

ACTIVITES DIRIGEES

-

REVISIONS DES SEQUENCES 4 A 6

Séquence 4 : modélisation cinématique

Séquence 5 : caractérisation des mouvements

Séquence 6 : modélisation et validation des performances cinématiques des systèmes multiphysiques

Sommaire

AD-1 : Manège Magic Arms	2
AD-2 : Porte automatique de TGV	5

AD-1 : Manège Magic Arms

Présentation

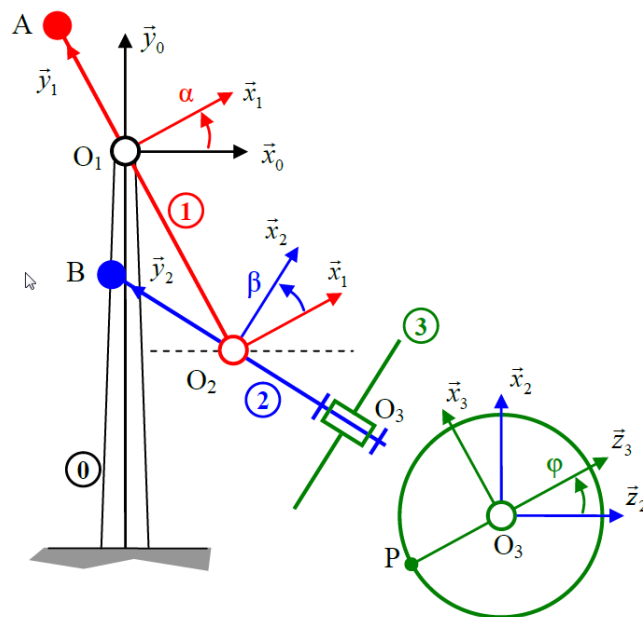
Le manège Magic-Arms est composé d'une structure métallique d'environ 12 m de haut avec deux bras mobiles.

Les passagers s'assoient sur 39 sièges disposés sur une plateforme tournante. Dès que tous les passagers sont assis et attachés, la nacelle tourne autour de son axe, le bras principal 1 et le bras secondaire 2, liés l'un à l'autre au début du cycle, commencent à tourner.

Après neuf secondes, le maximum de hauteur est atteint et les deux bras se désindexent et se mettent à tourner indépendamment l'un de l'autre.



La modélisation cinématique et le paramétrage du manège sont présentés ci-dessous :



Constituants et paramétrage :

- un bras principal 1 en liaison pivot parfaite d'axe $(O_1, \vec{z}_1)$ avec le bâti 0. On pose $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$ et $\overrightarrow{O_1 O_2} = -l_1 \vec{y}_1$.
- un bras secondaire 2 est en liaison pivot parfaite d'axe $(O_2, \vec{z}_2)$ avec le bras principal 1. On pose $\beta = (\vec{x}_1, \vec{x}_2)$ et $\overrightarrow{O_2 O_3} = -l_2 \vec{y}_2$.
- une nacelle 3, assimilée à un disque de centre O_3 et de rayon R , est en liaison pivot parfaite d'axe $(O_3, \vec{y}_2)$. On pose $\varphi = (\vec{z}_2, \vec{z}_3)$.
- un passager est considéré comme un point matériel P tel que $\overrightarrow{O_3 P} = -R \vec{z}_3$.

On donne ci-dessous un extrait de cahier des charges du manège:

Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
Faire ressentir des accélérations aux passagers	Accélération subie	2,5 g	maximum

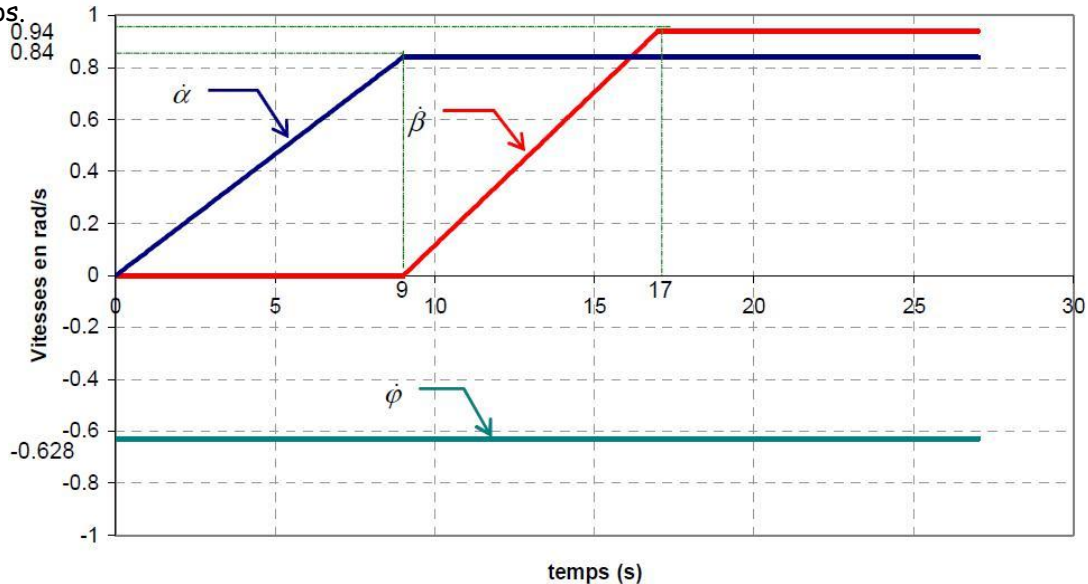
Objectif: Valider le critère du cahier des charges.

Travail demandé

Q1. Construire les figures planes de changement de base et indiquer sous chacune d'entre elles les vecteurs vitesse de rotation correspondants.

Q2. Déterminer l'expression du vecteur vitesse $\vec{V}_{P,3/0}$ du point P dans son mouvement par rapport au bâti 0.

On donne ci-dessous l'évolution des vitesses angulaires des moteurs du manège en fonction du temps.



Q3. Déterminer les valeurs des paramètres $\dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\varphi}$ dans l'intervalle de temps [17s;27s].

Q4. En déduire l'expression analytique des paramètres de position angulaire $\alpha(t)$, $\beta(t)$ et $\varphi(t)$ dans cet intervalle de temps en sachant qu'à l'instant $t=17s$, on a $\alpha = 10,5rad$, $\beta = 3,76rad$ et $\varphi = -10,68rad$.

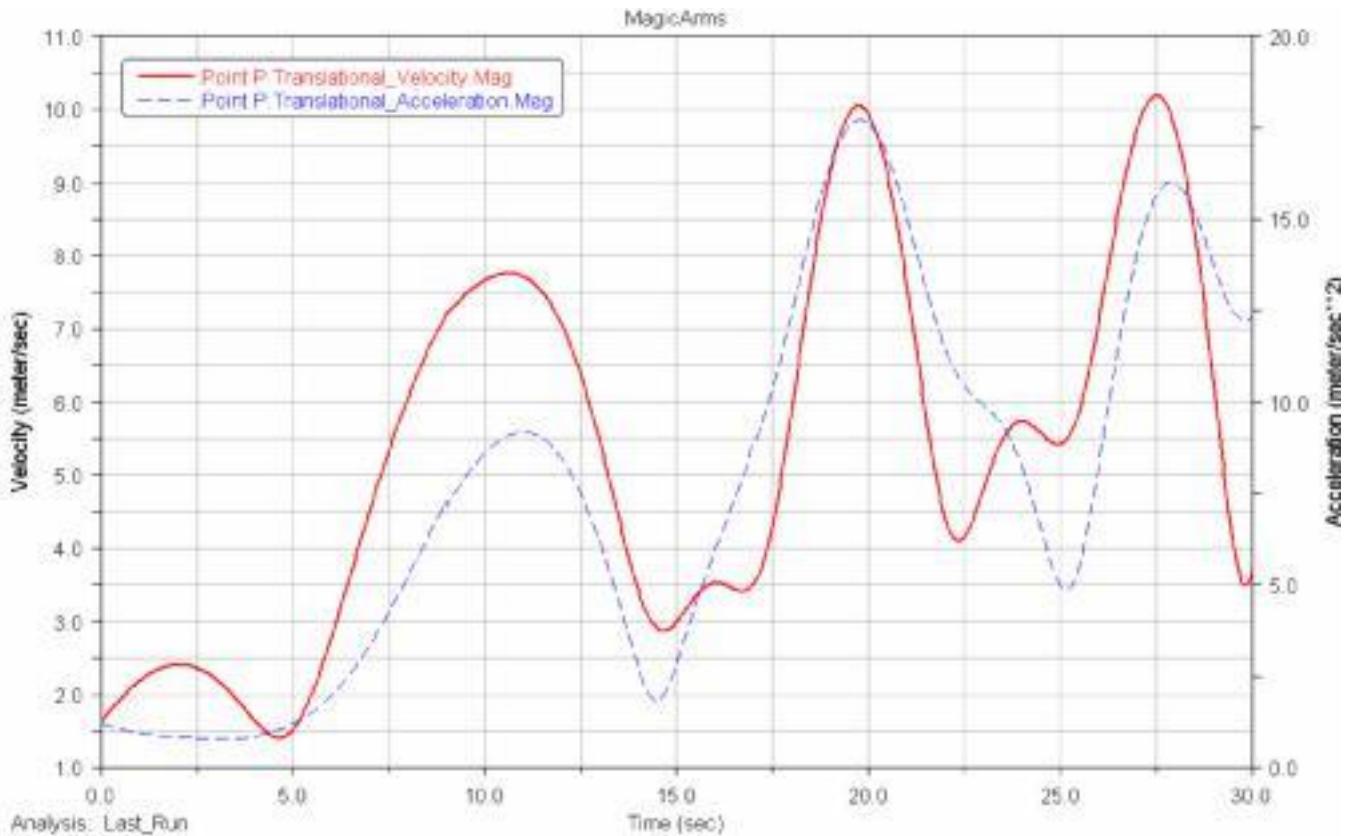
Q5. Déterminer, à partir des équations obtenues précédemment, les valeurs numériques à l'instant $t_1=19,8s$ de α , β et φ .

On pose $\vec{V}_{P,3/0} = V_{x2} \vec{x}_2 + V_{y2} \vec{y}_2 + V_{z2} \vec{z}_2$.

Q6. Déterminer les expressions littérales de V_{x2} , V_{y2} et V_{z2} . En déduire leurs valeurs numériques à l'instant $t_1=19,8s$. On prendra $l_1=3,9m$, $l_2=2,87m$ et $R=2,61m$.

Q7. Déterminer l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{\Gamma}_{P,3/0}$ du point P dans son mouvement par rapport au bâti 0 dans l'intervalle de temps [17s;27s] pendant lequel les vitesses angulaires sont constantes.

Le graphe ci-dessous, obtenu par simulation numérique, présente les normes de la vitesse et de l'accélération du passager par rapport au bâti 0 en fonction du temps.



Q8. Comparer à l'instant $t_1=19,8s$, les résultats obtenus à la question 6 de la simulation.

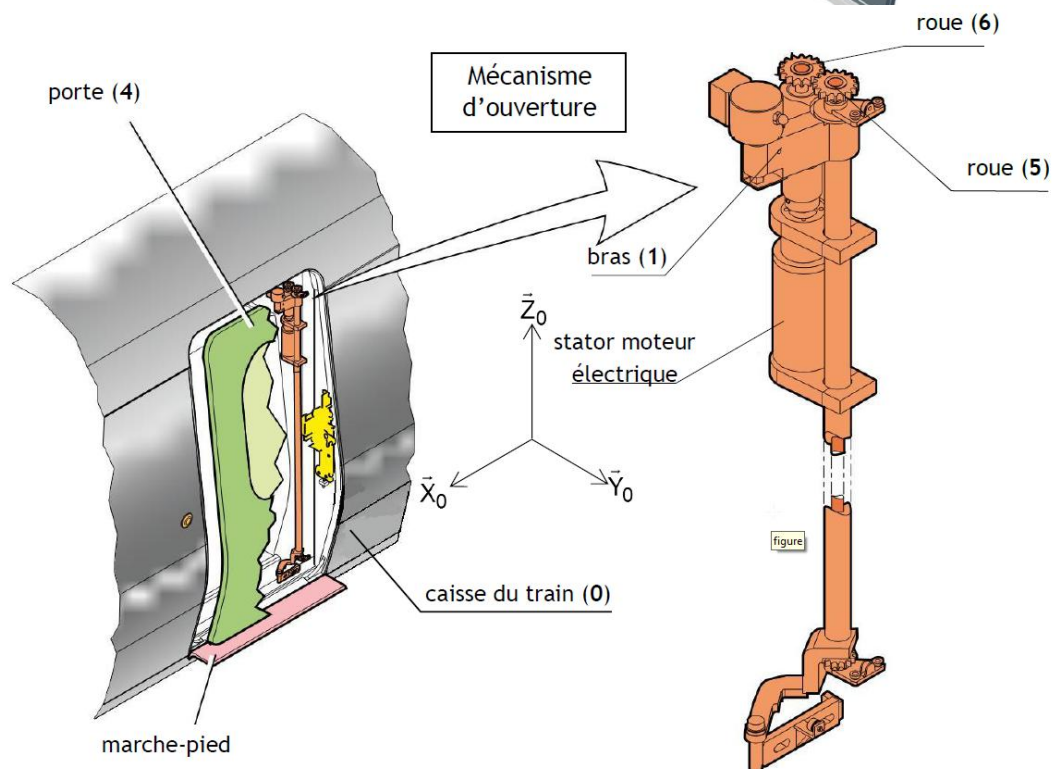
Q9. Relever l'accélération maximale subie par le passager et conclure vis-à-vis du cahier des charges.

AD-2 : Porte automatique de TGV

Présentation

On s'intéresse aux performances du système d'ouverture automatique des portes du TGV.

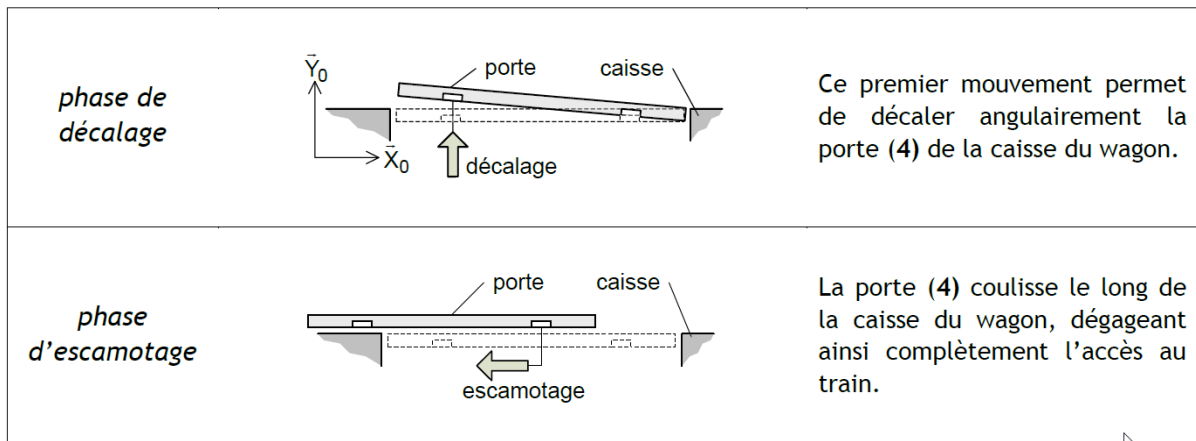
L'architecture et l'implantation du système étudié sont précisées sur la figure ci-dessous. On y distingue le mécanisme d'ouverture/fermeture dont la fonction est d'assurer l'accès au train en escamotant latéralement le panneau de porte.



Dans toute la suite du problème on se placera en phase d'ouverture de la porte.

Afin de satisfaire les contraintes d'encombrement, l'ouverture de la porte s'effectue selon l'enchaînement temporel de trois phases distinctes décrites à partir de la position 'porte fermée' pour laquelle la face extérieure de la porte est alignée avec la face extérieure de la caisse : une phase de décalage puis une phase de louvoiement et enfin une phase d'escamotage.

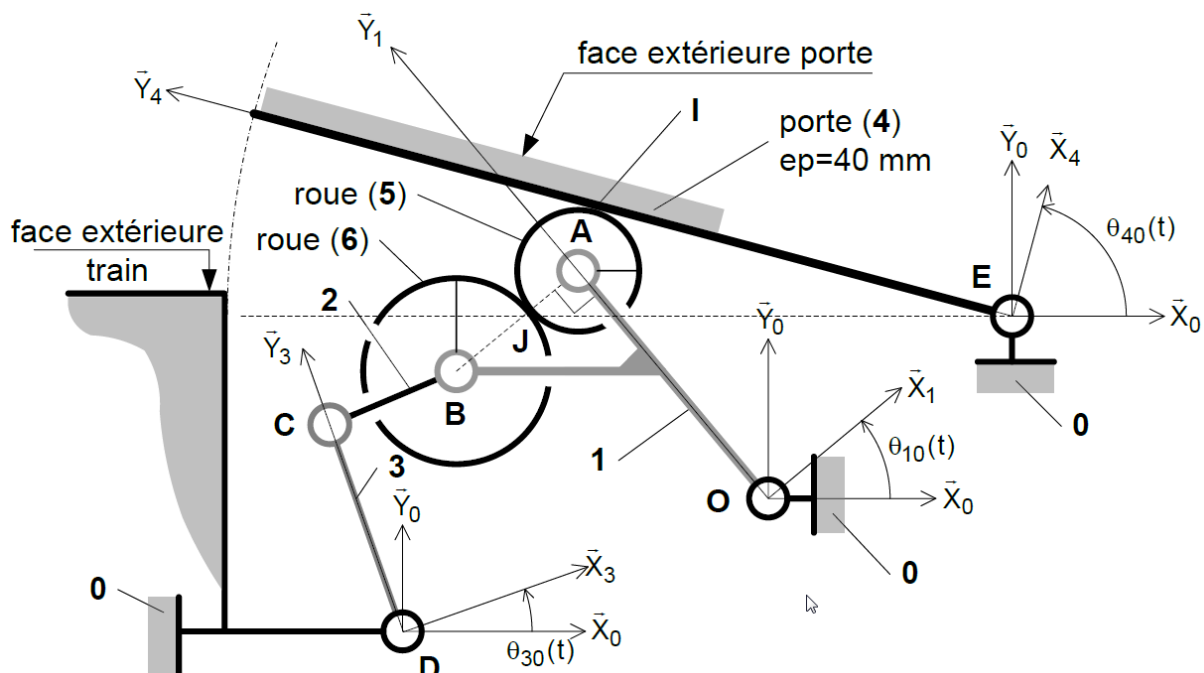
La phase primaire (décalage) puis la phase terminale (escamotage) sont définies par les figures suivantes :



✓ Modélisation en phase de décalage

Le mécanisme d'ouverture de la porte est mis en mouvement grâce à l'action d'un unique moteur électrique. Le rotor de cet actionneur est solidaire de la roue (6) alors que son stator est fixé sur le bras (1). Par commodité, on adopte $\dot{\theta}_{61}(t) = \dot{\theta}_m(t)$. La roue motrice (6) est par construction en liaison pivot d'axe $(B, \vec{z}_0)$ par rapport au bras (1). La roue (6) entraîne en rotation la roue (5) provoquant alors le mouvement de la porte (4). Il y a roulement sans glissement entre (4) et (5). Un système articulé dit de "stabilisation" se composant des biellettes (2) et (3), complètent le mécanisme. la biellette (2) est en liaison pivot d'axe $(B, \vec{z}_0)$ par rapport au bras (1).

On réduit le problème à une résolution plane et on suppose que la roue (5) roule sans glisser sur la roue (6). On pose $\overrightarrow{EI}(t) = \lambda(t)\overrightarrow{Y}_4$.

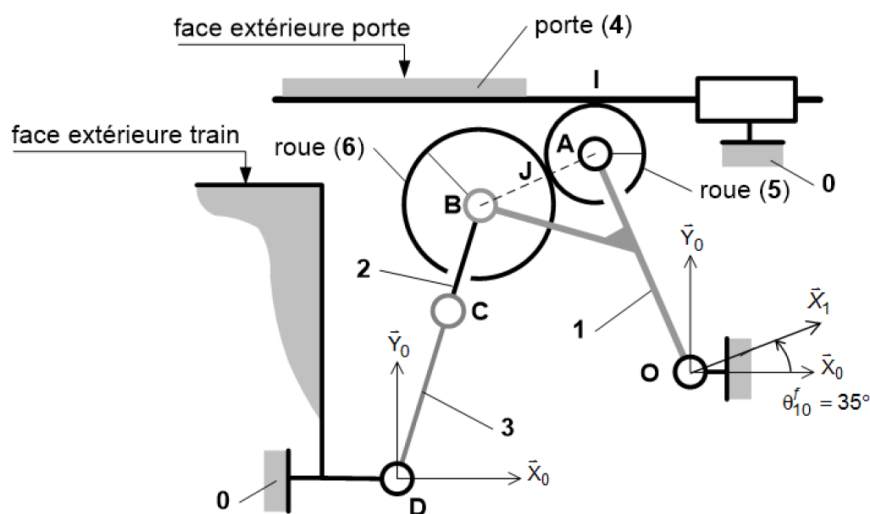


Constituants et paramétrage:

- les liaisons pivot sont modélisées comme étant parfaites.
- le repère $R_0 = (O, \vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$ lié au support (0) est considéré comme galiléen, l'axe $(O, \vec{Y}_0)$ étant vertical ascendant.
- le repère $R_1 = (O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$ est lié au bras (1). Ce dernier (qui supporte les deux roues (5 et 6)) est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe $(O, \vec{Z}_0)$. On pose: $\theta_{10}(t) = (\vec{X}_0, \vec{X}_1)$.
- le repère $R_2 = (C, \vec{X}_2, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$ est lié à la biellette de réaction (2). On pose: $\theta_{20}(t) = (\vec{X}_0, \vec{X}_2)$.
- le repère $R_3 = (D, \vec{X}_3, \vec{Y}_3, \vec{Z}_3)$ est lié à la biellette (3). On pose: $\theta_{30}(t) = (\vec{X}_0, \vec{X}_3)$.
- le repère $R_4 = (E, \vec{X}_4, \vec{Y}_4, \vec{Z}_4)$ est lié à la porte (4). On pose: $\theta_{40}(t) = (\vec{X}_0, \vec{X}_4)$. Porte fermée: $\theta_{40}(t=0) = \theta_{40}^i = +90^\circ$
- on pose $\vec{\Omega}_{5/1} = \dot{\theta}_{5/1} \vec{Z}_0$

✓ Modélisation en phase d'escamotage

Pendant dans la phase d'escamotage, la position du bras support (1) par rapport à (0) reste celle atteinte par ce solide en fin de la phase de louvoisement: $\theta_{10}(t=0) = \theta_{61}^f = 35^\circ$



Données:

- bâti (0): $\vec{DO} = L \cdot \vec{X}_0 + H \cdot \vec{Y}_0$ avec $L = 190 \text{ mm}$, $H = 60 \text{ mm}$;
 $\vec{OE} = L_0 \cdot \vec{X}_0 + H_0 \cdot \vec{Y}_0$ avec $L_0 = 544 \text{ mm}$, $H_0 = 65,8 \text{ mm}$;
- biellette (3): $\vec{DC} = L_3 \cdot \vec{X}_3$ avec $L_3 = 88 \text{ mm}$;
- Biellette (2): $\vec{CB} = L_2 \cdot \vec{X}_2$ avec $L_2 = 62,6 \text{ mm}$.
- Bras support (1): $\vec{OA} = L_1 \cdot \vec{Y}_1$ avec $L_1 = 149 \text{ mm}$;
 $\vec{AB} = -(R_5 + R_6) \cdot \vec{X}_1$;
- Porte (4): Largeur $L_4 = 850 \text{ mm}$ et épaisseur $e_4 = 40 \text{ mm}$;
- Roue (5): Rayon $R_5 = 29 \text{ mm}$;

- Roue (6): Rayon $R_6 = 37 \text{ mm}$.

✓ **Données du cahier des charges**

On donne ci-dessous un extrait du cahier des charges du système.

Exigence	Critères	Niveaux
Ouvrir la porte automatiquement	Dégager un accès au wagon suffisant : respecter une amplitude D du déplacement en phase d'escamotage ;	$D = 850 \text{ mm}$
	Limiter le temps total d'ouverture : respecter un temps d'ouverture t_o ;	$t_o \leq 5 \text{ s}$
	Limiter la vitesse en bout de porte en phase de décalage ;	$V < 1 \text{ m.s}^{-1}$
	Limiter la vitesse de déplacement de la porte en phase d'escamotage ;	$V \leq 0,28 \text{ m.s}^{-1}$
	Limiter la vitesse d'accostage de la porte en fin de phase d'escamotage ;	$V \leq 0,09 \text{ m.s}^{-1}$
	Respecter un espacement d entre la face intérieure de la porte et la face extérieure de la caisse du train en phase d'escamotage ;	$d > 40 \text{ mm}$

Objectif: Vérifier les critères du cahier des charges.

Travail demandé

✓ **Etude de la phase de décalage**

- Q1.** Décrire en quelques lignes la phase intermédiaire de louvoiment en précisant la nature du mouvement de la porte (4) par rapport à la caisse (0) pendant cette phase.
- Q2.** Recopier et compléter le tableau ci-dessous recensant le nombre et la nature des degrés de mobilité de la porte (4) par rapport à la caisse du TGV (0) lors des différentes phases.

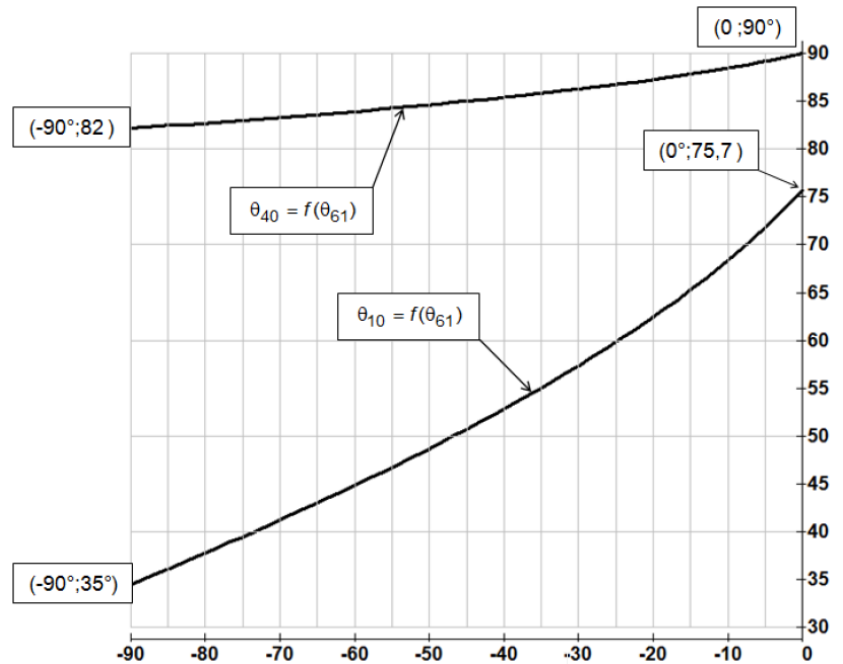
	Nombre	Nature (rotation/translation)
Décalage		
Louvoiment		
Escamotage		

- Q3.** Sans faire de calcul, indiquer comment varient la longueur EI et de l'angle θ_{40} au cours de la phase de décalage.
- Q4.** En déduire le sens (horaire ou trigonométrique) dans lequel doit tourner la roue (6) par rapport au bras (1) afin de provoquer le décalage angulaire de la porte (4) par rapport à la caisse (0).
- Q5.** Ecrire la fermeture géométrique relative à la chaîne de solides 0-4-5-1-0. En déduire deux équations, en projection dans la base $(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$ reliant les paramètres géométriques et angulaires.
- Q6.** Ecrire la fermeture cinématique relative à la chaîne de solides 0-4-5-1-0 au point I et projeter l'équation vectorielle des vecteurs vitesse dans la base $(\vec{X}_4, \vec{Y}_4, \vec{Z}_0)$ afin d'obtenir deux équations scalaires.

Q7. Déterminer, à partir du vecteur position $\overrightarrow{EA}$, l'expression du vecteur vitesse $\overrightarrow{V}_{A,5/4}$ en fonction de $\dot{\lambda}$.

Q8. Déterminer, en utilisant la relation du champ des vecteurs vitesse, une deuxième expression du vecteur vitesse $\overrightarrow{V}_{A,5/4}$. En déduire une relation entre $\dot{\lambda}$, R_5 , $\dot{\theta}_{50}$, $\dot{\theta}_{10}$ et $\dot{\theta}_{40}$.

La courbe ci-contre présente les évolutions obtenues par simulation numérique de la position angulaire $\theta_{40}(t)$ de la porte (4) et de la position angulaire $\theta_{10}(t)$ du bras support (1) en fonction de l'angle de rotation $\theta_m(t)$ du moteur, pendant toute la phase de décalage.

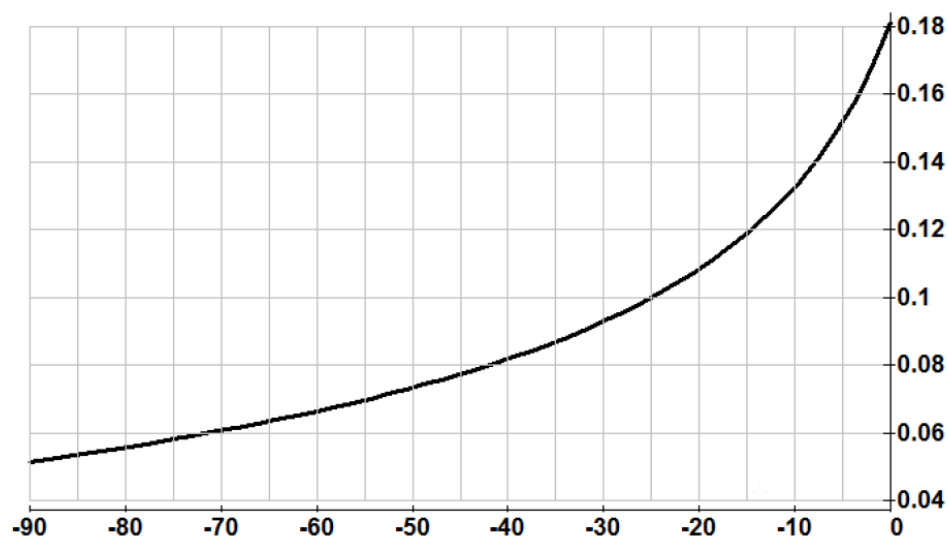


On suppose qu'à l'instant initial $t=0$, on se trouve dans la configuration *porte fermée* pour laquelle on considère que $\theta_m(t=0) = \theta_{61} = 0$. On note $\theta_{40}(t=0) = \theta_{40}^i$ et $\theta_{10}(t=0) = \theta_{10}^i$.

Q9. A l'aide des équations scalaires obtenues lors de la fermeture géométrique, faire l'application numérique pour la configuration $t=0$ afin de déterminer le rayon R_5 ainsi que la valeur $\lambda(t=0)$ notée λ_0 .

Q10. Déterminer, en tr.min^{-1} , la fréquence de rotation supposée constante du moteur si la durée de la phase de décalage est limitée à 0,3 s.

La courbe ci-dessous présente l'évolution obtenue par simulation numérique du rapport $\dot{\theta}_{40}/\dot{\theta}_{61}$ en fonction de l'angle de rotation du moteur $\theta_m(t)$.



Q11. Déterminer, en rad.s^{-1} , la plage de variation de la fréquence de rotation de la porte (4) par rapport à la caisse (0).

Q12. Déterminer, en m.s^{-1} , la norme maximale de la vitesse en bout de porte (4) par rapport à la caisse (0).

Q13. Conclure vis-à-vis du cahier des charges.

✓ **Etude de la phase d'escamotage**

Q14. Déterminer, en mm, la valeur constante de $\overrightarrow{OI} \bullet \overrightarrow{Y_0}$ lors de la phase d'escamotage. Valider alors la conformité du critère, noté d, défini par le cahier des charges.

Q15. Sachant qu'il y a roulement sans glissement en I et en J, déterminer la vitesse $\left\| \overrightarrow{V_{I, \text{porte}/0}} \right\|$ en fonction de R_6 et $\dot{\theta}_{61}(t) = \dot{\theta}_m(t)$.

Afin de s'assurer d'une ouverture complète de la porte, on propose une loi de commande en vitesse du moteur.

A l'instant initial, on suppose que $\theta_m(t=0)=0$. A partir de cet instant, la mise en rotation de l'actionneur s'effectue à accélération constante $\ddot{\theta}_m(t)=17,4\text{rad.s}^{-2}$ permettant d'atteindre, à l'instant t , la vitesse d'escamotage constante de la porte définie par le cahier des charges. Puis, à l'instant $t_2=2,8\text{ s}$, une décélération constante permet d'atteindre à l'instant $t_3=3,1\text{ s}$, une vitesse plus faible dite d'accostage définie par le cahier des charges. A l'instant $t_4=4\text{ s}$, la porte arrive en butée à la vitesse d'accostage assurant une ouverture complète.

Afin de garantir le temps d'ouverture, on utilise les valeurs maximales admissibles des vitesses d'escamotage et d'accostage définies par le cahier des charges. On suppose que les valeurs absolues des accélérations et des décélérations sont identiques.

Q16. A partir de cette description temporelle, compléter ci-dessous, le diagramme en construisant la loi de commande en vitesse $\dot{\theta}_m(t)$ du moteur. Indiquer sur ce graphe les valeurs en rad.s^{-1} de $\dot{\theta}_m(t=t_1)$ et $\dot{\theta}_m(t=t_3)$ ainsi que les valeurs en seconde de t_1 , t_2 et t_3 .

Q17. Compléter le graphe page suivante donnant l'évolution de l'accélération angulaire du moteur $\ddot{\theta}_m(t)$.

