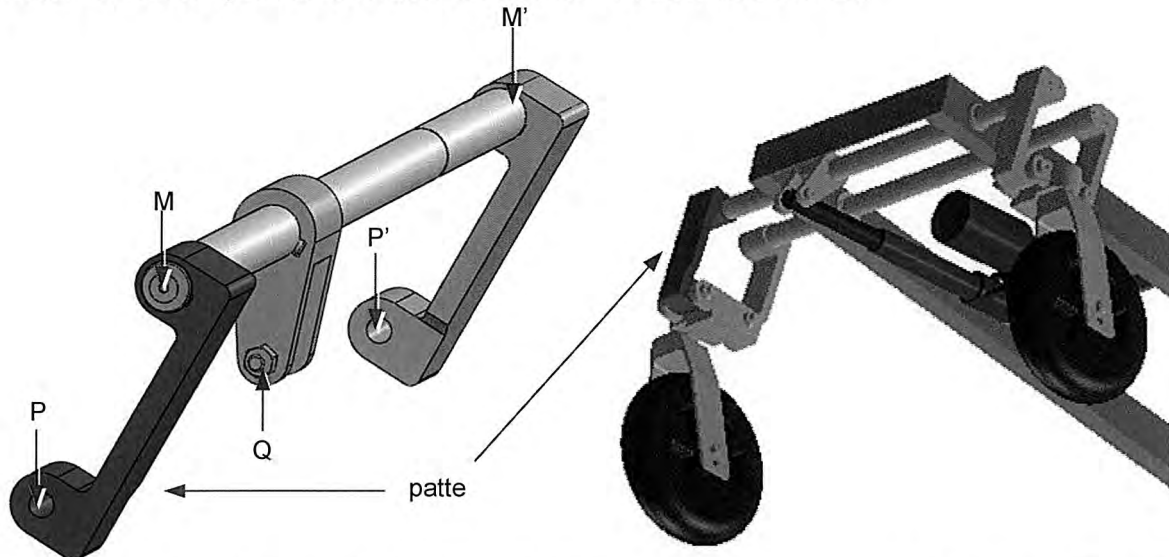


Partie 4. Étude du dispositif d'escamotage du train avant

Objectif : mettre en évidence l'élément dimensionnant (zone la plus sollicitée) de la patte.

Afin de passer en « mode escalier », pour accéder à la maison de son ami, un vérin agit sur une patte et permet de rentrer le train avant.

Le modèle volumique et le document réponse DR2 représentent le dispositif permettant d'escamoter les deux roues avant du fauteuil, escamotage utile aux abords d'un escalier, pour faire en sorte que les chenilles soient en contact avec le sol.



La position représentée sur le document réponse DR2 correspond à l'instant de perte de contact de la roue avec le sol dans le cas de l'escamotage (ou celui de prise de contact de la roue avec le sol dans le cas du déploiement), instant que le concepteur du dispositif a jugé le plus critique pour le calcul de la résistance et le dimensionnement de la patte, une des pièces constituant la classe d'équivalence 7 (voir document réponse DR2).

Sur le document réponse DR2 est également tracée une action mécanique, caractérisant le glissement de l'action du sol sur la roue $I_{sol \rightarrow roue}$ appliqué en I, perpendiculaire au sol, et d'intensité considérée comme unitaire. L'évolution lente des positions mène à ne pas considérer les effets dynamiques. Le sol est supposé horizontal.

Question 16 : (Répondre sur le document réponse DR2 et sur copie) par une succession de constructions graphiques, tracer sur le document réponse DR2 l'action mécanique $\vec{P}_{6 \rightarrow 7}$, action mécanique appliquée en P par le solide 6 sur le solide 7 ; en déduire l'action mécanique $\vec{Q}_{4 \rightarrow 7}$ exercée par le corps du vérin 4 sur le solide 7 en Q.

Question 17 : déterminer grâce à ces constructions graphiques le rapport $\frac{\|\vec{Q}_{4 \rightarrow 7}\|}{\|I_{sol \rightarrow roue}\|}$;

commenter.

Question 18 : (Répondre sur le document réponse DR3 et sur copie) tracer le ou les diagrammes des actions mécaniques de cohésion présentes dans la patte, entre le point P et le point M du modèle proposé ; prendre soin d'en préciser les valeurs extrémales ; désigner sur le modèle volumique de la patte présent sur le document réponse DR3 la zone la plus susceptible d'atteindre ses limites de résistance en justifiant.

Partie 5. Vérification de la capacité de franchissement de pente maximale en « mode escalier »

Objectif : vérifier que le fauteuil « TopChair » est capable de gravir ces types d'escaliers.

L'expérience prouve qu'un escalier est agréable mais également sûr si les valeurs de hauteur de marche (h) et de giron (g), c'est-à-dire la profondeur de la marche correspondent à la formule suivante : $2h + g = 0,63$ m (relation de Blondel). Cette valeur de 0,63 m correspond à l'amplitude moyenne du pas humain qui est compris entre 0,60 m et 0,66 m. Ainsi, d'un point de vue physiologique, les dimensions pour un escalier intérieur de 29 cm pour un giron et 17 cm pour une hauteur de marche considérées comme dimensions idéales résultent de cette formule (cas de l'escalier de l'entrée de son ami).

D'autres paramètres caractérisent les marches d'un escalier et participent au confort et à l'esthétique de ce dernier.

Certaines côtes minimales sont imposées pour les équipements recevant du public (ERP) ou pour les escaliers communs d'habitations collectives. Par exemple dans les ERP :

- largeur minimale du giron de 0,28 m ;
- hauteur maximale des marches de 0,16 m ;
- garde-corps obligatoire de part et d'autre pour les escaliers de plus de trois marches.

Dans les habitations collectives sans ascenseur, l'accès aux étages doit se faire par un escalier conforme aux prescriptions suivantes : largeur minimale de 1,20 m, hauteur des marches de 0,17 m maximale et giron des marches de 0,28 m minimum.

Question 19 : montrer que le fauteuil « TopChair » est capable de gravir ces types d'escaliers.

Partie 6. Validation de la solution choisie pour garantir le maintien du passager sur son siège

Objectif général : valider les solutions choisies pour garantir le maintien du passager sur son siège au cours des différentes phases d'utilisation, ainsi que d'en trouver les limites.

Dans le « mode escalier », un vérin permet de garantir l'horizontalité du siège.

Le maintien est abordé selon deux aspects :

- le non basculement du fauteuil roulant dans sa totalité (il s'agit ici du basculement avant ou arrière, et non du basculement latéral) ;
- le non glissement du pilote sur son siège.

Objectif : vérifier l'équilibre du fauteuil dans certaines situations critiques, et commenter les solutions et les contraintes constructives.

Le fauteuil roule sur un plan incliné d'un angle α avec l'horizontale.

L'angle α est tel qu'il est positif quand l'avant du fauteuil regarde vers le bas de la pente. Le modèle plan choisi précédemment est utilisé.

Les effets dynamiques sont considérés, mais l'inertie des 4 roues est négligeable.

Les solides y compris les roues sont considérés comme indéformables dans cette partie.

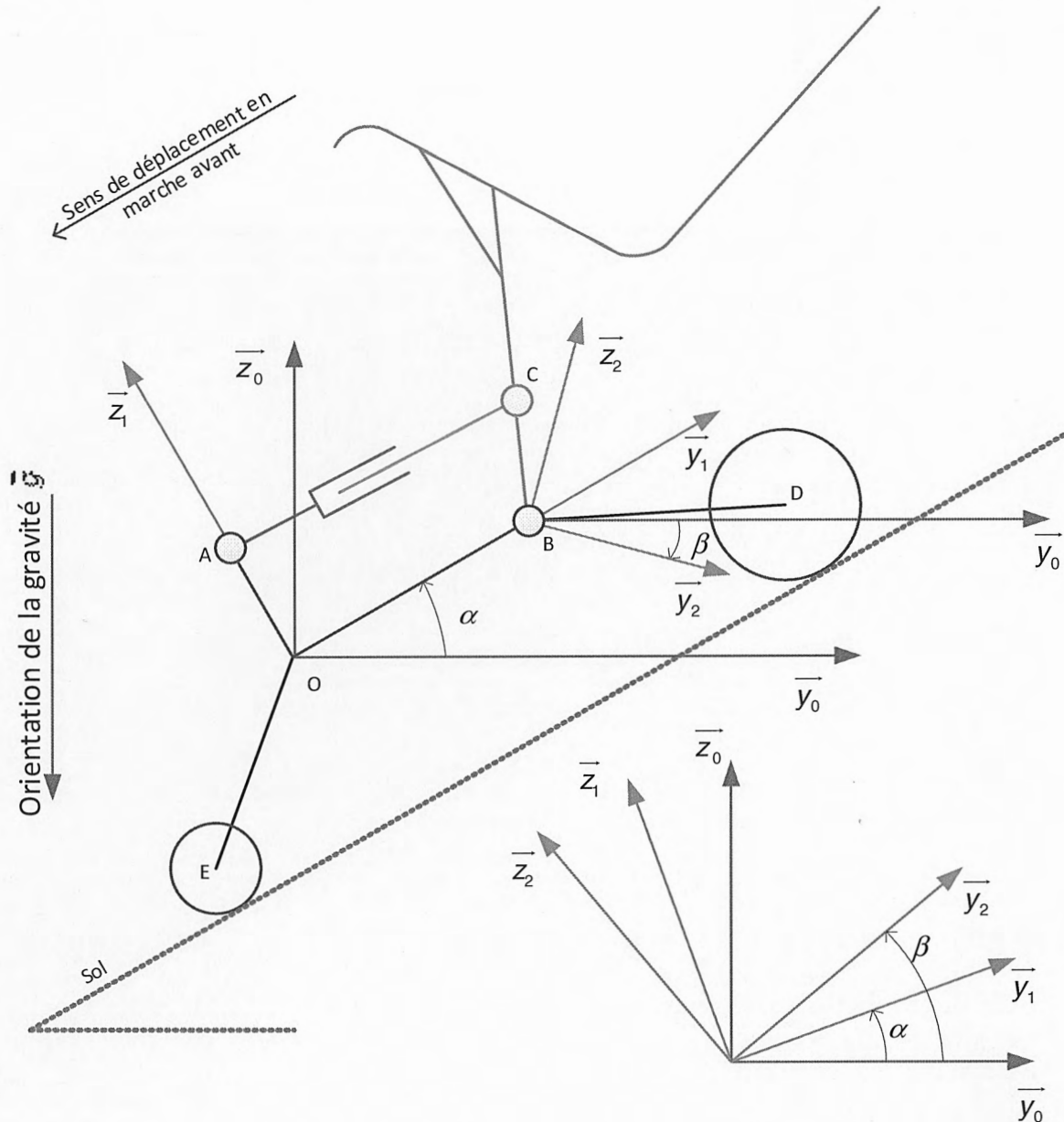
Le fauteuil transporte une personne de 80 kg telle que la masse totale sera notée m .

L'évolution du fauteuil peut être décrite par 3 qualificatifs :

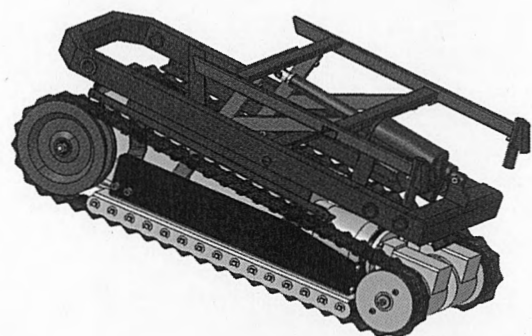
- en montée ou en descente ;

- en accélération motrice sous l'action des roues (mode route) ou des chenilles (mode escalier) ou en décélération par freinage sous l'action des roues ou des chenilles ;
- en marche avant ou en marche arrière.

Le constructeur propose une cinématique simple, à une seule mobilité entre le siège et le châssis, dont voici le schéma :



Question 20 : (Répondre sur le document réponse DR1) parmi les 8 possibilités d'évolution du fauteuil, lesquelles sont susceptibles de mener le fauteuil à un basculement arrière ou avant autre qu'un basculement statique (sous l'action unique de la gravité)? Compléter le tableau du document réponse DR1 par « Risque de basculement arrière », « Risque de basculement avant » ou « Pas de risque ».



Remarque : le basculement avant est le basculement vers l'avant du fauteuil, et correspond à un soulèvement de l'arrière du fauteuil.

L'étude sera limitée au mode escalier. L'élasticité des chenilles et la longueur de celles-ci par rapport à l'espacement entre deux nez des marches d'un escalier permettent de modéliser les actions mécaniques par deux glisseurs appliqués aux points d'appui des roues crantées qui entraînent les chenilles (non représentées) sur le sol, chacun de ces deux glisseurs ayant le potentiel d'être moteur. Dans cette situation, l'étude se ramène à celle d'un chariot dont la motricité et le freinage sont partagés entre toutes les roues.

Question 21 : sur laquelle des quatre composantes de deux glisseurs faut-il raisonner et quelle condition faut-il vérifier pour mettre en évidence le risque de basculement du fauteuil ?

Toujours en mode escalier (on notera η le rendement de la transmission de puissance entre l'arbre d'une roue qui entraîne les chenilles et le sol, on notera R_{Dc} le rayon de cette roue).

Question 22 : en appliquant le théorème de l'énergie cinétique au fauteuil complet, déterminer la relation entre la somme des couples exercés sur les arbres des roues par la motorisation ou les freins et l'accélération $\overline{\Gamma_{G \text{ fauteuil} / \text{ sol}}} = \Gamma_{G \text{ fauteuil} / \text{ sol}} \cdot \overline{y_1}$, en fonction de la pente.

Le graphe présent sur le document réponse DR4, en plus des accélérations limites conduisant au basculement, présente la courbe des accélérations de freinage accessibles. La valeur de l'accélération du fauteuil, moteurs en phase de freinage, en marche arrière, pour une pente nulle, est de $-5,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, et en sachant que, également pour une pente nulle, l'accélération du fauteuil, moteurs en phase motrice, en marche arrière est de $2,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question 23 : (Répondre sur le document réponse DR4 et sur copie) tracer sur le document réponse DR4 les courbes représentant l'accélération du fauteuil, moteurs en phase motrice en marche arrière, l'accélération du fauteuil, moteurs en phase de freinage en marche avant ainsi que l'accélération du fauteuil, moteurs en phase motrice en marche avant, en fonction de la pente.

En analysant ces tracés, identifier les situations à risque quant au basculement et conclure sur l'intérêt de la présence de la consigne d'horizontalité.

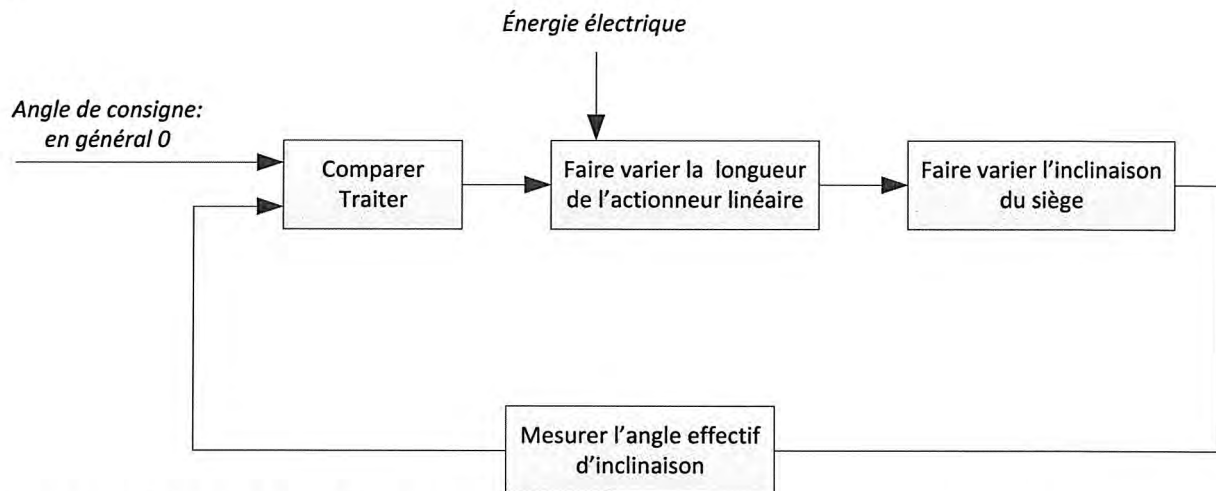
Question 24 : proposer une solution à envisager par le constructeur pour annuler ces risques. Dans le cas d'un freinage en marche arrière, quel est le couple maximal que doit imposer la somme des deux moteurs au niveau des roues qui entraînent les chenilles ?

Objectif : valider la solution choisie par le constructeur pour permettre le maintien horizontal du siège, en mode escalier.

Ce maintien participe à la fonction « garantir la sécurité et le confort du pilote » comme l'étude précédente a permis de la vérifier, il y contribue également en permettant au pilote de ne pas glisser du siège lorsque le fauteuil se déplace sur une pente. Cette fonction assure par ailleurs un réglage de confort pour l'utilisateur.

Description du sous-système répondant à la fonction : « Maintenir l'horizontalité du siège »
Après plusieurs essais mettant en place différentes solutions destinées à maintenir le siège du pilote horizontal, le concepteur a opté pour une solution asservie, dont le principe réside, dans l'action, par la variation de longueur d'un vérin, et dans la commande, par la comparaison continue entre une référence d'horizontalité absolue et l'angle effectif d'inclinaison du siège. Même si l'étude qui suit n'en tient pas compte, il est à noter que le pilote a la possibilité de faire varier ce réglage pour que le siège soit maintenu légèrement en arrière, ou légèrement en avant.

L'organisation des fonctions s'articule selon le schéma suivant :



La fonction « Comparer Traiter » :

- reçoit la consigne de l'utilisateur (en général siège horizontal soit une consigne d'angle nulle) sous forme d'un signal électrique ;
- reçoit l'image électrique de l'angle effectif d'horizontalité du siège ;
- élabore et émet le signal adéquat, c'est-à-dire réglé par rapport à un type de réaction du système souhaité et adapté à la grandeur qui permet d'agir sur la variation de longueur du vérin.

La fonction « Faire varier la longueur de l'actionneur linéaire » :

- reçoit un signal de la fonction « Comparer Traiter » ;
- envoie l'ordre de distribution de l'énergie pour mettre en mouvement l'actionneur linéaire et ce en accord avec le signal reçu.

La fonction « Faire varier l'inclinaison du siège » :

- reçoit une variation de longueur ;
- la transforme en une variation de l'inclinaison du siège.

La fonction « Mesurer l'angle effectif d'inclinaison » :

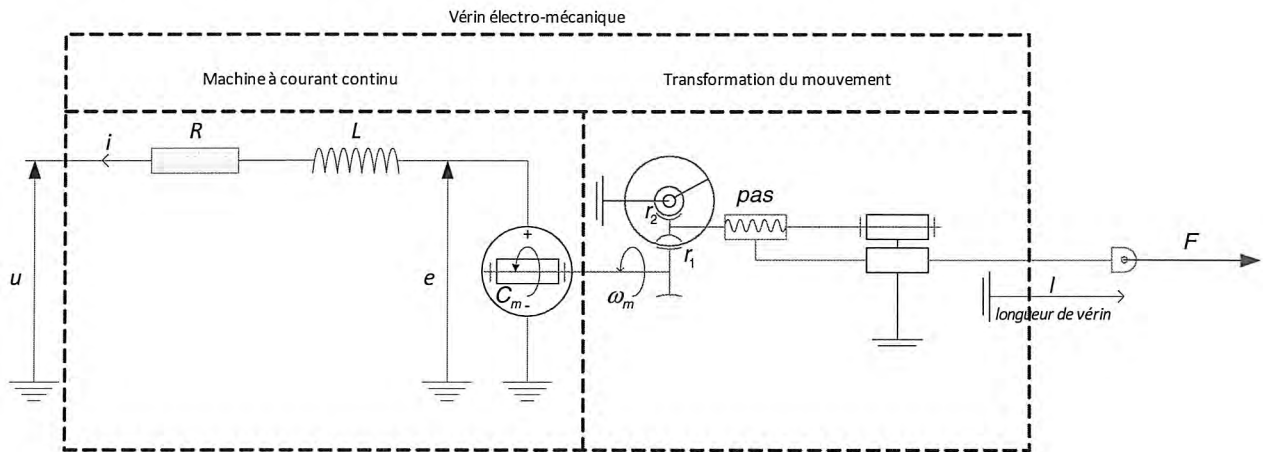
- mesure l'angle d'inclinaison effectif du siège de manière continue ;
- renseigne la fonction « comparer Traiter » de cet angle par l'intermédiaire d'un signal électrique adapté.

Modélisation de l'actionneur linéaire

Le vérin électro-mécanique est le composant choisi par le concepteur permettant de remplir la fonction « Faire varier la longueur de l'actionneur linéaire ». Une machine à courant continu, qu'on supposera être alimentée dans un premier temps par une tension continue u et traversée par un courant i , transforme la puissance électrique en une puissance mécanique caractérisée par son couple moteur C_m et la vitesse de rotation de son arbre de sortie ω_m selon les relations $C_m = K_T \cdot i$ et $e = K_e \cdot \omega_m$.

Le mouvement de sortie de la machine à courant continu est transformé une première fois par un dispositif roue et vis sans fin de rapport r_1 et de rendement η_1 , une deuxième fois par un autre dispositif roue et vis sans fin de rapport r_2 et de rendement η_2 et enfin par un

dispositif vis - écrou (à recirculation de billes, dont on négligera les pertes) caractérisé par son pas pour obtenir une variation de longueur notée l de l'actionneur linéaire.



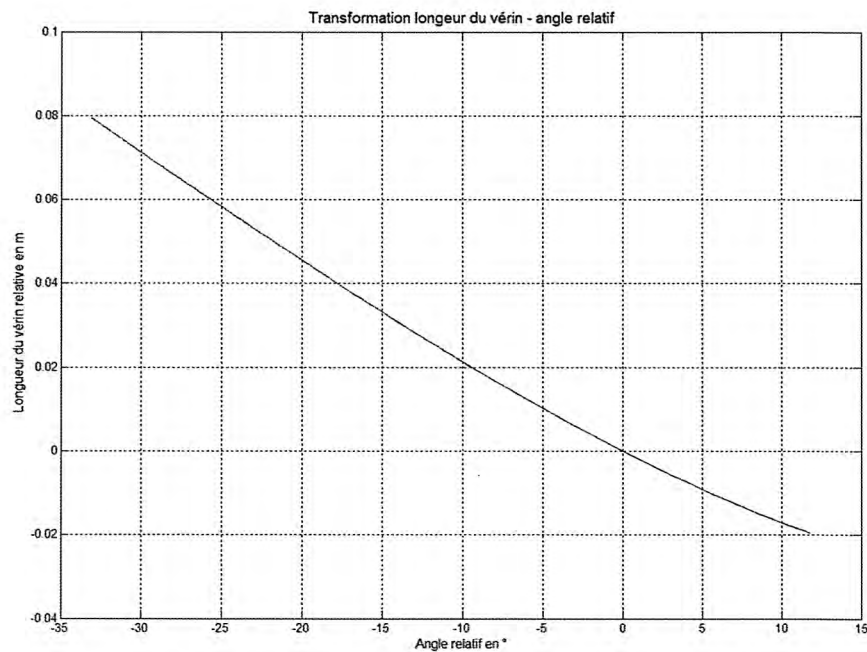
Question 25 : à partir d'une étude électrique et d'une étude mécanique, montrer qu'il est possible d'écrire les deux relations suivantes :

$$u = R \cdot i + L \cdot \frac{d}{dt} i + e \quad \text{et} \quad J_{eq} \cdot \dot{\omega}_m \cdot \omega_m = C_m \cdot \omega_m - \frac{F \cdot \dot{l}}{\eta_1 \cdot \eta_2}$$

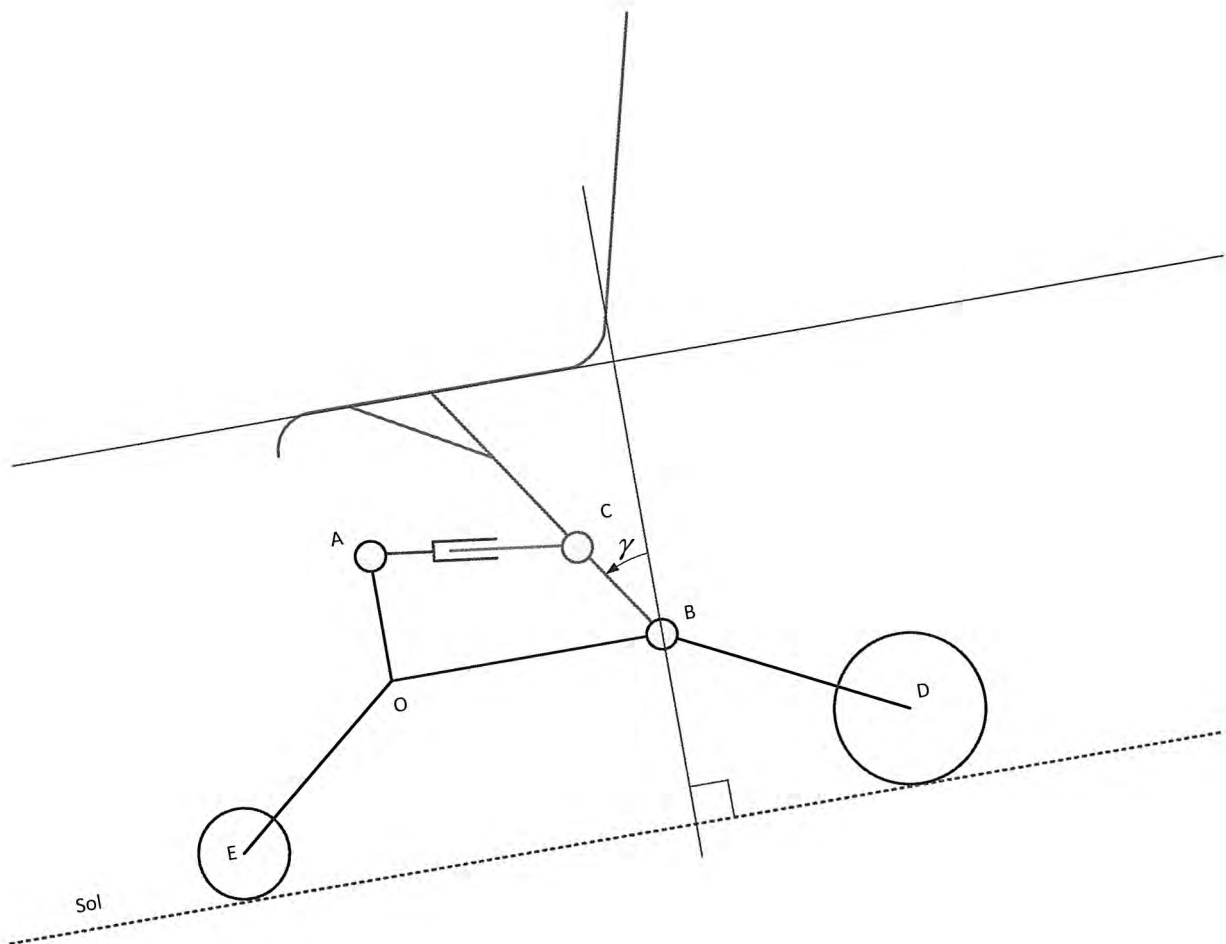
avec J_{eq} l'inertie équivalente des solides en mouvement ramenés sur l'arbre du moteur.

Modélisation de la transformation du mouvement entre la longueur de l'actionneur linéaire et l'inclinaison du siège

La courbe ci-contre traduit la cinématique choisie pour « faire varier l'inclinaison du siège ». Elle lie des grandeurs relatives, c'est-à-dire des grandeurs déclarées comme nulles lorsque le siège est parallèle au sol (position de référence).



L'angle relatif $\gamma_{relatif}$ est mesuré de la même manière que γ et la longueur du vérin notée $l_{relatif}$ est mesurée de la même manière que la distance $[AC]_{relatif}$.



Question 26 : par analyse de cette courbe, élaborer une relation de proportionnalité entre ces deux grandeurs relatives, autour de la position de référence, approchant au mieux la relation de transformation réelle.

La fonction « Comparer Traiter » sera modélisée par un gain K_F .

Modélisation du dispositif de maintien horizontal

L'objectif est de synthétiser sous forme de « schéma bloc » les relations mises au point dans les questions précédentes.

Le comportement du capteur d'angle effectif d'inclinaison du siège sera représenté par un gain K_c .

Question 27 : (Répondre sur le document réponse DR5 et sur copie) en tenant compte de la relation cinématique existant entre ω_m et l la longueur du vérin, opérer une transformée de Laplace des équations déduites des études temporelles précédentes, puis compléter le schéma bloc présent sur le document réponse DR5.

Amélioration de la stabilité

Avec K_e et K_T correspondants à la solution retenue, et en faisant une simulation pour $K_F=1$, puis $K_F=10$ et enfin $K_F=50$, le système présente une réponse fréquentielle tracée en annexe 11.

Les marges de stabilité ne sont pas jugées suffisantes (avec $K_F=10$ qui sera la valeur choisie par le constructeur pour des raisons de temps de réponse et de précision), les marges sont $M_\varphi = 9,94^\circ$ à $2,43 \text{ rad/s}$ et $M_G = 109 \text{ dB}$ à 4180 rad/s , et en particulier la

marge de phase que le concepteur voudrait voir atteindre est de 45° , tout en conservant une marge de gain de 100 dB.

Le concepteur souhaite insérer un correcteur permettant d'augmenter cette marge de phase, un correcteur sous la forme $C(p) = K_{cor} \cdot \frac{1 + a \cdot \tau \cdot p}{1 + \tau \cdot p}$ avec $a > 1$, qui sera implanté de manière à agir sur la grandeur $U(p)$.

Question 28 : déterminer, en fonction de K_{cor} , a et τ la pulsation pour laquelle la phase ajoutée par le correcteur est maximale et exprimer la valeur de cette phase maximale. En déduire la valeur numérique des paramètres K_{cor} , a et τ à choisir pour satisfaire les attentes du concepteur. Vérifier sur l'annexe 12 que l'objectif est atteint.

Partie 7. Maintenance à distance

Objectif : valider la solution du concepteur pour mettre en place une maintenance préventive, ceci afin d'améliorer la disponibilité du fauteuil pour son utilisateur.

Une estimation du temps d'utilisation du fauteuil est réalisée. Le fauteuil comptabilise le temps de fonctionnement de chaque mode d'utilisation, route et escalier, de la manière suivante :

- temps en mode route - une variable de 32 bits est incrémentée toutes les 3 minutes ;
- temps en mode chenille - une variable de 32 bits est incrémentée toutes les minutes ;
- nombre de marche montées - incrément à chaque marche dans une variable de 32 bits. Ceci permet de mieux apprécier l'état des chenilles dont l'usure est directement fonction du nombre de marches franchies.

Le temps de fonctionnement de chaque mode est mémorisé par le système dans une mémoire flash.

Question 29 : sachant que la période moyenne d'utilisation d'un fauteuil est de 5 ans, montrer que ces variables suffisent amplement pour stocker les temps cumulés d'utilisation du fauteuil ainsi que le nombre de marches franchies.

La récupération de ces informations se fait par le biais d'une liaison Ethernet/TCP/IP à l'aide d'un logiciel sur PC standard connecté directement au fauteuil par un câble croisé. Les fauteuils ont tous la même adresse IP à la fabrication, qui est 192.168.0.101 avec un masque de 255.255.0.0.

Question 30 : donner une adresse IP possible pour que l'ordinateur puisse communiquer avec le fauteuil. Justifier votre réponse.

Le fauteuil doit aller chez un réparateur agréé à intervalles réguliers pour faire un diagnostic complet du système.

Question 31 : sous forme de conclusion, expliquer en quoi les données stockées dans la mémoire vont aider le réparateur à maintenir au mieux le fauteuil.

Synthèse

Question 32 : conclure sur la validité des choix technologiques du constructeur pour assurer l'autonomie de la personne à mobilité réduite pour le parcours donné dans Tours.