette

Q34 - Complétion des zones pointillées du diagramme d'état



Q35 - Estimation de l'énergie consommée en 24 heures



Q36 - Adéquation des batteries pour une utilisation durant 24 heures

Q37 - Temps de charge minimal des batteries. Temps de charge en conditions « normales ». Conclusion

Q38 - Estimation du coût d'une implantation massive. Conclusion

FIN

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Amplificateur linéaire intégré, stabilité et rétroaction
- Filtrage linéaire
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Géométrie des masses : centre d'inertie, matrice d'inertie, théorème de Huygens
- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/e3a/psi