Devoir n°2

PSI : Lycée Rabelais

RoTaTor tout électrique

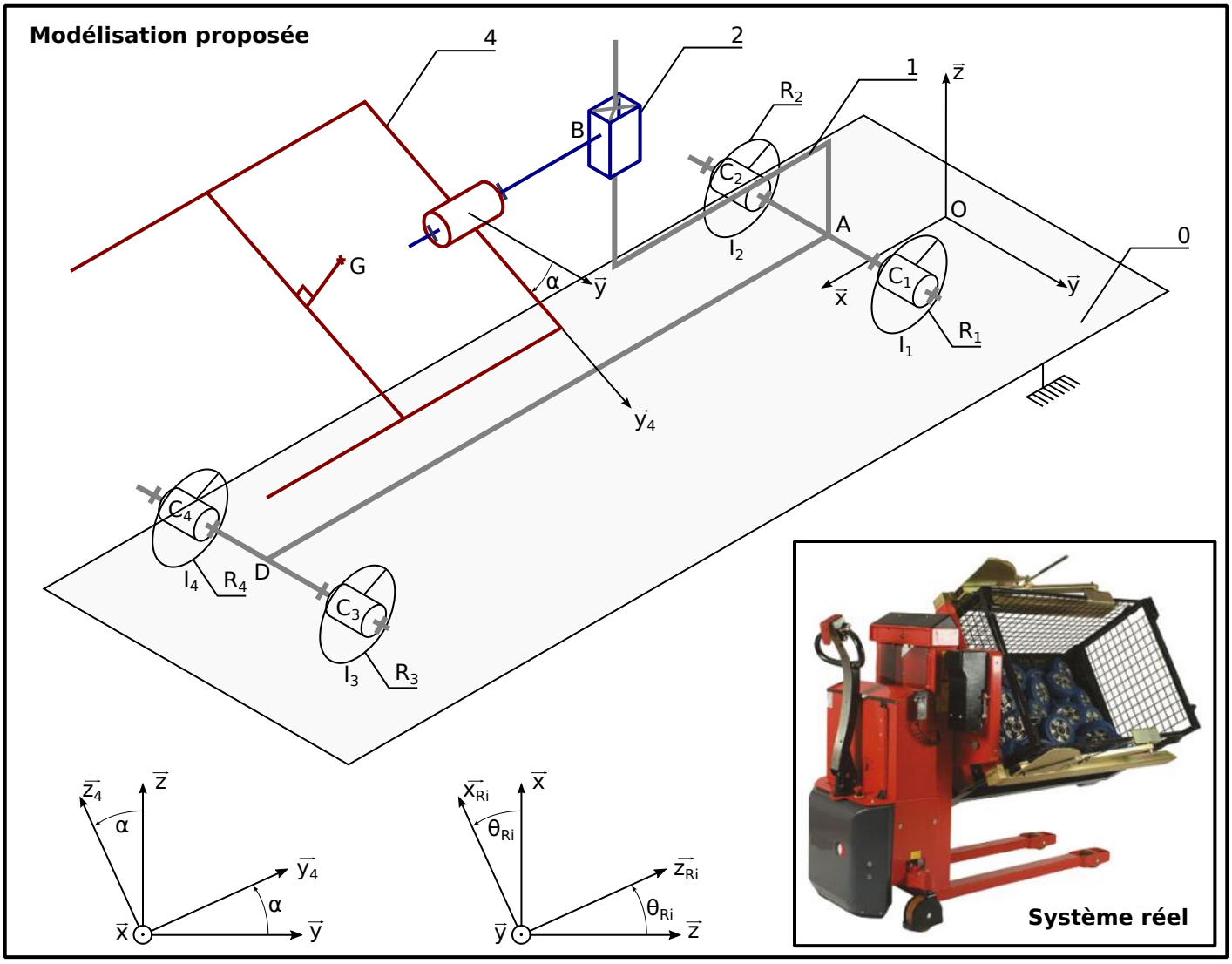
≈ 2h30

Répondre intégralement sur le document-réponse !

1 Présentation du système

1.1 Présentation générale

La société Mécamontage propose un transpalette inclinable : le ROTATOR. Ce transpalette est entièrement motorisé et a la particularité d'être totalement électrique.



Ce seul équipement permet l'ajustement de la hauteur de la palette, sa rotation et le transport de celle-ci. Le contrôle de chacun de ces mouvements peut être réalisé à distance.

Le ROTATOR permet de basculer de + ou - 180° des caisses et des box afin que l'utilisateur puisse atteindre le fond de

ceux-ci sans avoir à se baisser et ainsi soulager son dos.

Ce transpalette permet de transporter des caisses de largeur de 800, 850 ou 1000 mm. Les bras de maintien avec attaches de sécurité peuvent maintenir lors du basculement, des caisses de hauteur comprise entre 380 et 870 mm.

Le constructeur annonce une capacité maximale de retournement de 1000 kg si le centre de gravité G est au maximum à 80 mm de l'axe de rotation. La capacité de charge de retournement est réduite lorsque la distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation augmente.

Au maximum, le transpalette doit pourvoir lever une charge de 2500 kg sans rotation de la fourche.

La fourche doit pouvoir monter/descendre de 540 mm au minimum.

On cherche ici à choisir les actionneurs afin de valider ces performances.

1.2 Paramétrage

Le ROTATOR est modélisé par les éléments suivants :

- Quatre roues, notées R_1, R_2, R_3 et R_4 et considérées de même rayon $r = 65$ mm ;
- Un châssis, noté 1 ;
- Une pièce intermédiaire, notée 2 ;
- Un ensemble { palette et fourches } noté 4.

Chaque roue R_i, associée à une base $(\overrightarrow{x_{R_i}}, \overrightarrow{y_{R_i}}, \overrightarrow{z_{R_i}})$, roule sans glisser sur le sol au point de contact I_i. Le sol est associé à la base $(\overrightarrow{x}, \overrightarrow{y}, \overrightarrow{z})$. On considère ce contact ponctuel. Chacune de ces roues R_i est en liaison pivot d'axe $(C_i, \overrightarrow{y})$ avec le châssis. Les rotations des roues par rapport au châssis sont paramétrées par les angles $\theta_{R_i} = (\overrightarrow{z}, \overrightarrow{z_{R_i}}) = (\overrightarrow{x}, \overrightarrow{x_{R_i}})$ où $\overrightarrow{y} = \overrightarrow{y_{R_i}}$. On considèrera que le châssis est en translation par rapport au sol et se déplace dans la direction $\overrightarrow{x}$.

La pièce intermédiaire 2 permet d'ajuster la hauteur de la palette. Elle est en liaison glissière avec le châssis. La hauteur de la palette est paramétrée par la longueur μ de telle sorte de $\overrightarrow{AB} = l_1 \overrightarrow{x} + \mu \overrightarrow{z}$. μ est une fonction du temps. La liaison glissière entre le châssis 1 et la pièce intermédiaire 2 est donc une liaison motorisée. L'action de la motorisation sera modélisée par le torseur suivant :

$$\{1 \xrightarrow{mot} 2\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R_{1 \xrightarrow{mot} 2}} = F_{12} \overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{M_{B,1 \xrightarrow{mot} 2}} = \overrightarrow{0} \end{array} \right.$$

L'ensemble { palette, fourches } est en liaison pivot d'axe $(B, \overrightarrow{x})$ avec la pièce 2. L'angle $\alpha = (\overrightarrow{y}, \overrightarrow{y_4}) = (\overrightarrow{z}, \overrightarrow{z_4})$ paramètre l'orientation de la palette avec $\overrightarrow{x} = \overrightarrow{x_4}$. α est une fonction du temps. Cette liaison permet donc d'ajuster l'orientation. Cette liaison est également motorisée et l'action de la motorisation sera modélisée par le torseur suivant :

$$\{2 \xrightarrow{mot} 4\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R_{2 \xrightarrow{mot} 4}} = \overrightarrow{0} \\ \overrightarrow{M_{B,2 \xrightarrow{mot} 4}} = C_{24} \overrightarrow{x} \end{array} \right.$$

Tous les poids sont négligés à l'exception de celui de l'ensemble { palette, fourches }. Le centre de gravité de l'ensemble 4 est le point G et la masse de cet ensemble est m.

L'ensemble des paramètres géométriques sont donnés ci-dessous :

$\overrightarrow{OA} = x_A \overrightarrow{x} + r \overrightarrow{z}$ avec $r = 65$ mm et x_A une fonction du temps correspondant au déplacement du ROTATOR dans la direction $\overrightarrow{x}$ avec $V = \dfrac{dx_A}{dt}$ tel que $\overrightarrow{V}_{A \in 1/0} = V \overrightarrow{x}$;

$\overrightarrow{AB} = l_1 \overrightarrow{x} + \mu \overrightarrow{z}$ avec $l_1 = 200$ mm et $\mu \in [650 \text{ mm} ; 1190 \text{ mm}]$;

$\overrightarrow{BG} = l_{4x} \overrightarrow{x} + l_{4z} \overrightarrow{z_4}$ avec $l_{4x} = 665$ mm et $l_{4z} \in [50 \text{ mm} ; 900 \text{ mm}]$;

$\overrightarrow{AD} = L\,\overrightarrow{x}$ avec $L = 1300$ mm ;

$\overrightarrow{AC_1} = \overrightarrow{C_2A} = \overrightarrow{DC_3} = \overrightarrow{C_4D} = e\,\overrightarrow{y}$ avec $e = 560$ mm ;

$\overrightarrow{I_iC_i} = r\,\overrightarrow{z}$.

2 Capacité de retournement de la palette

On cherche ici à choisir l'actionneur nécessaire pour retourner l'ensemble 4. On s'intéresse donc à la liaison pivot entre 2 et 4. Le choix d'un véhicule tout électrique impose de choisir un motoréducteur (moteur et réducteur).

Question 1. Par un isolement pertinent, déterminer le couple C_{24} à fournir par le motoréducteur en fonction des données du problème.

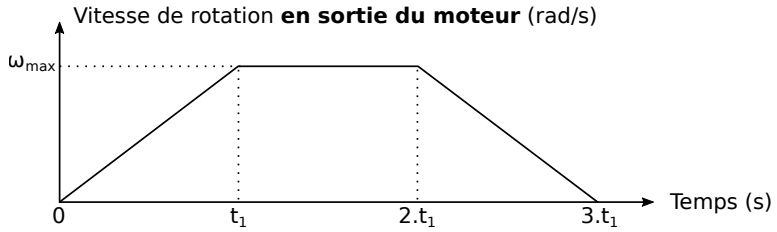
Question 2. Faire l'application numérique dans le pire des cas en fonction de la performance annoncée par le constructeur.

On envisage l'utilisation d'un moteur à courant continu ayant les caractéristiques suivantes :

Tension nominale	48 V
Puissance	300 W
Vitesse de rotation nominale	3300 tr/min
Couple maximal	1.5 N.m

Question 3. Quel rapport de réduction, que l'on notera r, faut-il utiliser pour valider l'exigence demandée ?

Le constructeur souhaite un temps de retournement de 0° à 180° en 30 s maximum. La motorisation impose l'utilisation d'un trapèze de vitesse tel que présenté sur la figure ci-dessous :



Question 4. Déterminer $\Delta\alpha$ la variation de l'angle α pendant un trapèze de vitesse en fonction de ω_{max}, r et t_1.

Question 5. Déterminer la vitesse de rotation en sortie du moteur ω_{max} nécessaire pour vérifier le temps de retournement en prenant arbitrairement $r = 10^{-3}$.

Question 6. Le moteur choisi et le réducteur avec la valeur $r = 10^{-3}$ permettent-ils de valider les exigences liés au retournement ?

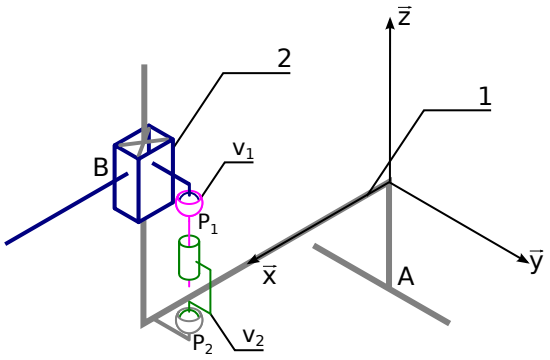
3 Capacité de soulèvement

On s'intéresse maintenant au choix de la motorisation en ce qui concerne la liaison glissière entre 1 et 2.

Question 7. Déterminer l'effort F_{12} à fournir par la motorisation pour maintenir le système en équilibre.

Afin d'exercer cet effort de levage, on envisage l'utilisation d'un vérin hydraulique alimenté par une pompe électrique. Ce vérin, modélisé par l'ensemble $\{ v_1, v_2 \}$, est implanté selon le schéma ci-dessous. La tige du vérin (v_1) est en liaison

sphérique avec la pièce 1 en P_1 et le corps du vérin (v_2) est en liaison sphérique avec la pièce 2 en P_2. L'action $\{1 \xrightarrow{\text{mot}} 2\}$ est donc plus exactement l'action $\{v_1 \to 2\}$.



Question 8. Sachant que $\overrightarrow{P_1P_2}$ est colinéaire à $\overrightarrow{y}$, montrer que la résultante de l'action $\{v_1 \to 2\}$ est dirigée par le vecteur $\overrightarrow{y}$.

Le diamètre du piston du vérin est noté D_p et le diamètre de la tige du vérin est noté D_t. On note également p, la pression d'alimentation du vérin. La pompe utilisée permet, au maximum de fournir une pression $p_{\max} = 50$ bars.

Une recherche a permis de dégager 5 vérins dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous :

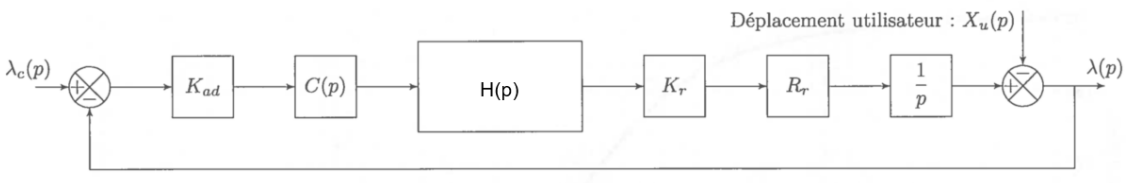
Référence	D_p (en cm)	D_t (en cm)	course du vérin (en mm)
`ver_675_6`	6	1	675
`ver_625_8`	8	2	625
`ver_575_10`	10	3	575
`ver_515_12`	12	4	515
`ver_475_14`	14	5	475

Question 9. Quel(s) vérin(s) pourrai(en)t convenir ?

4 Asservissement de suivi de personne

On souhaite instrumenter ce transpalette afin qu'il puisse suivre une personne (sans que celle-ci ne soit directement en contact avec elle).

Le déplacement est assuré par les quatre roues motrices. On se limite au cas particulier d'un déplacement en ligne droite. Cela mène donc à l'étude d'un asservissement ayant la structure suivante :



Avec :

- λ_c est la consigne d'écart (en m) que l'on veut maintenir entre l'utilisateur et le ROTATOR ;
- λ est la valeur d'écart (en m) entre l'utilisateur et le ROTATOR ;
- K_{ad} est le gain d'un adaptateur (en V/m) permettant d'adapter la consigne d'écart en tension de commande ;
- $C(p)$ est un correcteur proportionnel de telle sorte que $C(p) = K_c$;

- $H(p) = \dfrac{\Omega(p)}{U(p)}$ où $\Omega(p)$ est la vitesse de rotation du moteur et $U(p)$ sa tension d'alimentation. On choisit de modéliser le fonctionnement du moteur par une fonction de transfert :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K}{1 + T.p)}$$

- K_r est le gain associé au réducteur ;
- R_r est le rayon de la roue ;
- $X_u(p)$ correspond au déplacement de l'utilisateur. Ce déplacement sera vu comme une perturbation du système.

Question 10. Déterminer les fonctions de transfert $H_c(p)$ et $H_u(p)$ sous forme canonique de telle sorte que $\lambda(p) = H_c(p).\lambda_c(p) + H_u(p).X_u(p)$.

On considère, pour régler la valeur K_c, que l'on souhaite la réponse la plus rapide et sans dépassement pour une entrée en échelon de consigne en l'absence de déplacement de l'utilisateur.

Question 11. Déterminer la valeur de K_c en fonction de T, K_{ad}, K, K_r et R_r notamment pour vérifier le critère énoncé précédemment.

Question 12. Dans une telle configuration, le système sera-t-il précis ?

On suppose maintenant que l'utilisateur se déplace. Le déplacement x_u est alors modélisé, cette fois-ci, par une rampe de pente $a = 1,4$ m/s.

Question 13. Déterminer l'erreur en régime permanent, notée ε, pour un tel déplacement de l'utilisateur et pour une entrée consigne en échelon en fonction de K_{ad}, K_c, K, K_r, R_r et a notamment.

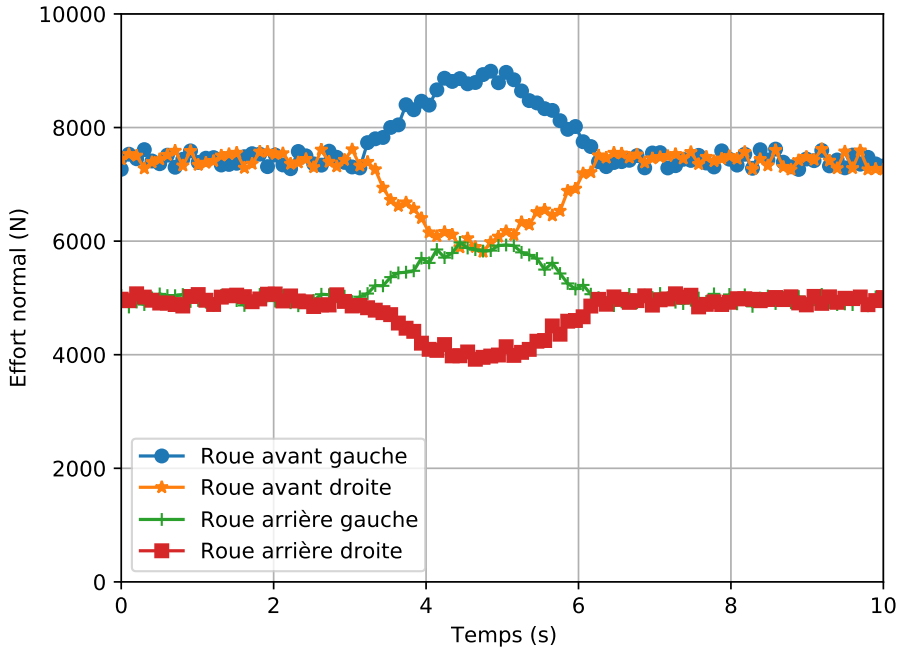
Question 14. En utilisant l'expression de K_c, montrer que plus la constante de temps du sous-système $H(p)$ est faible, plus le système asservi complet sera précis.

5 Déplacement du ROTATOR en virage

Lors d'un virage serré, il y a un risque de basculement de l'ensemble du transpalette. Un essai est réalisé dans une situation critique à savoir :

- virage serré et "rapide",
- palette relevée au maximum,
- palette chargée au maximum.

Durant l'essai, des capteurs d'effort ont permis de mesurer les actions du sol sur les quatre roues. Le transpalette est d'abord guidé en ligne droite. Le virage est ensuite amorcé. Pour finir, le transpalette est à nouveau dirigé en ligne droite. Le résultat de la mesure est donné ci-dessous :



Question 15. Expliquer les variations des différentes courbes et notamment si le virage s'effectue vers la droite ou la gauche. Expliquer également pourquoi, à $t = 0$ s, les valeurs issues des différents capteurs sont différentes.

Question 16. Quel est le critère à respecter pour que le transpalette ne bascule pas ? Conclure en commentant la courbe.