

SESSION 2014

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
Option : ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION
Option : ÉNERGIE
OPTION : INFORMATION ET NUMÉRIQUE
Option : INGÉNIERIE MÉCANIQUE

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE DE SCIENCES INDUSTRIELLES

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Fauteuil « TopChair »

Dossiers remis aux candidats :

Sujet :	pages	1 à 15
Annexes :	pages	16 à 27

Documents Réponses : **pages 28 à 32**
DR1 à DR5 à remettre impérativement en fin
d'épreuve avec la copie.

Seules les calculatrices en conformité avec le référentiel du concours sont autorisées.

Le candidat est appelé à fournir toute hypothèse supplémentaire qu'il jugera nécessaire à la résolution du sujet.

Présentation

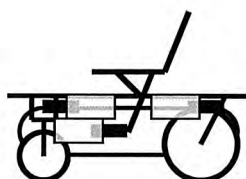


La loi du 11 février 2005 est l'une des principales lois sur les droits des personnes handicapées, depuis la loi de 1975. Elle réaffirme que les locaux d'habitation, les établissements accueillant du public, les lieux de travail notamment, doivent être accessibles (dans un délai maximum de 10 ans) aux personnes handicapées quels que soient les handicaps considérés.

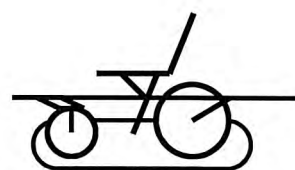
En 2013, deux ans avant l'échéance de mise aux normes, de nombreux bâtiments sont encore inaccessibles aux personnes à mobilité réduite, les obstacles majeurs étant souvent les escaliers à franchir. Le fauteuil « *TopChair* », permet d'y remédier, c'est un fauteuil roulant électrique qui a la particularité de pouvoir monter et descendre les escaliers grâce à son système de chenilles installées sous le fauteuil.

Ce dernier peut passer d'un « mode route » (bouton A), mode équivalent à un fauteuil roulant classique, à un « mode escalier » (bouton B), sur les chenilles, grâce à une combinaison d'actionneurs (vérins électriques). Ces vérins permettent de rentrer les trains avant et arrière et ainsi de se retrouver en configuration « mode escalier ». Une fois dans cette configuration, le fauteuil peut gravir les escaliers.

Un joystick permet à l'utilisateur de choisir sa direction de déplacement, en délivrant une commande variable pour les moteurs à courant continu.



« mode route »

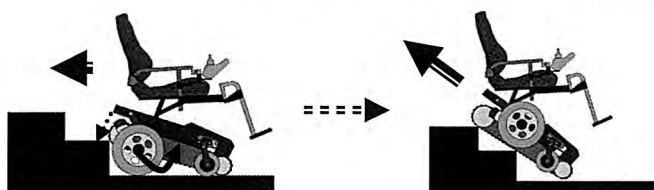


« mode escalier »

Pour permettre l'automatisation de ce fauteuil, une carte électronique gère la commande des vérins et dérive la puissance envoyée par le joystick sur les moteurs des roues ou des chenilles (en fonction du mode choisi). Des capteurs infrarouges sont positionnés à divers endroits du fauteuil. Ils permettent de détecter les marches d'escaliers dans les différentes situations afin d'automatiser le fauteuil (rentrée, sortie des trains avant/arrières).

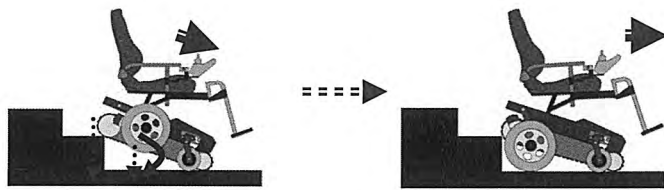
Situations de fonctionnement

- en bas de l'escalier
- détection à la montée en bas des escaliers



Le capteur à l'arrière permet de détecter le nez de la première marche à la montée. Lorsque le capteur détecte une distance plus faible qu'un seuil programmé, le train arrière rentre.

- détection à la descente en bas des escaliers

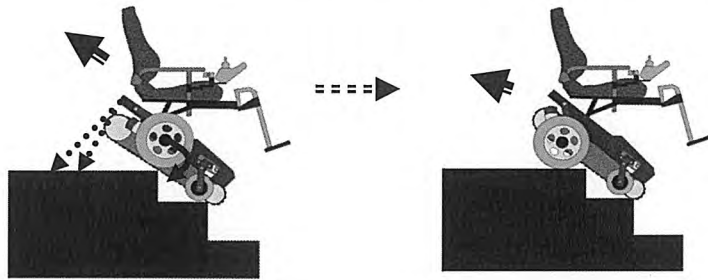


Les capteurs à l'arrière et au milieu permettent de détecter la fin de l'escalier à la descente. On compare les mesures de ces deux capteurs avec des seuils qui dépendent de l'angle du châssis.

Le fait d'intégrer l'angle du châssis

dans cette étape, permet au fauteuil d'être automatisé dans les différents types d'escaliers.

- en haut de l'escalier
- **détection à la montée en haut des escaliers**

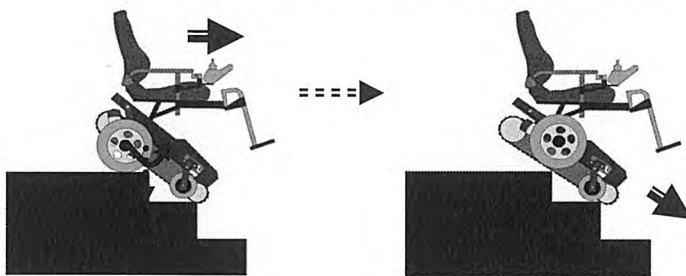


Les deux capteurs à l'arrière permettent de détecter la fin de l'escalier à la montée. De même que pour l'étape précédente, on compare les mesures de ces deux capteurs avec des seuils qui dépendent de l'angle du châssis.

Le capteur du milieu permet de détecter l'entrée dans un escalier

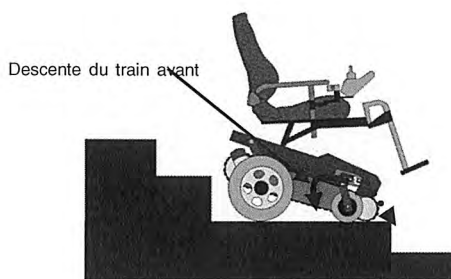
par le haut, le capteur détecte le nez de marche. On compare la valeur mesurée avec un seuil programmé.

- **détection à la descente en haut des escaliers**



On notera qu'un dernier capteur placé à l'avant permet de détecter un escalier devant le fauteuil, il garantit la sécurité afin que le fauteuil ne puisse pas sortir le train avant lorsqu'il se trouve sur un palier devant une autre série de marches

- **sécurité palier**



Maintien de l'horizontalité du siège

Enfin, le siège est maintenu en position horizontale dans les escaliers afin de garantir la stabilité de l'utilisateur dans les escaliers.

L'étude qui suit permettra de valider les choix de la société « TopChair » pour assurer l'autonomie d'une personne à mobilité réduite lors de ses déplacements dans une journée en milieu urbain, tout en respectant les contraintes liées à la législation, la conception, la réalisation, l'utilisation, l'environnement, la maintenance...

Enfin, la solution retenue par le constructeur permettant de récupérer des données du fauteuil dans le but d'en assurer la maintenance sera validée.

On conclura sur l'autonomie de la personne à mobilité réduite prise dans l'exemple.

Partie 1. Modélisation SysML : analyse du système

Objectif : identifier les principaux constituants du système en utilisant la documentation fournie ainsi que son modèle SysML. Une aide simplifiée sur ce langage est fournie en annexe 1.

Question 1 : en croisant les informations issues du diagramme d'exigences (annexe 2) ainsi que du document constructeur (annexe 6), donner les performances attendues sur le plat (distance parcourable en autonomie) et le nombre de marches que le fauteuil peut gravir.

Question 2 : en utilisant le diagramme de définition de blocs (annexe 3), nommer les 4 parties du système (blocs sous-jacents) contenant au moins un actionneur ; donner leur multiplicité.

Question 3 : pour chacune des parties, nommer les différents composants qui la composent, en déduire le nombre de vérins et de moteurs contenus dans le siège ; comparer cette valeur à celle du nombre d'interfaces de puissance. Conclure.

Question 4 : en regardant le bloc Sous-système Commande, nommer les éléments permettant à l'utilisateur d'interagir avec le fauteuil ainsi que l'élément permettant de contrôler l'ensemble du fonctionnement du fauteuil.

Partie 2. Vérification de la conformité du fauteuil par rapport à la législation

Objectif général : dans le but d'une homologation, vérifier que le système répond aux exigences imposées par la loi du 11 février 2005 (annexe 4) et aux spécifications techniques des véhicules pour handicapés physiques (annexe 5).

Données :

diamètre de roue arrière	$D_1 = 0,355 \text{ m}$
diamètre de roue avant	$D_2 = 0,200 \text{ m}$
masse (fauteuil : 140 kg et passager : 70 ou 80 kg)	$m = 210 \text{ ou } 220 \text{ kg}$
centre de gravité de l'ensemble : G (la variation de sa position pour les différentes masses de passager sera négligée)	
hauteur du centre de gravité G par rapport au sol	$h = 0,61 \text{ m}$
distance horizontale du centre de gravité G par rapport à l'axe de la roue arrière	$a = 0,16 \text{ m}$
empattement	$b = 0,560 \text{ m}$
résistance au roulement d'une roue arrière	$\delta_1 = 0,004 \text{ m}$
résistance au roulement d'une roue avant	$\delta_2 = 0,002 \text{ m}$
coefficient de frottement des roues avant et arrière	$f = 0,7$
pente du sol	$- 0,15 \leq \sin(\alpha) \leq + 0,15$

Question 5 : en supposant que les charges sont identiques sur les roues droite et gauche, mettre en place sur le document réponse DR1 :

- les points D_s et E_s d'application des actions de contact avec le sol en tenant compte des résistances au roulement ;
- les données dimensionnelles ;
- l'action de pesanteur ramenée au centre de gravité ($P/2$) ;
- les actions de contact du sol sur les roues arrière (composantes normale N_{D_s} selon \bar{z}_1 et tangentielle T_{D_s} selon \bar{y}_1) et avant (composantes normale N_{E_s} selon \bar{z}_1 et tangentielle T_{E_s} selon \bar{y}_1).

Question 6 : par rapport à la législation, indiquer les conditions les plus contraignantes concernant le démarrage, le freinage et l'immobilisation en pente.

Objectif : vérifier que les groupes motoréducteurs de roues motrices arrière (annexe 7) permettent le démarrage sur une pente de 15% avec un passager de masse maximale 70 kg.

Question 7 : déterminer les actions de contact du sol sur les roues (N_{D_s} , T_{D_s} , N_{E_s} et T_{E_s}) en fonction des données et faire l'application numérique ; en déduire le couple en sortie de réducteur C_r sur une roue arrière ; conclure quant à l'objectif ci-dessus.

Objectif : vérifier que les groupes motoréducteurs des roues arrières (annexe 7) permettent le freinage sur une pente inclinée de 15% avec un passager de masse maximale 80 kg, à la vitesse maximale V_m de 9 km/h en respectant la distance d'arrêt.

Question 8 : déterminer la décélération, supposée constante, en phase de freinage pour l'objectif à atteindre ; en négligeant la résistance au roulement, proposer une méthode de calcul permettant de vérifier que le couple de freinage des groupes motoréducteurs arrière est suffisant ; le vérifier et conclure quant à l'objectif ci-dessus.

Partie 3. Vérification de l'autonomie annoncée par le constructeur

Objectif : vérifier l'autonomie annoncée par le constructeur en mode route dans les conditions de route plate goudronnée, à vitesse constante de 7 km/h et pour un passager de 80 kg.

Afin de faire une simulation, par la suite, du système de commande d'un moteur de roue arrière permettant de vérifier l'autonomie en mode route, il est nécessaire d'en trouver au préalable certaines caractéristiques non fournies dans la documentation du fournisseur. Pour cela, les données du fournisseur d'un motoréducteur de roue arrière à courant continu et à aimants permanents seront utilisées (annexe 7).

On supposera, dans les questions 9 à 12, que le motoréducteur travaille dans les conditions nominales et à vitesse constante.

Question 9 : déterminer la vitesse nominale du fauteuil ; la comparer avec la documentation technique du constructeur ; commenter.

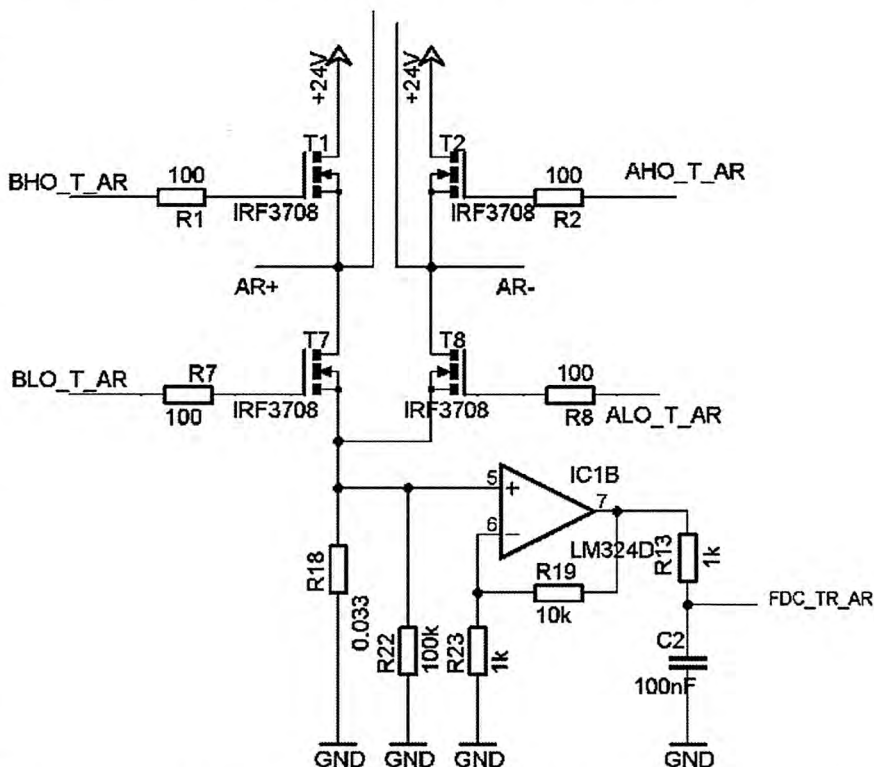
Question 10 : déterminer l'intensité nominale absorbée par le moteur et la perte de tension due à la résistance de l'induit ; en déduire littéralement la force électromotrice disponible et la constante de force électromotrice du moteur.

Question 11 : déterminer la constante de couple du moteur ; la comparer avec la valeur calculée précédemment et commenter.

Question 12 : déterminer les puissances utiles sur l'arbre du moteur et l'arbre du réducteur ; en déduire les rendements du réducteur puis de l'ensemble motoréducteur dans les conditions nominales de fonctionnement.

La détermination des caractéristiques manquantes dans la documentation du fournisseur du motoréducteur de roue arrière a permis de réaliser une simulation de la commande d'un moteur qui se fait par un pont en H classique et dont la structure est la suivante :

- les entrées des ponts sont reliées à un composant intégré de référence HIP4082 ;
- une simulation du comportement en commutation du transistor IRF3708 a été réalisée en utilisant son modèle exact SPICE (modèle physique) ;
- la simulation a été faite en utilisant les caractéristiques du moteur entraînant une roue arrière. La fréquence de hachage est de 20 kHz. On a supposé que le fauteuil roulait à une vitesse de 7 km/h et que la personne sur le fauteuil avait le poids maximum autorisé.



Question 13 : en utilisant le relevé des courbes fourni en annexe 9, déterminer le courant moyen, le rapport cyclique et la puissance moyenne consommée.

La simulation donne une puissance dissipée moyenne de 0,18 W pour le transistor.

Question 14 : sachant que le pont fonctionne en demi-onde, déterminer le rendement complet du pont selon cette simulation ; conclure sur l'interprétation de ce résultat.

Les résultats de la simulation ont donné les valeurs suivantes :

- 260,72 rad/s pour la vitesse de rotation en sortie d'un moteur ;
- 17,6 V pour la force contre-électromotrice au niveau d'un moteur ;
- 4,75 A pour le courant moyen d'induit pour un moteur.

Question 15 : sachant que le stockage de l'énergie est réalisé à l'aide de deux batteries au gel M34SLDG montées en série (annexe 8), déterminer l'autonomie, en temps et en distance, du fauteuil dans ces conditions ; commenter par rapport aux données du constructeur (annexe 6).