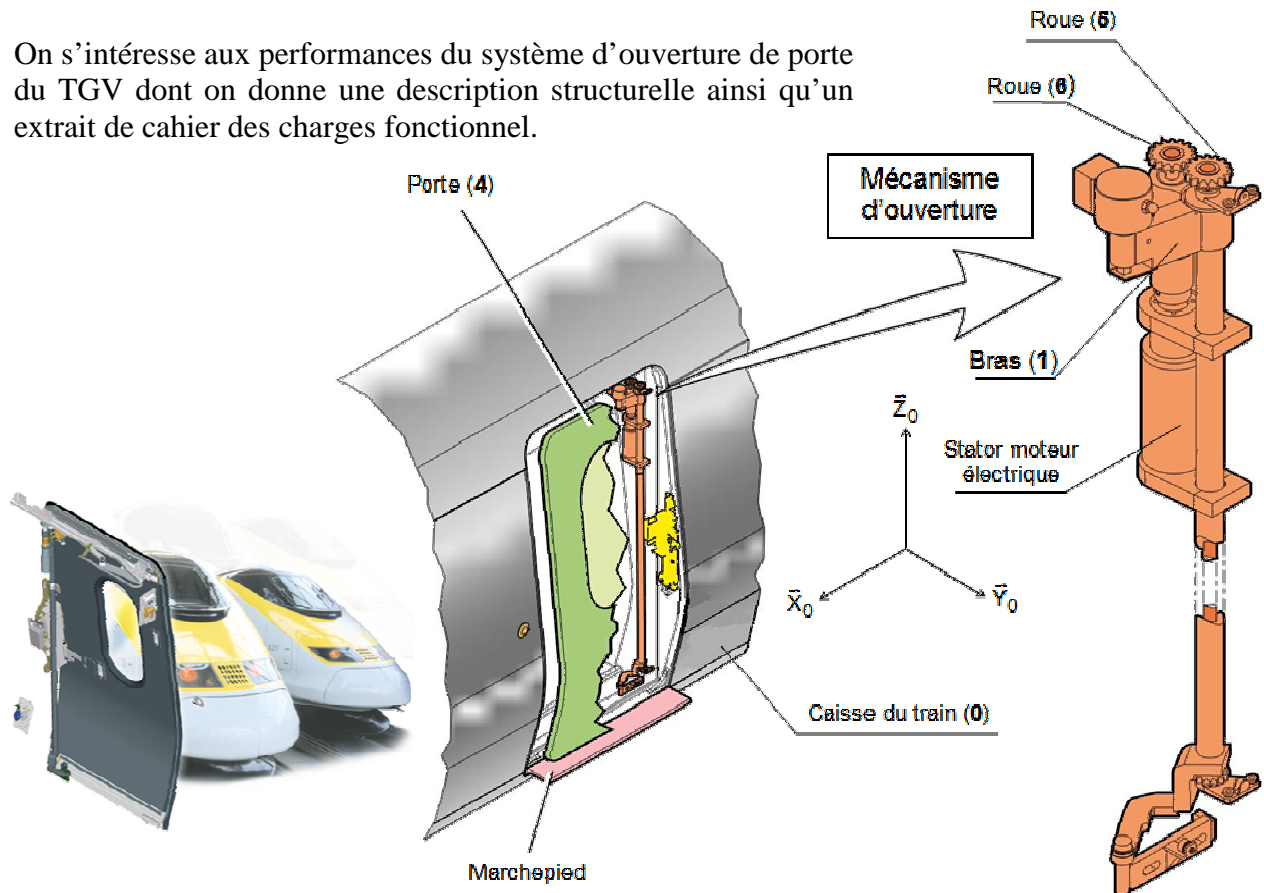


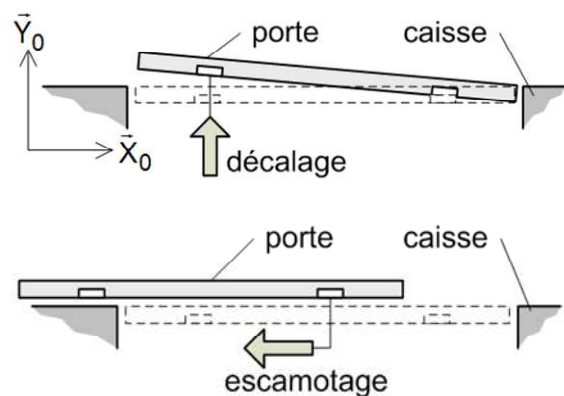
## Etude des performances du système d'ouverture de porte automatique de TGV

(D'après Centrale-Supelec MP 2008)

On s'intéresse aux performances du système d'ouverture de porte du TGV dont on donne une description structurale ainsi qu'un extrait de cahier des charges fonctionnel.



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 louvoiemment et enfin une phase d'escamotage. La phase primaire (décalage) puis la phase terminale (escamotage) sont définies par les figures en vue de dessus ci-contre.



Fonctions de service	Critères	Niveaux
FS1 : Permettre l'ouverture et la fermeture automatique de la porte	Amplitude $D$ du déplacement en phase d'escamotage Temps total d'ouverture Vitesse en bout de porte en phase de décalage Vitesse de déplacement de la porte en phase d'escamotage Vitesse d'accostage de la porte en fin de phase d'escamotage Espacement entre la porte et la caisse du train en phase d'escamotage fréquence de rotation $\Omega$ de la bielle (3) par rapport à la caisse	$D = 850 \text{ mm}$ $t_o \leq 5 \text{ s}$ $V < 1 \text{ m.s}^{-1}$ $V \leq 0,28 \text{ m.s}^{-1}$ $V \leq 0,09 \text{ m.s}^{-1}$ $d > 40 \text{ mm}$ $\Omega < 140 \text{ tr.mn}^{-1}$

**Q.1.** Décrire en quelques lignes la phase intermédiaire de louvoisement en précisant la nature du mouvement de la porte (4) par rapport à la caisse (0).

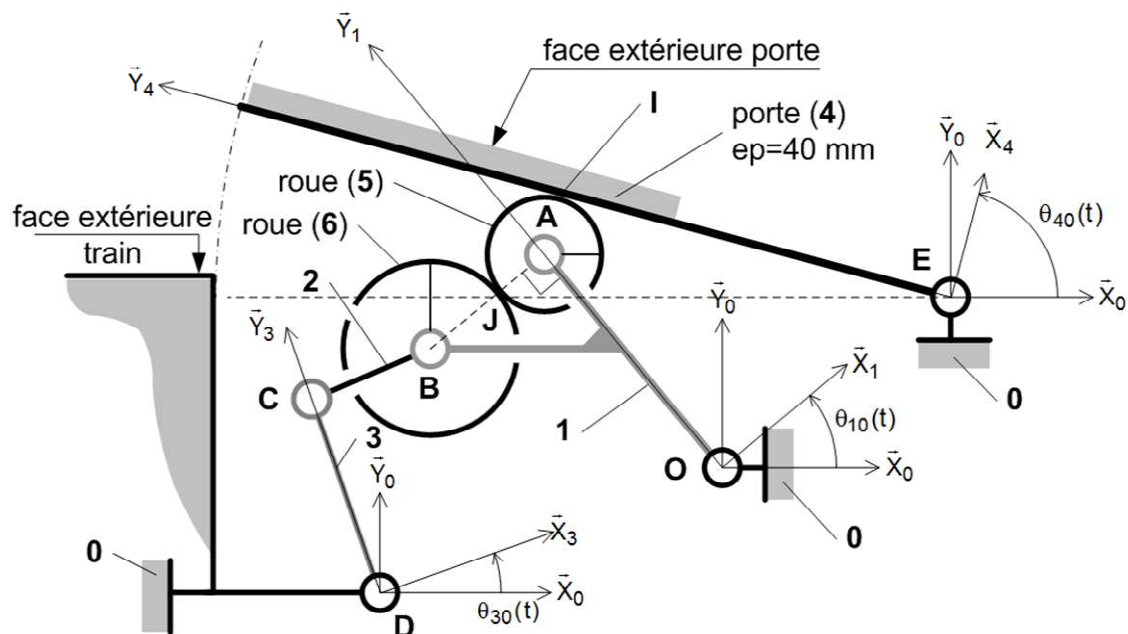
**Q.2.** En le reprenant sur la feuille, compléter le tableau ci-dessous recensant les degrés de mobilité (nombre et nature) de la porte (4) par rapport à la caisse du TGV (0) lors des différentes phases.

	Nombre de DDL(s)	Nature du mouvement
Décalage		
Louvoisement		
Escamotage		

### Partie 1 – Etude analytique de la phase de décalage

On étudie dans un premier temps le système en phase de décalage dont on donne la modélisation cinématique. Dans cette phase, 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). Un système articulé dit de stabilisation se composant des biellettes (2) et (3), complète 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 porte (4) au point I et que de la même façon, la roue (5) roule sans glisser sur la roue (6) au point J. On pose  $\vec{EI}(t) = \lambda(t) \cdot \vec{y}_4$ .



#### Hypothèses de modélisation :

- 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  $(O, \vec{z}_0)$  étant vertical ascendant ;
- le repère  $R_1 = (C, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$  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  $(C, \vec{z}_0)$ . On pose :  $\theta_{10}(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$  ;

- le repère  $R_2 = (C, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$  est lié à la biellette de réaction (2). On pose :  $\theta_{20}(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_2)$  ;
- le repère  $R_3 = (D, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$  est lié à la biellette (3). Cette dernière est animée d'un mouvement de rotation autour de l'axe  $(D, \vec{z}_0)$ . On pose  $\theta_{30}(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_3)$  ;
- le repère  $R_4 = (E, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$  est lié à la porte (4). On pose  $\theta_{40}(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_4)$  tel que lorsque la porte est fermée on a  $\theta_{40}(t=0) = +90^\circ$ .

**Données :**  $\overrightarrow{DO} = L \cdot \vec{x}_0 + h \cdot \vec{y}_0$  avec  $L = 190 \text{ mm}$ ,  $H = 60 \text{ mm}$  ;  $\overrightarrow{OE} = L_0 \cdot \vec{x}_0 + H_0 \cdot \vec{y}_0$  avec  $L_0 = 544 \text{ mm}$ ,  $H_0 = 65,8 \text{ mm}$  ;  $\overrightarrow{DC} = L_3 \cdot \vec{y}_3$  avec  $L_3 = 88 \text{ mm}$  ;  $\overrightarrow{CB} = L_2 \cdot \vec{x}_2$  avec  $L_2 = 62,6 \text{ mm}$  ;  $\overrightarrow{OA} = L_1 \cdot \vec{y}_1$  avec  $L_1 = 149 \text{ mm}$  ;  $\overrightarrow{AB} = -(R_5 + R_6) \cdot \vec{x}_1$  et  $R_6 = 37 \text{ mm}$  ;  $\overrightarrow{IA} = -R_5 \cdot \vec{x}_4$ .

**Q.3.** Sans faire de calcul définir à l'ouverture de la porte comment varient la longueur EI et l'angle  $\theta_{40}$  au cours de la phase de décalage.

**Q.4.** Par conséquent et toujours sans faire de calculs, justifier dans quel sens (horaire ou trigonométrique) 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) ?

**Q.5.** Ecrire la fermeture géométrique relative à la chaîne de solides (4-5-1-0). En déduire deux équations en projection dans la base 0 reliant les paramètres géométriques et angulaires.

**Q.6.** Ecrire la fermeture cinématique relative à la chaîne de solides (4-5-1-0) au point I et projeter la relation vectorielle dans la base 4 afin d'obtenir deux équations scalaires.

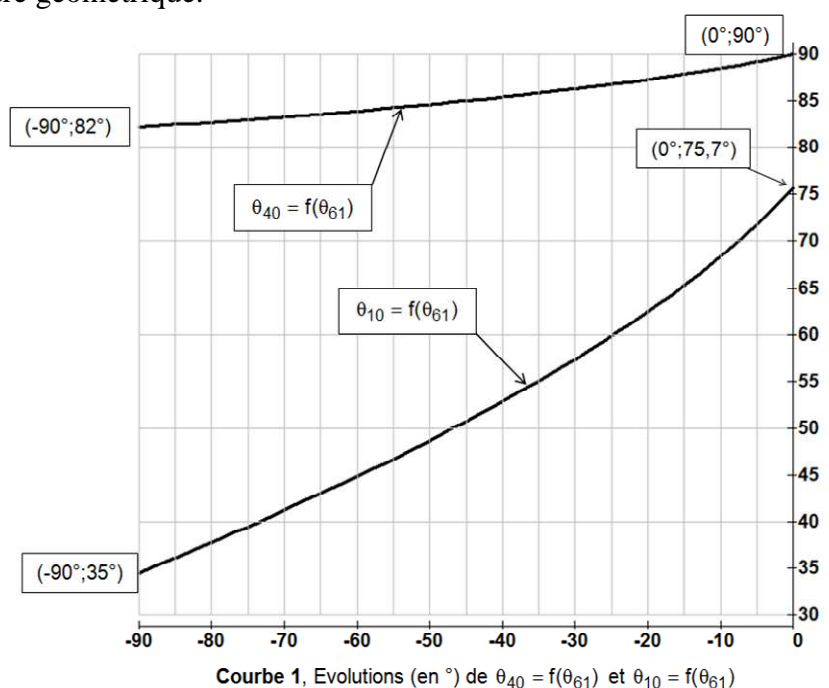
**Q.7.** Calculer  $\overrightarrow{V_{A \in 5/4}}$  par le calcul direct. A partir de la condition de roulement sans glissement au point I, déterminer une deuxième expression de  $\overrightarrow{V_{A \in 5/4}}$  à l'aide du champ des vitesses. En déduire une relation scalaire liant  $\dot{\lambda}$ ,  $R_5$  et  $\dot{\theta}_{54}$ .

**Q.8.** Montrer que l'équation vectorielle obtenue par la fermeture cinématique correspond à l'équation vectorielle dérivée issue de la fermeture géométrique.

La courbe 1 présente les évolutions obtenues par simulation numérique de la position angulaire de la porte (4)  $\theta_{40}$  et de la position angulaire du bras support (1)  $\theta_{10}$  en fonction de l'angle de rotation du moteur  $\theta_m$  lors de la phase complète de décalage.

On suppose qu'à l'instant initial  $t = 0s$ , on se trouve dans la configuration porte fermée pour laquelle on considère que  $\theta_m = \theta_{61} = 0$ .

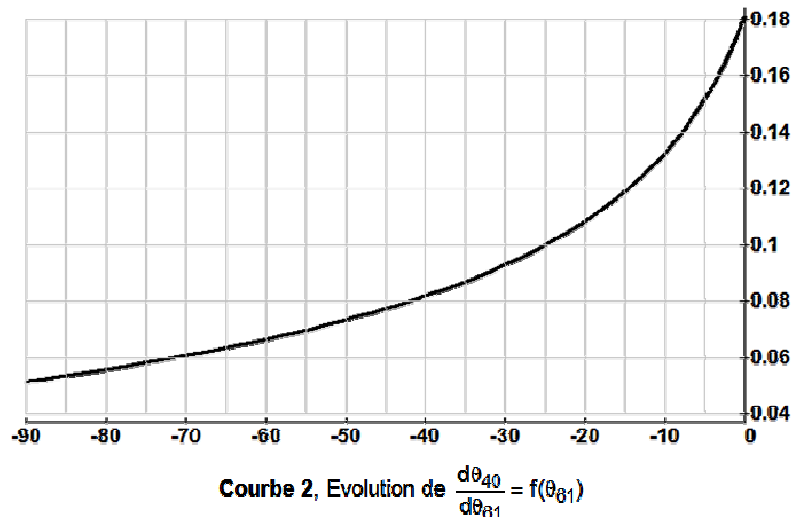
On note  $\theta_{40}^i = \theta_{40}(t=0)$  et  $\theta_{10}^i = \theta_{10}(t=0)$ .



**Q.9.** A l'aide des équations scalaires obtenues à l'aide de la fermeture géométrique faire l'application numérique pour la configuration  $t = 0$ s afin de déterminer le rayon  $R_5$  ainsi que la valeur de  $\lambda(t=0)$  notée  $\lambda_0$ .

**Q.10.** Déterminer la fréquence de rotation supposée constante du moteur (en  $\text{tr.mn}^{-1}$ ) si la durée de la phase de décalage est limitée à 0,3 s.

La courbe 2 présente l'évolution obtenue par simulation numérique du rapport  $\frac{d\theta_{40}}{d\theta_m}$  en fonction de l'angle de rotation du moteur  $\theta_m$ .



**Q.11.** Déterminer alors, la plage de variation de la fréquence de rotation de la porte (4) par rapport à la caisse (0) en  $\text{rd.s}^{-1}$ .

**Q.12.** Déterminer la norme maximale (en  $\text{m.s}^{-1}$ ) de la vitesse en bout de porte (4) par rapport à la caisse (0) sachant que la porte a une longueur  $L_4 = 850$  mm et une épaisseur  $e_4 = 40$  mm. Conclure vis-à-vis du cahier des charges fonctionnel.

## Partie 2 – Etude graphique de la phase de décalage

Afin de satisfaire des contraintes de stabilité, il est nécessaire de limiter la fréquence de rotation  $\dot{\theta}_{30}$  de la biellette (3) lors du tout début de la phase de décalage. On fait l'hypothèse simplificatrice que la fréquence de rotation, imposée par le choix du moteur est égale à  $\dot{\theta}_m = -50$   $\text{tr/min}$  (sens horaire). Pour les questions suivantes, on utilisera le document réponse 1 fourni. On apportera une attention particulière à la qualité des tracés et au respect de l'échelle donnée. L'utilisation de la couleur est fortement conseillée. Toutes les justifications des tracés seront à développer sur la copie.

**Q.13.** Sur le document-réponse fourni, définir géométriquement la position des points B, C, I et J dans la configuration porte fermée. Faire apparaître la roue (6) et les solides (3), (2) et (1).

Pour la question suivante, on précisera les directions des différents vecteurs vitesse et/ou la position des centres instantanés de rotation. On respectera l'échelle des vitesses donnée sur le document réponse.

**Q.14.** Sur le document réponse 1, déterminer graphiquement la vitesse du point I appartenant à la porte (4) par rapport à (1)  $\vec{V}_{I \in 4/1}$  à partir de la vitesse  $\vec{V}_{J \in 6/1}$ .

**Q.15.** Construire les vitesses  $\overrightarrow{V_{I \in 4/0}}$  et  $\overrightarrow{V_{I \in 1/0}}$ .

**Q.16.** Après avoir construit le vecteur vitesse  $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$ , déterminer  $\overrightarrow{V_{C \in 3/0}}$ . En déduire la valeur de  $\dot{\theta}_{30}$  en  $\text{rd.s}^{-1}$ . Conclure quand au critère du cahier des charges fonctionnel correspondant.

### Partie 3 – Etude de la phase d'escamotage

On se place à présent dans la phase d'escamotage pour laquelle on donne la modélisation cinématique. Dans cette phase de vie, la position angulaire du bras support (1) par rapport à (0) reste celle atteinte par ce solide en fin de la phase de louvoirement.

#### Données :

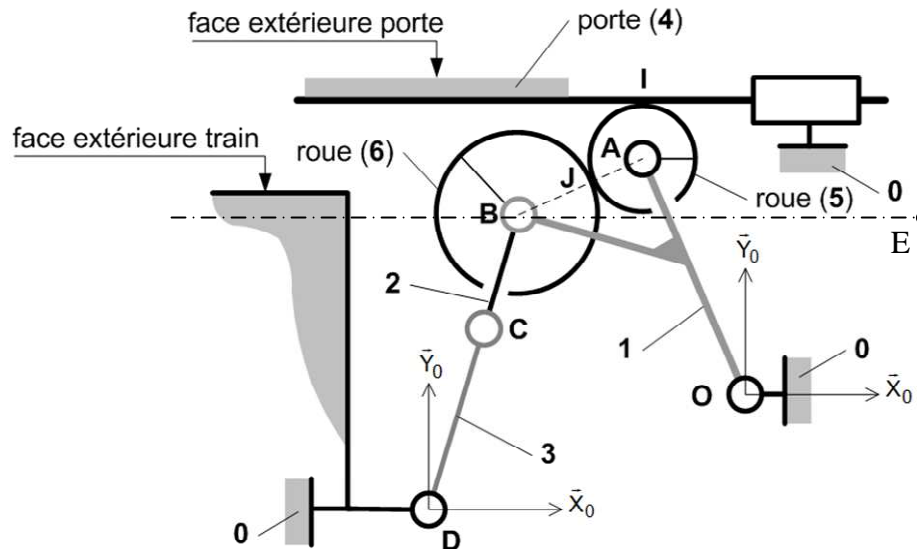
$$\overrightarrow{OE} = L_0 \cdot \vec{x}_0 + H_0 \cdot \vec{y}_0 \text{ avec}$$

$$L_0 = 544 \text{ mm et } H_0 = 65,8 \text{ mm}$$

$$\overrightarrow{OA} = L_1 \cdot \vec{y}_1 \text{ avec } L_1 = 149 \text{ mm}$$

$$\overrightarrow{AI} = R_5 \cdot \vec{x}_4 \text{ avec } R_5 = 29 \text{ mm}$$

$$\text{épaisseur porte : } e_4 = 40 \text{ mm.}$$

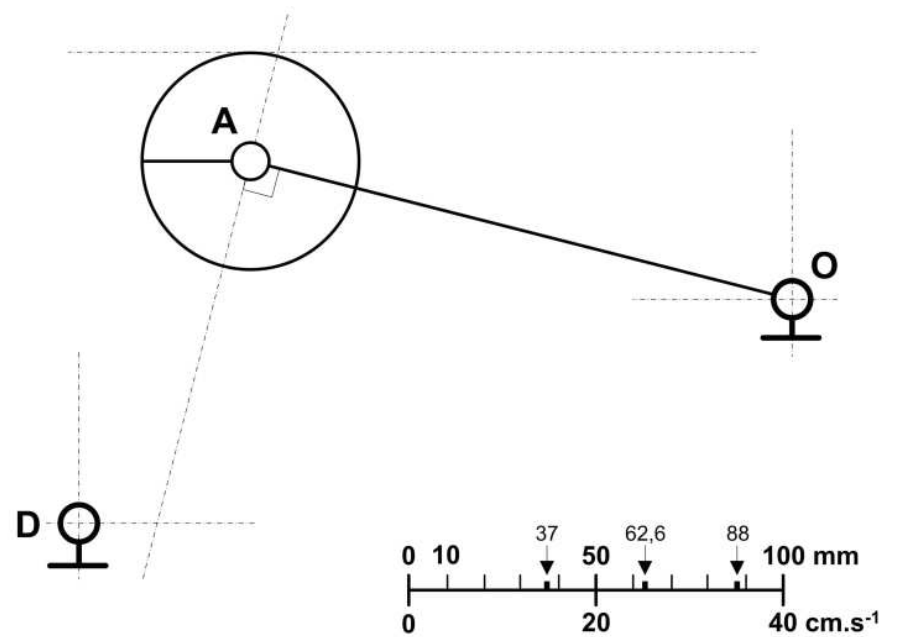


**Q.17.** Déterminer la valeur constante (en mm) de  $\overrightarrow{OI} \cdot \vec{y}_0$  lors de la phase d'escamotage. Valider alors la conformité du critère, noté d, défini par le cahier des charges fonctionnel.

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  $\dot{\theta}_m(t=0) = 0$ . Chronologiquement, la mise en rotation de l'actionneur s'effectue à accélération constante  $\ddot{\theta}_m = 17,4 \text{ rad/s}^2$  permettant d'atteindre, à l'instant  $t_1$ , la vitesse d'escamotage 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 et que toutes les liaisons sont parfaites.

**Q.18.** A partir de la description temporelle ci dessus, compléter, document réponse 2, le diagramme en construisant la loi de commande en vitesse  $\dot{\theta}_m(t)$  du moteur. Indiquer sur ce graphe les valeurs en  $\text{rd.s}^{-1}$  de  $\dot{\theta}_m(t=t_1)$  et  $\dot{\theta}_m(t=t_3)$  ainsi que la valeur de  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  et  $t_4$  en s.

**Q.19.** A partir de la description temporelle ci dessus, tracer sur un graphe positionné sous la loi de commande en vitesse, le graphe donnant l'évolution de l'accélération angulaire  $\ddot{\theta}_m(t)$  du moteur. Indiquer sur ce graphe les valeurs en  $\text{rd.s}^{-2}$ .

**Document réponse 1.**

**Document réponse 2.**