

DEVOIR MAISON DE SCIENCES DE L'INGENIEUR (DM₂)

Evaluation des cycles :

- **Cy₃ : Modéliser le comportement Cinématique d'un transmetteur linéaire (CIN)**
- **Cy₂ : Déterminer les lois de pilotage en mouvement**

Support :

- **Fenwick motorisé**



Consignes :

Il est fortement conseillé de **lire la totalité du sujet** avant de démarrer votre travail.

L'utilisation du crayon papier est **interdite** sur la copie.

La rédaction des réponses sera **la plus concise possible** : on évitera de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.

Chaque réponse ne pourra se limiter à une suite d'expressions mathématiques sans justification.

On encadrera obligatoirement les résultats.

Le non-respect de ces consignes entraînera des points de pénalisation.

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un élève est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre son travail en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

1 - Description du contexte de l'étude

Le stockage des bateaux dans des « ports à sec » offre une solution alternative à la saturation des ports de plaisance tout en limitant fortement les contraintes d'entretien et de maintenance. Les bateaux sont stockés dans des casiers et sont mis à l'eau et rangés grâce à un Fenwick motorisé. L'objet de cette étude, représenté sur la figure 1, est l'un des Fenwick motorisés qui assurent les opérations de « sortie de l'eau – dépose dans le casier » ou « sortie du casier – mise à l'eau ». Compte tenu du nombre important de bateaux stockés, l'exigence principale est de satisfaire l'impatience des plaisanciers.



Chargement du bateau



Mise à l'eau du bateau

Figure 1 : Mise en situation

Ce type de Fenwick motorisé, représenté sur la figure 3, permet la manutention de bateaux de 3 tonnes à une hauteur de 8 mètres. Il est principalement constitué :

- Du chariot qui assure le déplacement de l'ensemble et apporte la puissance pour la préhension et le levage ;
- Du tablier, constitué du mât et des fourches qui permet la préhension et la dépose du bateau.



Figure 1 : Description sommaire

Le trajet du Fenwick est imposé par la disposition des casiers par rapport au quai de mise à l'eau représenté sur la figure 4. Afin d'optimiser la fréquence de mise à l'eau des bateaux, tout en garantissant les conditions de sécurité, il est nécessaire d'optimiser le temps de déplacement du chariot en ligne droite, en virage ou en freinage. Le principal danger auquel est confronté le conducteur est le basculement du Fenwick.

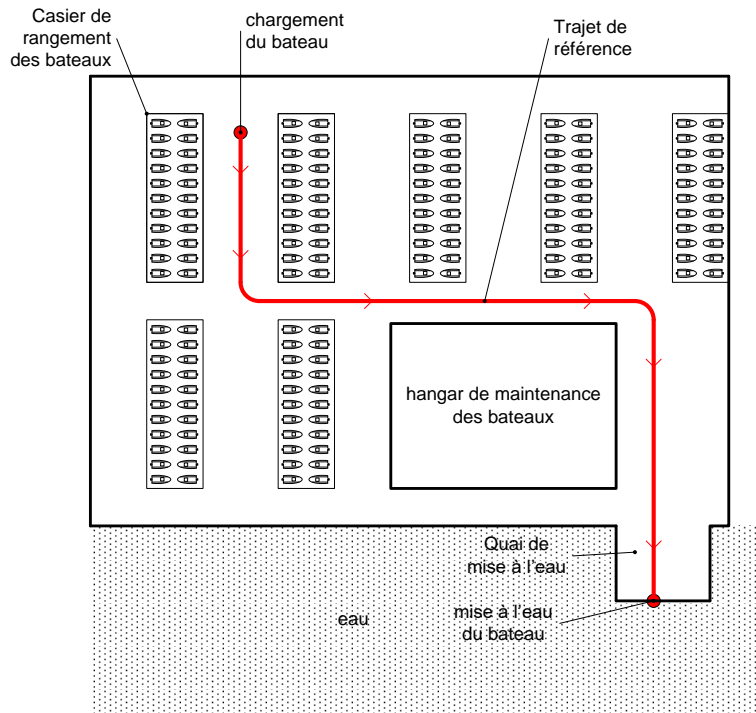
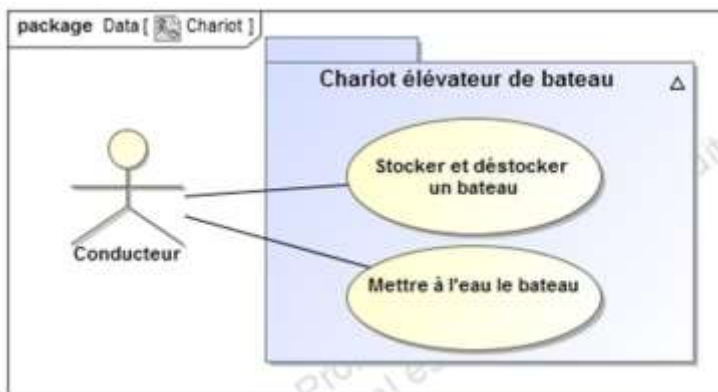


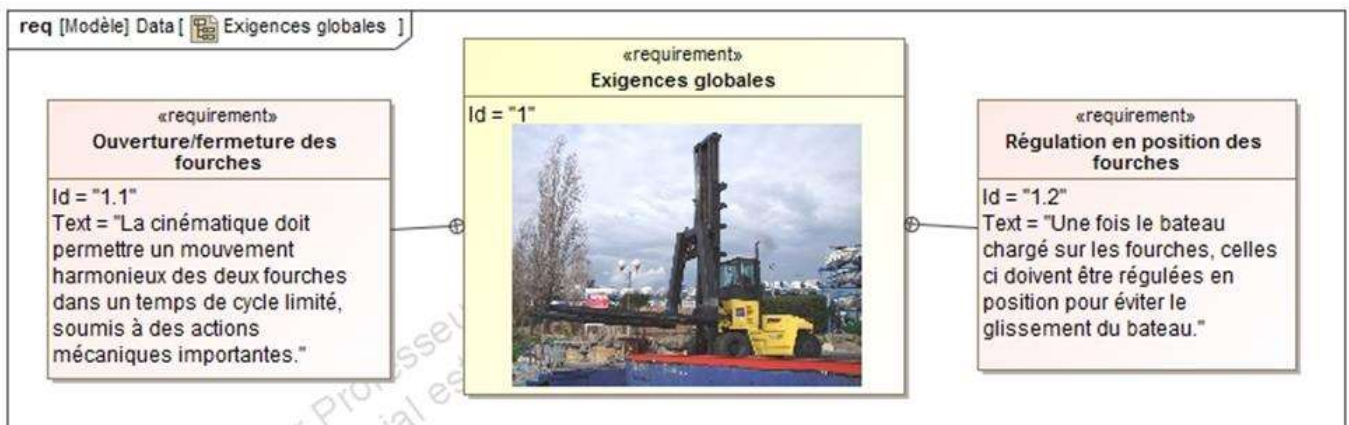
Figure 4 : Trajet type du Fenwick motorisé

1.1 - Description SysML partielle



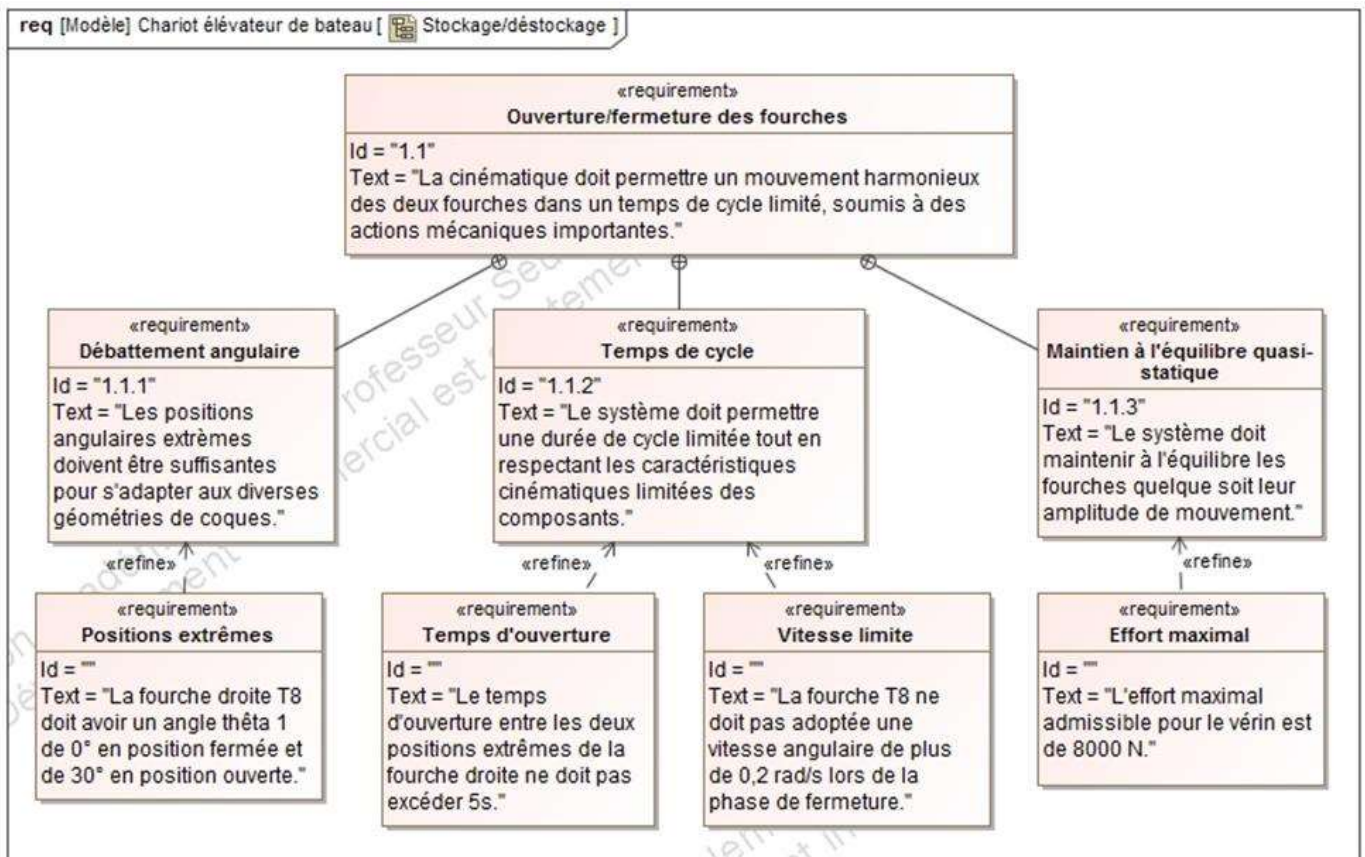
L'objectif de cette étude est de valider les exigences caractérisant certaines spécificités du chariot : notamment, on mettra en évidence la nécessité d'une structure cinématique évoluée pour respecter des temps de cycles courts et la transmission d'efforts élevés. On mettra également en évidence la nécessité de dispositifs de sécurité permettant au chariot d'assurer une cadence optimale tout en lui permettant de se déplacer à des vitesses élevées. On donne ci-dessous le diagramme d'exigence global relatif à cette étude.

Les valeurs numériques des performances à valider seront définies par des diagrammes d'exigences partielles tout au long du sujet.



2 - Analyse de l'ouverture des fourches

On donne ci-dessous le diagramme d'exigences partielles retenu pour cette partie I.



2.1 - Analyse de l'ouverture des fourches et des exigences associées

Cette étude comporte deux sous parties : la première sera relative à une étude géométrique partielle du système d'ouverture alors que la deuxième portera sur les actions mécaniques à générer pour maintenir ce dispositif dans une position d'équilibre particulière.

a. Étude géométrique

Objectifs du travail : Dimensionner la barre de renvoi par sa longueur - Dimensionner le vérin par le choix de sa course

L'ANNEXE 1 présente les mouvements possibles du tablier qui permettent d'assurer la préhension du bateau. Un schéma cinématique du tablier est disponible en ANNEXE 2.

Le modèle d'étude retenu pour cette partie est donné ci-dessous figure 5 :

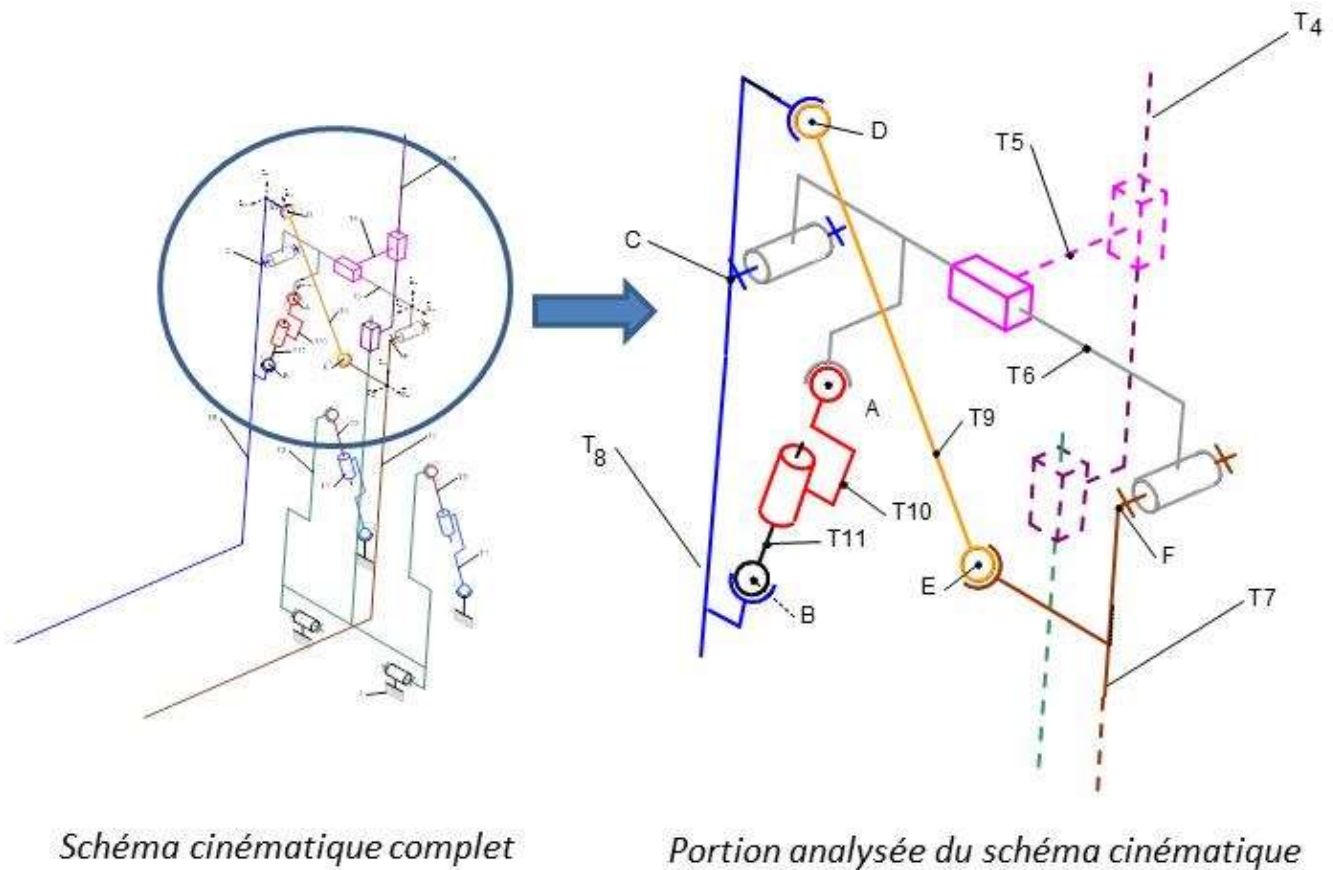
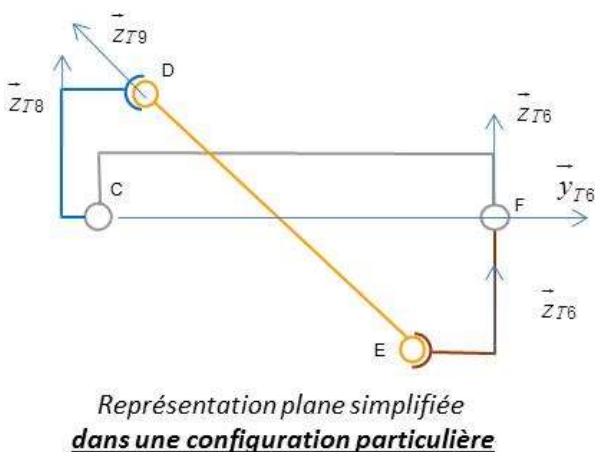


Figure 5 : Modèle cinématique retenu

Question 1: A partir du schéma cinématique complet du système $\{T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}, T_{11}\}$ Dessiner le graphe des liaisons du chariot en sachant que les liaisons en A, B, D et E sont des liaisons sphériques qui n'ont pas d'axe particulier.

La sortie de la tige du vérin T_{11} entraîne la rotation de la fourche droite T_8 autour de l'axe de la pivot avec T_6 . Le mouvement d'ouverture est transmis par l'intermédiaire de la barre de renvoi T_9 , à la fourche gauche T_7 qui est entraînée en rotation autour de l'axe par la pivot avec T_6 . On obtient ainsi le mouvement d'ouverture des fourches.



Ce début d'analyse porte sur une portion du mécanisme d'ouverture des fourches constitué des pièces T_6, T_7, T_8, T_9 comme représenté ci-contre. Le chariot est immobile, les mécanismes de basculement, de levage et de déplacement latéral du tablier sont inactifs. T_6 sera considéré comme fixe.

On donne le paramétrage géométrique utile ici :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{FC} &= -e \vec{y}_{T6} \\ \overrightarrow{FE} &= -a \vec{y}_{T7} - b \vec{z}_{T7} \\ \overrightarrow{CD} &= c \vec{y}_{T8} + d \vec{z}_{T8} \\ \overrightarrow{ED} &= f \vec{z}_{T9} \end{aligned}$$

Question 2: Proposer les figures géométrales de changement de bases pour les trois paramètres : $\theta_1, \theta_2, \theta_4$
Avec $\theta_1 = (\vec{Y}_{T6}, \vec{Y}_{T8}), \theta_2 = (\vec{Y}_{T6}, \vec{Y}_{T7}), \theta_4 = (\vec{Y}_{T6}, \vec{Y}_{T9})$

Question 3: Écrire les relations à valeur scalaire reliant $\theta_1, \theta_2, \theta_4$ et les distances e, a, b, c, d et f et justifier le choix d'un unique actionneur pour commander l'ouverture.

La position de référence du mécanisme est définie telle que à $t = 0 \text{ s}$: $\theta_1(0) = 0^\circ, \theta_2(0) = 0^\circ$

Question 4: Dans ces conditions, donner l'expression de la longueur f de la barre de renvoi permettant de valider la position de référence en fonction de a, b, c, d et e .

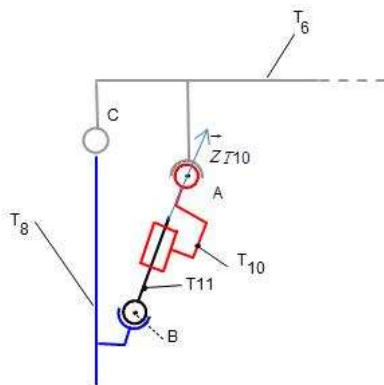
On pourrait notamment montrer que cette barre de renvoi permet d'avoir un comportement harmonieux lors de l'ouverture/fermeture des deux fourches (ie comportement sensiblement symétrique).

Les courbes en ANNEXE 3 donnent l'évolution des différents paramètres en fonction du temps pour un cycle d'ouverture. L'instant initial de la simulation correspond à la position de référence.

On admet que la distance $c_{\text{vérin}}$ est la distance parcourue par la tige du vérin par rapport au corps du vérin. On considère que $c_{\text{vérin}} = 0$ correspond à la position de référence du mécanisme.

Question 5: En analysant ces courbes, donner la valeur de la course $c_{\text{vérin}}$ du vérin permettant de valider l'exigence 1.1.1. Le temps d'ouverture lié à l'exigence 1.1.2 est-il validé ? Justifier.

Question 6: Ecrire la relation entre θ_1 et θ_2 qui assure une ouverture angulaire identique des deux fourches. Quel critère pourriez-vous ainsi rajouter au cahier des charges ? Justifier. Quelle flexibilité en % faut-il négocier sur ce critère afin d'éviter toute modification sur le mécanisme ? Donner un argument permettant de négocier cette flexibilité.



Représentation plane simplifiée
dans une configuration particulière

Un régulateur de débit proportionnel et un limiteur de pression sont installés dans le circuit hydraulique d'alimentation du vérin afin de garantir ces conditions de fonctionnement.

Cette analyse porte sur la portion du mécanisme comme représenté ci-contre. On donne :

$$\mu(t)^2 = (i - g \cdot \cos(\theta_1) - h \cdot \sin(\theta_1))^2 + (h \cdot \cos(\theta_1) - g \cdot \sin(\theta_1) - j)^2$$

Les grandeurs intervenant dans cette relation sont définies en ANNEXE 2.

Question 7: Rappeler la méthode permettant d'obtenir cette relation (on ne demande pas de faire les calculs).

Question 8: En déduire $\dot{\theta}_1(t) = \frac{d\theta_1(t)}{dt}$ en fonction de $\mu, \dot{\mu}, \theta_1$ et des paramètres géométriques.

L'exploitation de la relation établie nous permet de tracer le réseau de courbes de la Figure 7 qui donne la variation de $\frac{d\theta_1(t)}{dt}$ pour différentes valeurs de $\dot{\mu}$ (vitesse de rentrée de la tige du vérin T_{10} - T_n). Les valeurs de $\dot{\mu}$ considérées sont : **0.05 m/s, 0.1 m/s, 0.15 m/s et 0.2 m/s.**

Pour chaque courbe, la position de départ correspond aux fourches complètement ouvertes et la position de fin correspond à la position de référence.

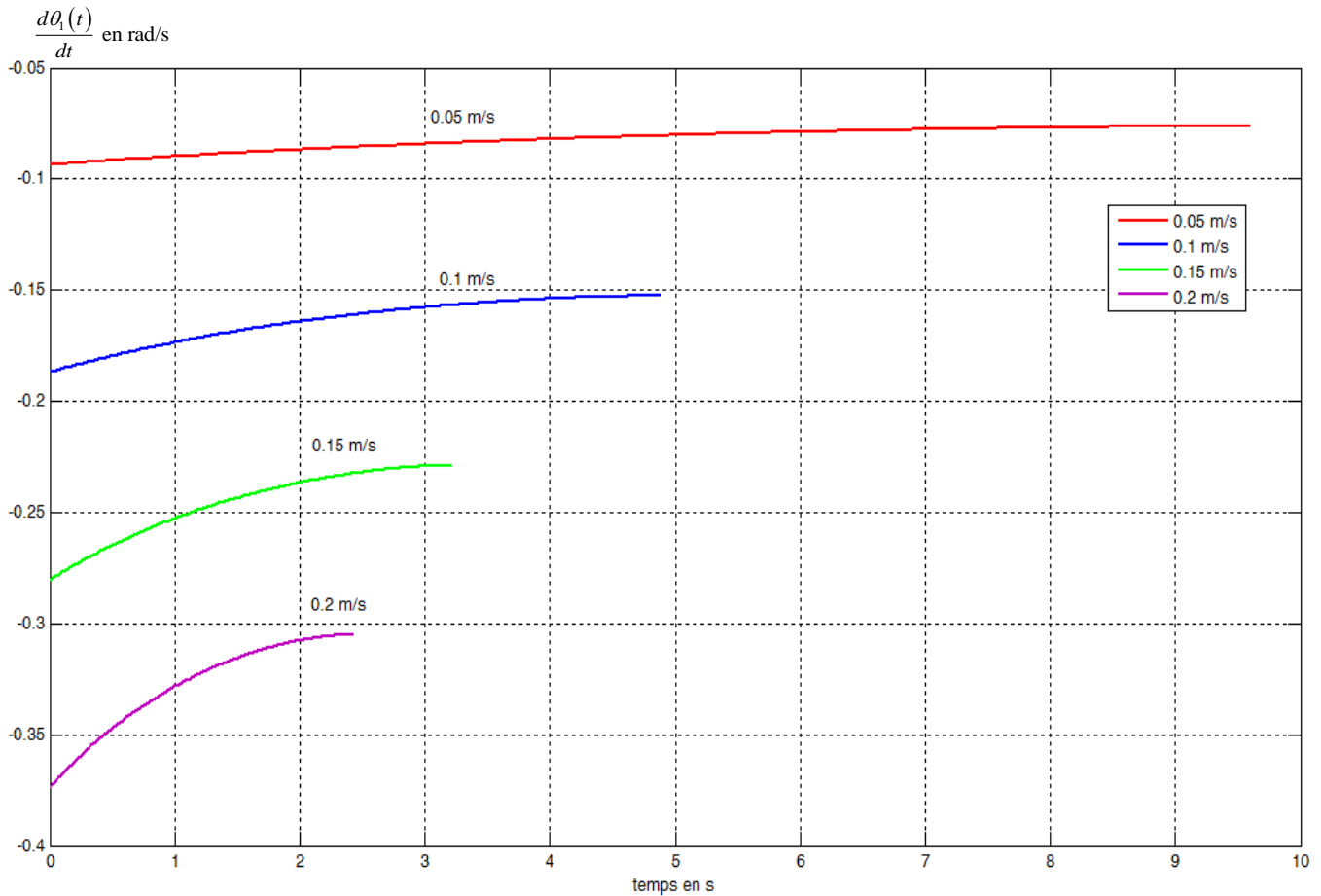


Figure 7

Question 9: Donner la valeur de $\dot{\mu}$ permettant d'assurer la validation simultanée des vitesse limites et temps d'ouverture liés à l'exigence 1.1.2? Le raisonnement ne prendra en compte que les 4 valeurs de $\dot{\mu}$ proposées Figure 7.

La section de la chambre du vérin $T_{10}-T_{11}$ est $S_{\text{vérin}} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

Question 10: Par une analyse dimensionnelle, **donner** la relation entre le débit volumique q du vérin, la section du vérin et la vitesse de sortie du vérin.

Question 11: En **déduire** la valeur du débit q .

Question 12: **Déterminer** (sens, direction et norme) à $t=5\text{s}$ du vecteur vitesse de rotation $\vec{\Omega}_{8/6}$. En **déduire** le vecteur vitesse $\vec{V}_{B \in 8/6}$.

Question 13: A partir de la connaissance de $\vec{V}_{B \in 8/6}$ en **déduire** $\vec{V}_{B \in 11/6}$ puis $\vec{V}_{B \in 10/6}$

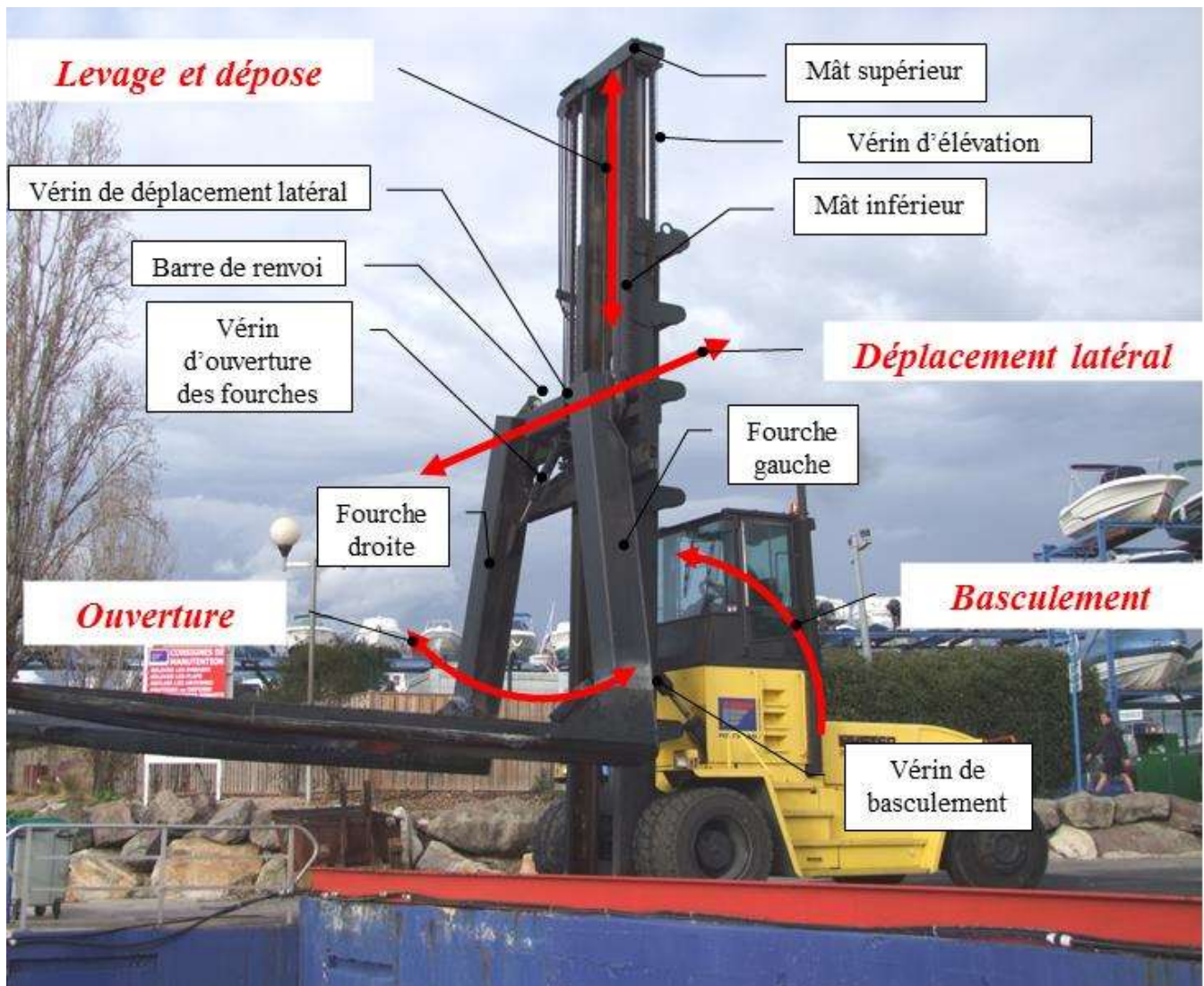
Question 14: A partir de la connaissance de $\vec{V}_{B \in 10/6}$ et $\vec{V}_{A \in 10/6}$ en **déduire** la coordonnée de $\vec{\Omega}_{10/6}$ sur \vec{x}_{T6} .

Fin du Devoir Maison
Bon courage

ANNEXE 1

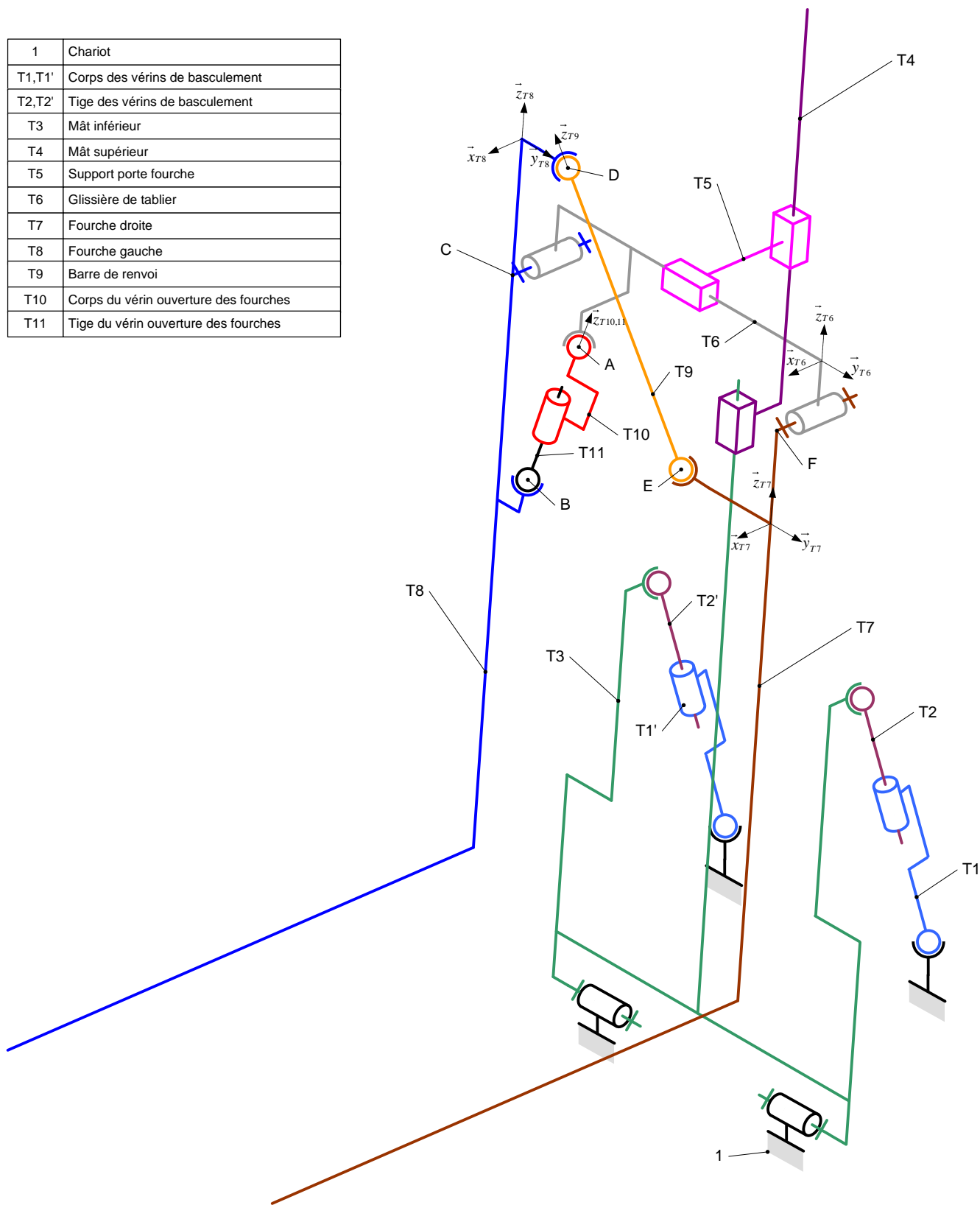
Les mouvements du tablier

- Basculement
- Levage et dépose
- Déplacement latéral
- Ouverture des fourches



ANNEXE 2

1	Chariot
T1,T1'	Corps des vérins de basculement
T2,T2'	Tige des vérins de basculement
T3	Mât inférieur
T4	Mât supérieur
T5	Support porte fourche
T6	Glissière de tablier
T7	Fourche droite
T8	Fourche gauche
T9	Barre de renvoi
T10	Corps du vérin ouverture des fourches
T11	Tige du vérin ouverture des fourches



ANNEXE 2

Paramétrage et notations

Repère $R_0 = (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, référentiel galiléen, lié à la route. \vec{z}_0 est vertical ascendant.

Repère $R_{T6} = (F, \vec{x}_{T6}, \vec{y}_{T6}, \vec{z}_{T6})$, supposé galiléen dans les conditions de l'étude, lié à la pièce T6 de masse m_{T6} .

Repère $R_{T7} = (G_{T7}, \vec{x}_{T7}, \vec{y}_{T7}, \vec{z}_{T7})$ lié à la fourche gauche T7 de masse m_{T7} . G_{T7} est le centre de gravité du solide T7, $\vec{x}_{T6} = \vec{x}_{T7}$ et $(\vec{y}_{T6}, \vec{y}_{T7}) = (\vec{z}_{T6}, \vec{z}_{T7}) = \theta_2$.

Repère $R_{T8} = (G_{T8}, \vec{x}_{T8}, \vec{y}_{T8}, \vec{z}_{T8})$ lié à la fourche droite T8 de masse m_{T8} . G_{T8} est le centre de gravité du solide T8, $\vec{x}_{T6} = \vec{x}_{T8}$ et $(\vec{y}_{T6}, \vec{y}_{T8}) = (\vec{z}_{T6}, \vec{z}_{T8}) = \theta_1$.

Repère $R_{T9} = (D, \vec{x}_{T9}, \vec{y}_{T9}, \vec{z}_{T9})$ lié à la barre de renvoi T9, $\vec{x}_{T6} = \vec{x}_{T9}$ et $(\vec{y}_{T6}, \vec{y}_{T9}) = (\vec{z}_{T6}, \vec{z}_{T9}) = \theta_4$. La masse du solide T9 sera négligée.

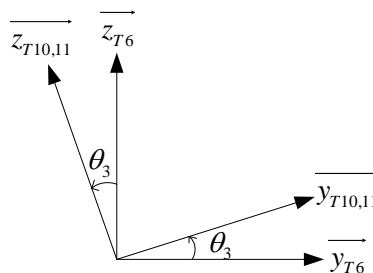
Repère $R_{T10} = (A, \vec{x}_{T10}, \vec{y}_{T10}, \vec{z}_{T10})$ lié au corps du vérin T10, $\vec{x}_{T6} = \vec{x}_{T10}$ et $(\vec{y}_{T6}, \vec{y}_{T10}) = (\vec{z}_{T6}, \vec{z}_{T10}) = \theta_3$,

La position relative des solides T10 et T11 est donnée par $\vec{BA} = \mu \vec{z}_{T10}$. Les masses des solides T10 et T11 seront négligées.

On note également :

$$\begin{aligned} \vec{BA} &= \mu \vec{z}_{T10, T11} & \vec{FC} &= -e \vec{y}_{T6} & \vec{FE} &= -a \vec{y}_{T7} - b \vec{z}_{T7} & \vec{CD} &= c \vec{y}_{T8} + d \vec{z}_{T8} & \vec{ED} &= f \vec{z}_{T9} \\ \vec{BC} &= -g \vec{y}_{T8} + h \vec{z}_{T8} & \vec{CA} &= i \vec{y}_{T6} - j \vec{z}_{T6} \end{aligned}$$

Les points A, B, C, D, E et F sont coplanaires.



ANNEXE 3

Les courbes ont été obtenues à l'aide d'un logiciel de simulation. Aucune limite d'amplitude du mouvement d'ouverture n'a été imposée lors de l'élaboration du modèle numérique. Il appartient au candidat d'analyser ces courbes dans la plage de fonctionnement du mécanisme préconisée par le cahier des charges.

