

**Cinématique : Porte de TGV** (Centrale MP 08)**Mise en situation**

Le transport ferroviaire, concurrencé par la voiture sur les courtes et moyennes distances et par l'avion sur les longues distances, a dû trouver des solutions adaptées pour continuer à croître. Avec le développement du train à grande vitesse, les caractéristiques du marché du transport ferroviaire de voyageurs se sont rapprochées de celles du transport aérien.

Les performances du TGV (vitesse, confort, proximité des gares) ont conduit à un essor important du trafic de voyageurs. Les opérateurs ferroviaires ont dû par conséquent adapter le cahier des charges de leurs équipements pour faire face à cette demande accrue. Le matériel voyageur a ainsi subi une évolution et une modernisation sans précédent depuis plusieurs années.

Nous nous intéresserons dans le cadre de ce travail au système « porte » autorisant la communication entre l'intérieur et l'extérieur du train.

**Orientation de l'étude**

Au cours de son cycle de vie, de sa conception à son recyclage, les conditions de fonctionnement du système d'ouverture fermeture évoluent, influençant notablement ses performances. Une observation continue de certains paramètres vitaux est indispensable au bon fonctionnement de ce système. Cette surveillance poursuit un double objectif :

A court terme, celui de maintenir des performances compatibles avec celles définies par le cahier des charges ;

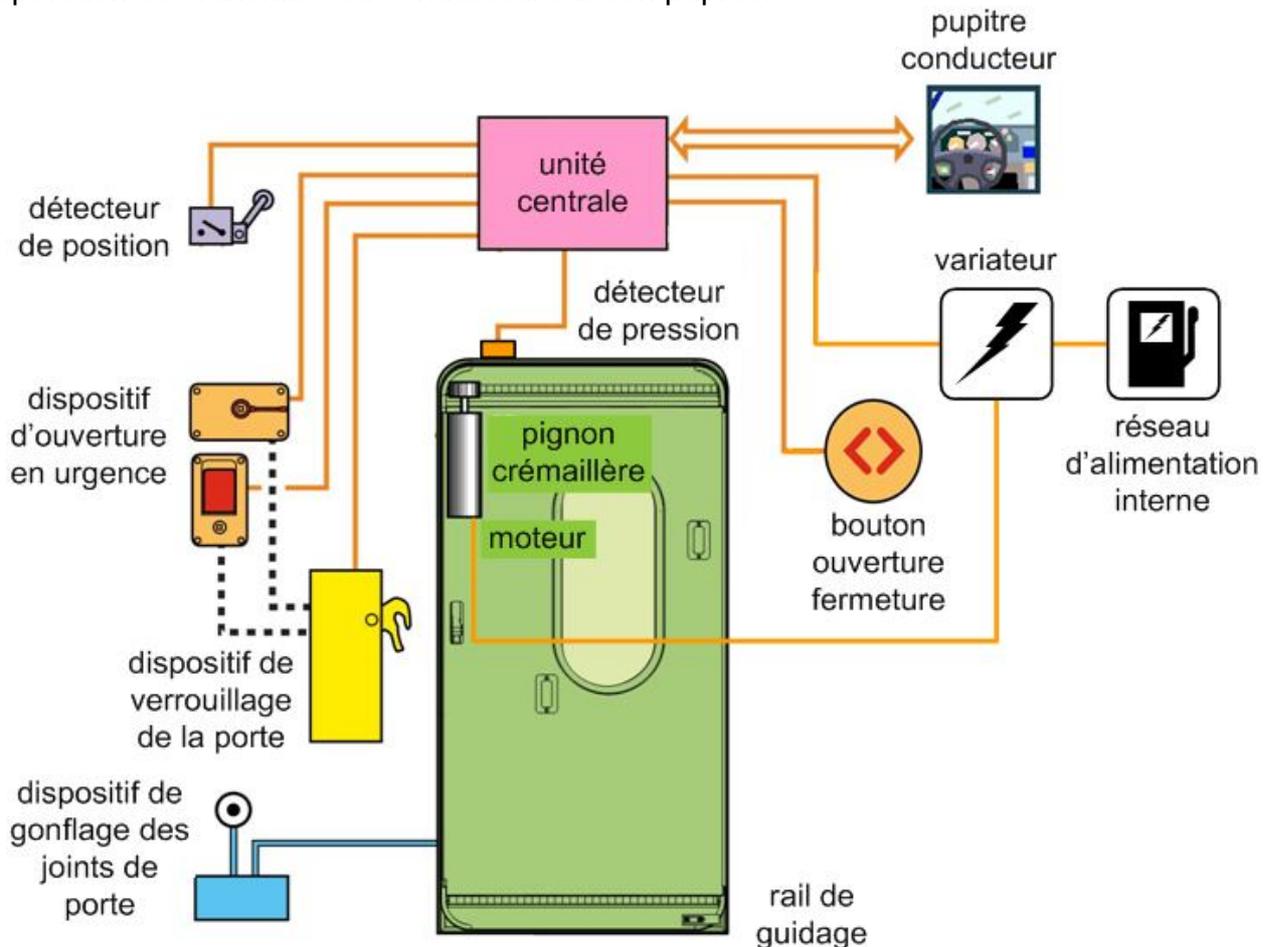
A plus long terme, celui de planifier des opérations de maintenance corrective afin de pallier tout risque de défaillance.

On se propose dans cette étude de montrer comment l'observation au cours du cycle de vie de certaines grandeurs caractéristiques du système permet d'atteindre le premier objectif.

Le sujet s'articule selon trois axes ; après avoir présenté l'objet de l'étude puis analysé dans un premier temps le fonctionnement nominal du système considéré, on aborde ensuite l'étude de plusieurs fonctionnalités liées à sa phase courante d'utilisation.

## Présentation du système

La figure suivante montre l'interface assurant, à partir des informations délivrées par l'unité centrale de commande, la fermeture hermétique et le verrouillage de la porte. L'ordre de fermeture de la porte est donné soit par appui sur le bouton situé sur la porte soit via un ordre fourni par le conducteur depuis son pupitre. L'information est traitée par l'unité centrale qui pilote un moteur électrique permettant, dans un premier temps, de fermer la porte grâce à un mécanisme pignon-crémaillère puis, dans un deuxième temps, lorsque la position de fermeture est détectée, de verrouiller la porte. La détection de la position fermée enclenche également le gonflage des joints assurant l'herméticité de la fermeture. L'information de fin d'opération est transmise au conducteur sur son pupitre.



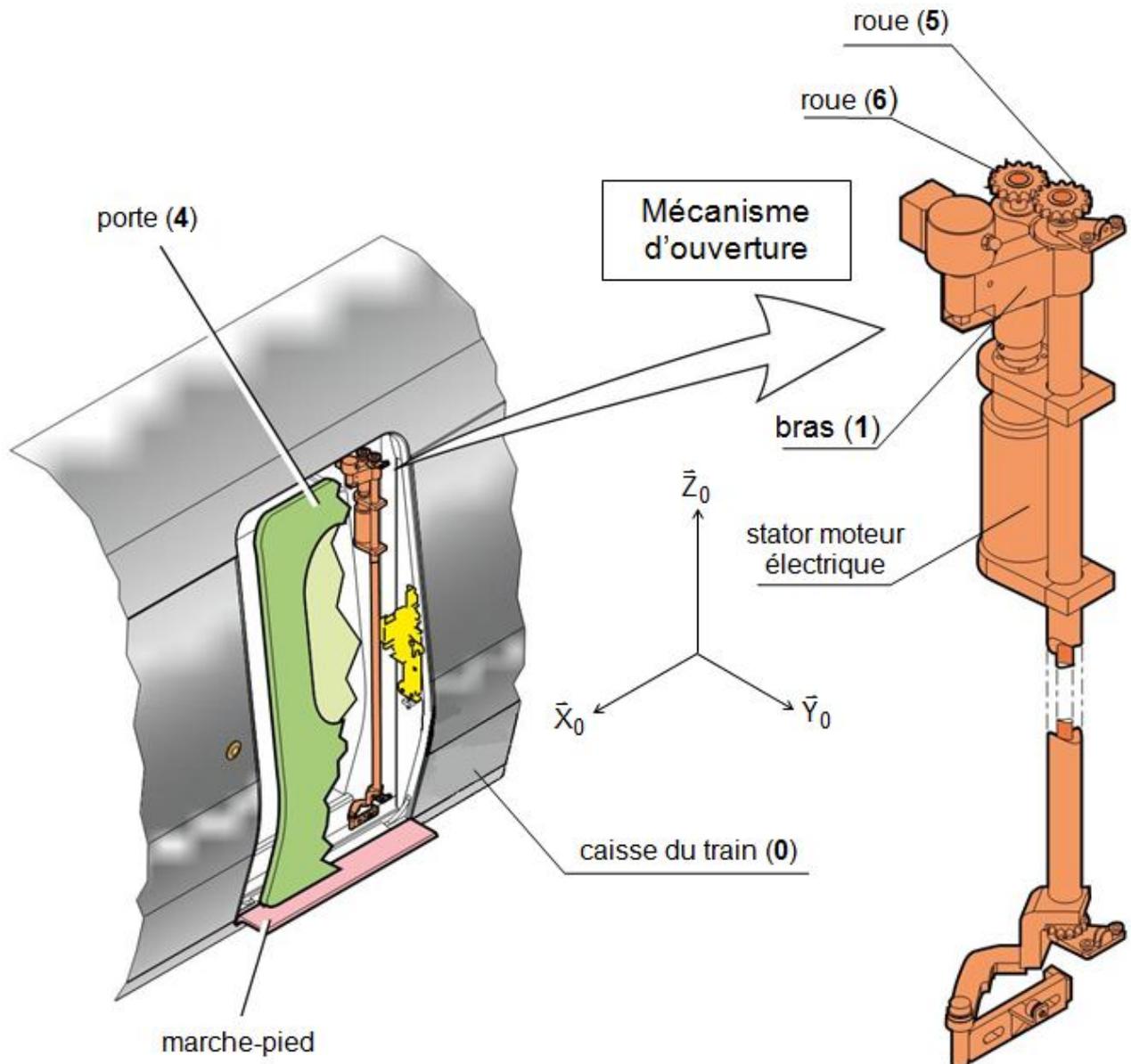
## Etude du mouvement de la porte en mode nominal

L'objectif de cette étude est de déterminer les performances de la solution technique implantée sur le TGV pour le mécanisme d'ouverture/fermeture de la porte d'accès et de valider leurs conformités avec l'extrait du cahier des charges fonctionnel donné.

	Fonction	Critères	Niveaux
FT1	Ouvrir/Fermer la porte	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 $t_0$ ;	$t_0 \leq 5 \text{ s}$
		Permettre une ouverture manuelle : respecter un effort maximum à produire soient $F_l$ en phase de décalage et $F_t$ en phase d'escamotage ;	$F_l < 200 \text{ N}$ $F_t < 160 \text{ N}$

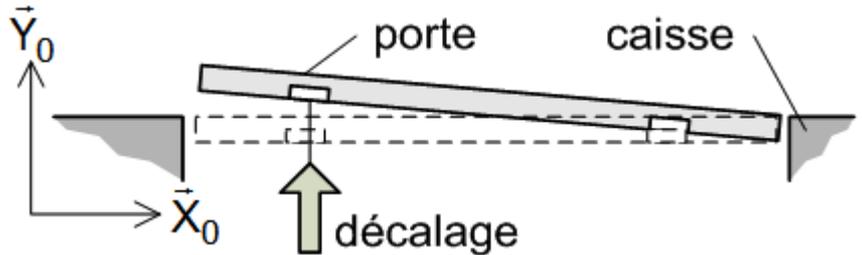
FT1	Ouvrir/Fermer la porte	Limiter la vitesse en bout de porte en phase de décalage ;	$V < 1 \text{ m.s}^{-1}$
		Limiter la vitesse de déplacement de la porte en phase d'escamotage ;	$V \leq 0,28 \text{ m.s}^{-1}$
		Limiter la vitesse d'accostage de la porte en fin de phase d'escamotage ;	$V \leq 0,09 \text{ m.s}^{-1}$
		Respecter un espacement $d$ entre la porte et la caisse du train en phase d'escamotage ;	$d > 40 \text{ mm}$
		Limiter la puissance consommée du moteur d'ouverture ;	$P \leq 30 \text{ W}$
		Assurer la stabilité du système de décalage : limiter la fréquence de rotation $\Omega$ de la bielle (3) par rapport à la caisse ;	$\Omega < 140 \text{ tr.mn}^{-1}$
		Encombrement et masse du système d'ouverture les plus faibles possibles ;	

L'architecture et l'implantation de la partie opérative étudiée est précisée sur la figure suivante. On y distingue le mécanisme d'ouverture/fermeture (objet de cette étude) dont la fonction est d'assurer l'accès au train en escamotant latéralement le panneau de porte.

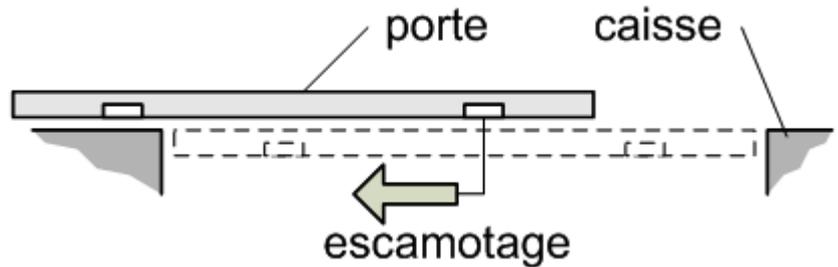


Afin de satisfaire les contraintes d'encombrement, l'ouverture de la porte s'effectue selon l'enchaînement temporel de trois phases distinctes décrites à partir de la position 'porte fermée' pour laquelle la face extérieure de la porte est alignée avec la face extérieure de la caisse ; une phase de décalage puis une phase de louvoisement et enfin une phase d'escamotage. La phase primaire (décalage) puis la phase terminale (escamotage) sont définies par les figures suivantes :

la phase de **décalage** : ce premier mouvement permet de décaler angulairement la porte (4) de la caisse du wagon



la phase **d'escamotage** : la porte (4) coulisse le long de la caisse du wagon, dégagant ainsi complètement l'accès au train.



**Questions**

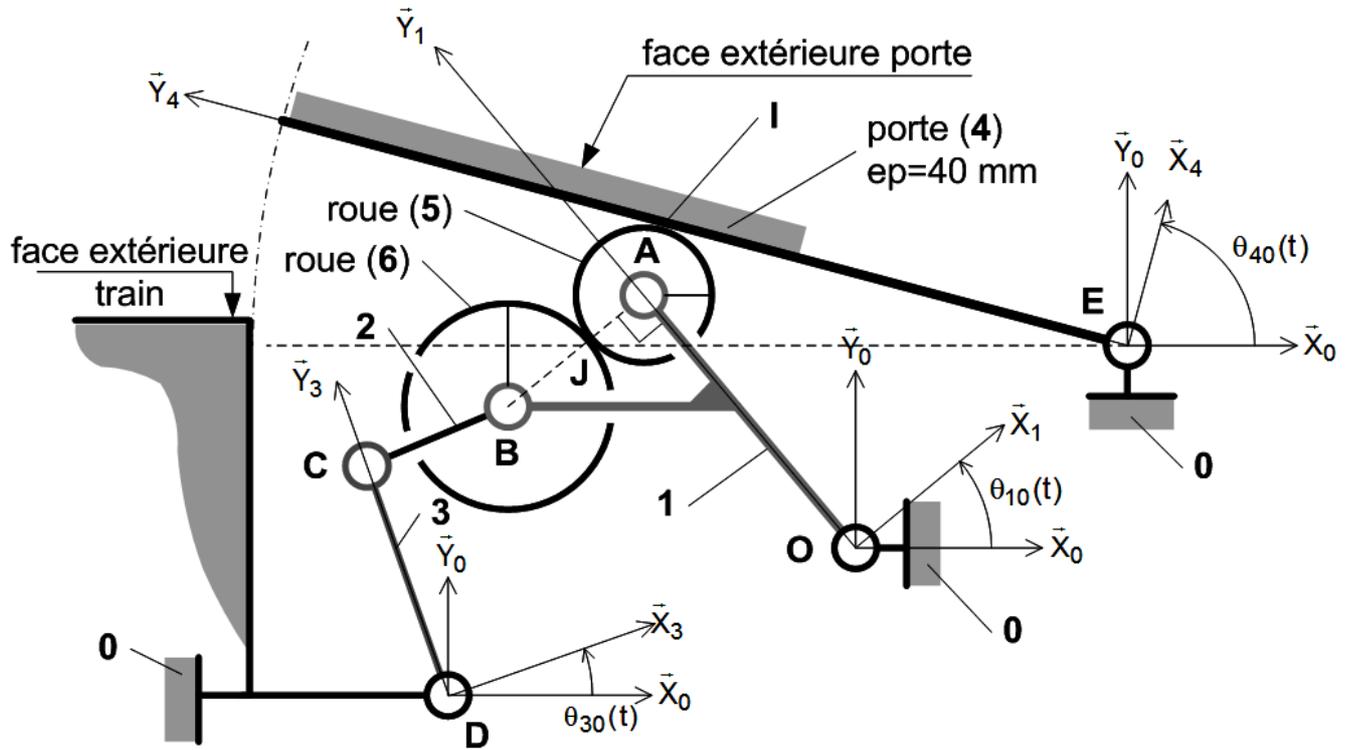
1. Décrire en quelques lignes la phase intermédiaire de louvoisement en précisant la nature du mouvement de la porte (4) par rapport à la caisse (0)
2. En le reprenant sur votre feuille, compléter le tableau ci-dessous recensant les degrés de mobilité (nombre et nature) de la porte (4) par rapport à la caisse du TGV (0) lors des différentes phases

	Nombre	Nature
Décalage		
Louvoisement		
Escamotage		

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) et que de la même façon, la roue (5) roule sans glisser sur la roue (6). On

pose  $\vec{EI}(t) = \lambda(t) \cdot \vec{Y}_4$ .



### Questions

3. Comment varie la longueur  $El$  au cours de la phase de décalage ?
4. 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) ?

### Hypothèses :

- ✓ les liaisons pivot sont modélisées comme étant parfaites ;
- ✓ le repère  $R_0 = (O, \bar{X}_0, \bar{Y}_0, \bar{Z}_0)$  lié au support (0) est considéré comme galiléen, l'axe  $(O, \bar{Z}_0)$  étant vertical ascendant ;
- ✓ le repère  $R_1 = (O, \bar{X}_1, \bar{Y}_1, \bar{Z}_0)$  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  $(O, \bar{Z}_0)$ . On pose :  $\theta_{10}(t) = (\bar{X}_0, \bar{X}_1)$  ;
- ✓ le repère  $R_2 = (C, \bar{X}_2, \bar{Y}_2, \bar{Z}_0)$  est lié à la bielle de réaction (2). On pose :  $\theta_{20}(t) = (\bar{X}_0, \bar{X}_2)$  ;
- ✓ le repère  $R_3 = (D, \bar{X}_3, \bar{Y}_3, \bar{Z}_0)$  est lié à la bielle (3). Cette dernière est animée d'un mouvement de rotation autour de l'axe  $(D, \bar{Z}_0)$ . On pose  $\theta_{30}(t) = (\bar{X}_0, \bar{X}_3)$  ;
- ✓ le repère  $R_4 = (E, \bar{X}_4, \bar{Y}_4, \bar{Z}_0)$  est lié à la porte (4). On pose  $\theta_{40}(t) = (\bar{X}_0, \bar{X}_4)$ . Porte fermée :  $\theta_{40}(t=0) = +90^\circ$ .

### Caractéristiques géométriques :

- ✓ Bâti (0) :  $\overrightarrow{DO} = L\bar{X}_0 + H\bar{Y}_0$  avec  $L = 190 \text{ mm}$ ,  $H = 60 \text{ mm}$  ;

- ✓  $\overrightarrow{OE} = L_0 \vec{X}_0 + H_0 \vec{Y}_0$  avec  $L_0 = 544 \text{ mm}$ ,  $H_0 = 65,8 \text{ mm}$  ;
- ✓ Bielle (3) :  $\overrightarrow{DC} = L_3 \vec{Y}_3$  avec  $L_3 = 88 \text{ mm}$  ;
- ✓ Bielle (2) :  $\overrightarrow{CB} = L_2 \vec{X}_2$  avec  $L_2 = 62,6 \text{ mm}$  .
- ✓ Bras support (1) :  $\overrightarrow{OA} = L_1 \vec{Y}_1$ ,  $L_1 = 149 \text{ mm}$ ,  $\overrightarrow{AB} = -(R_5 + R_6) \vec{X}_1$
- ✓ Porte (4) : Largeur  $L_4 = 850 \text{ mm}$ , Epaisseur moyenne  $40 \text{ mm}$  ;
- ✓ Roue (5) : Rayon  $R_5 = 29 \text{ mm}$  ;
- ✓ Roue (6) + rotor moteur à courant continu : Rayon  $R_6 = 37 \text{ mm}$

Les courbes 1 et 2 présentent les évolutions obtenues par simulation numérique de la position angulaire de la porte  $\theta_{40}$ , de la position angulaire du bras support (1)  $\theta_{10}$  et du rapport  $\frac{d\theta_{40}}{d\theta_{61}}$  en fonction de l'angle de rotation du moteur  $\theta_{61}$ .

On suppose qu'à l'instant initial  $t = 0$ , on se trouve dans la configuration 'porte fermée' pour laquelle on considère que  $\theta_{61} = \theta_{51} = 0$ .

## Questions

5. En utilisant la courbe 1 et la valeur initiale de  $\theta_{40}(t = 0) = \theta_{40}^i$ , extraire la valeur initiale de  $\theta_{10}(t = 0) = \theta_{10}^i$ . Déterminer alors l'expression de  $\lambda_0 = \lambda(t = 0)$  en fonction de  $L_1$ ,  $L_0$  et  $\theta_{10}^i$ . Faire l'application numérique
6. En utilisant les conditions de roulement sans glissement, montrer que  $\lambda(t) = a \cdot \theta_{61}(t) + \lambda_0$ ,  $a \in \mathbb{R}$ . Déterminer l'expression de la constante  $a$ .
7. Déterminer la fréquence de rotation supposée constante du moteur (en  $\text{tr} \cdot \text{mn}^{-1}$ ) si la durée de la phase de décalage est limitée à  $0,3 \text{ s}$
8. Déterminer alors en utilisant la courbe 2, la plage de variation de la fréquence de rotation de la porte (4) par rapport à la caisse (0) en  $\text{rd} \cdot \text{s}^{-1}$
9. En se plaçant dans la position correspondante, déterminer la norme maximale (en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) de la vitesse en bout de porte (4) par rapport à la caisse (0). Valider le critère du cahier des charges fonctionnel correspondant

Afin de satisfaire des contraintes de stabilité, il est nécessaire de limiter la fréquence de rotation  $\dot{\theta}_{30}$  de la bielle (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  $\dot{\theta}_{61} = -50 \text{ tr} \cdot \text{mn}^{-1}$  (sens horaire). Pour les questions suivantes, on utilisera le document-réponse 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.

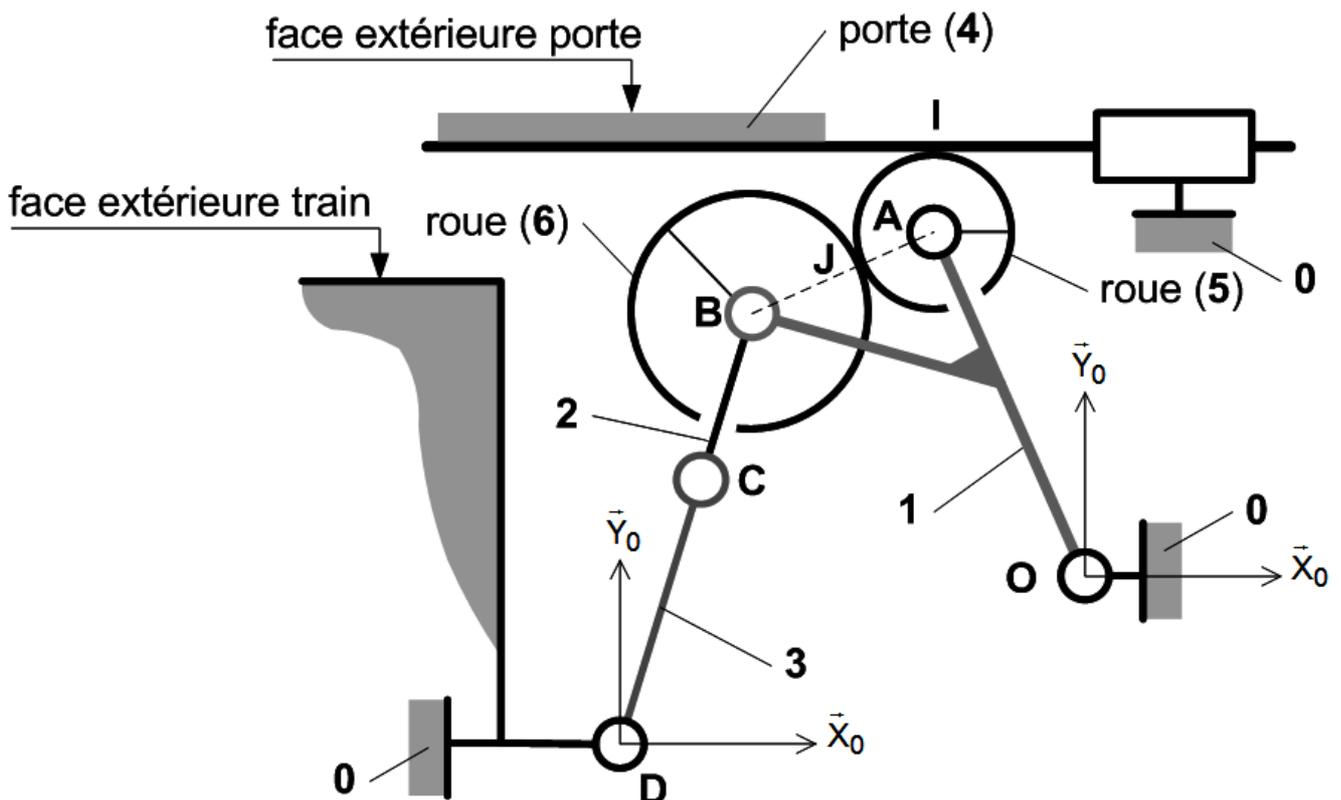
10. Sur le document-réponse fourni, définir géométriquement la position des points (B, C, I, J) dans la configuration 'porte fermée'. Faire apparaître la roue (6) et les solides (3), (2) et (1).

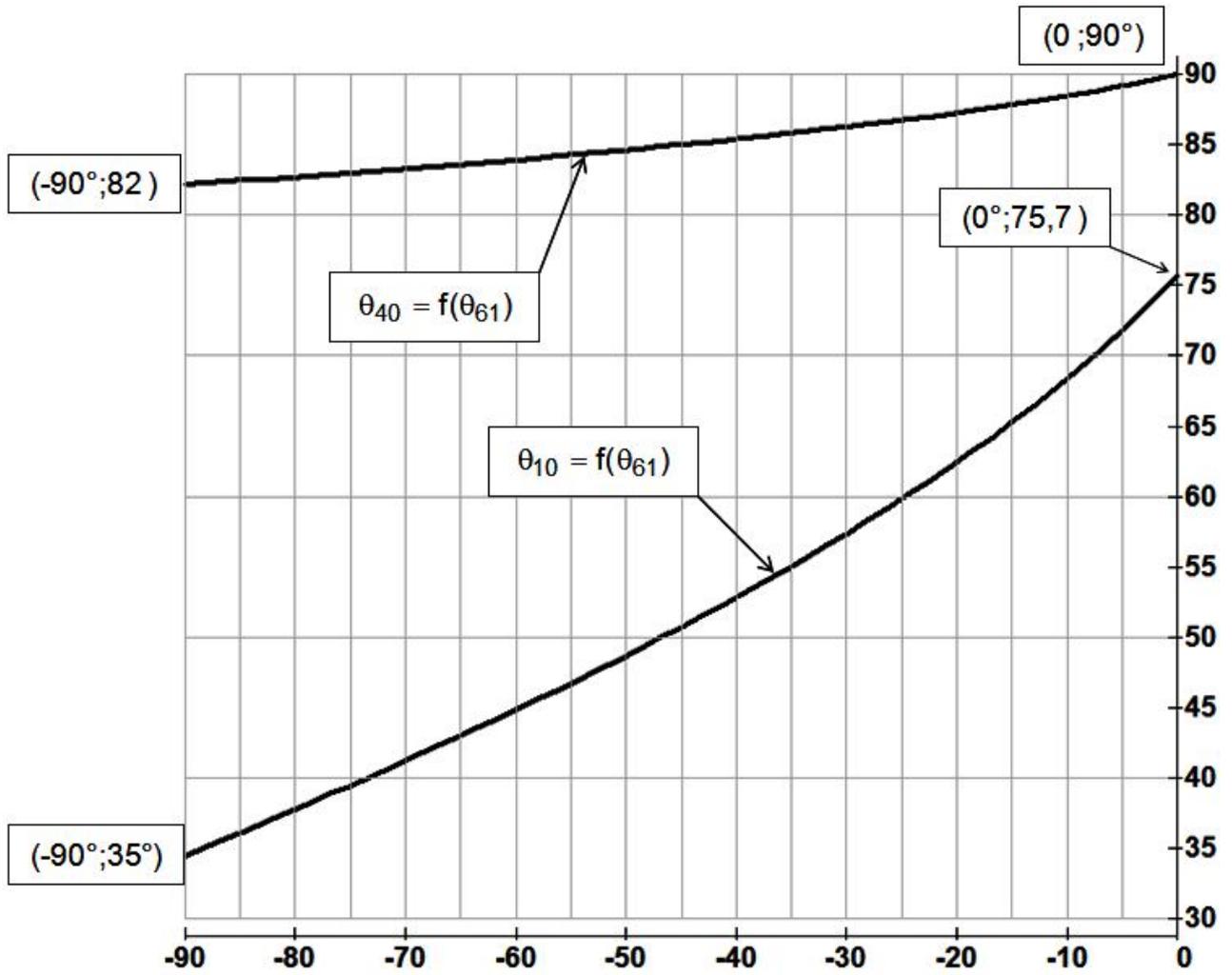
Pour la question suivante, on précisera les directions des différentes vitesses et/ou la position des centres instantanés de rotation. On respectera l'échelle des vitesses donnée sur le document réponse. Les justifications des tracés seront reportées directement sur le document-réponse.

11. Sur le document-réponse fourni, construire graphiquement la vitesse du point I appartenant à la porte (4) par rapport à (1), soit  $\vec{V}_{I \in 4/1}$  à partir de la vitesse  $\vec{V}_{J \in 6/1}$ . Justifier vos hypothèses. Construire alors les vitesses  $\vec{V}_{I \in 4/0}$  et  $\vec{V}_{I \in 1/0}$ . Après avoir construit la vitesse  $\vec{V}_{B \in 1/0}$ , déterminer  $\vec{V}_{C \in 3/0}$ . En déduire la valeur de  $\dot{\theta}_{30}$  en  $rd.s^{-1}$ . Valider le critère du cahier des charges fonctionnel correspondant

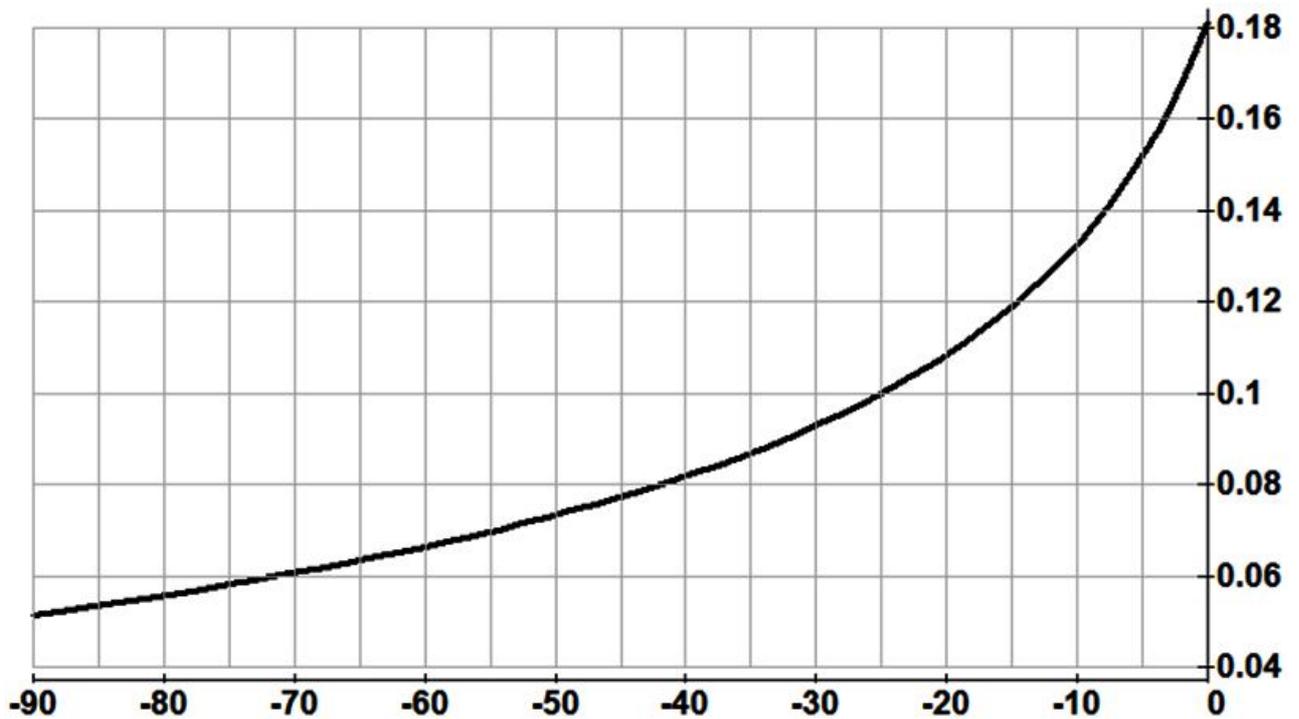
On se place à présent dans la phase d'escamotage au cours de laquelle la position angulaire du bras support (1) par rapport à (0) reste celle atteinte par ce solide en fin de la phase de décalage. On observe le même comportement pour les solides (2) et (3).

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





Courbe 1, Evolutions (en °) de  $\theta_{40} = f(\theta_{61})$  et  $\theta_{10} = f(\theta_{61})$



Courbe 2, Evolution de  $\frac{d\theta_{40}}{d\theta_{61}} = f(\theta_{61})$

