Concours Centrale-Supélec, France

Session 2008, filière TSI

Sciences industrielles 2

Ce que traite le sujet

- Partie I : fonction « soulever la charge »
- Partie II : fonction « orienter le transpalette »
- Partie III : fonction « faire avancer le transpalette »
- Partie IV : bilan énergétique pour un cycle de référence

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

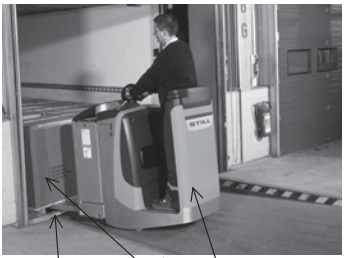
Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/tsi/2008/si2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR II

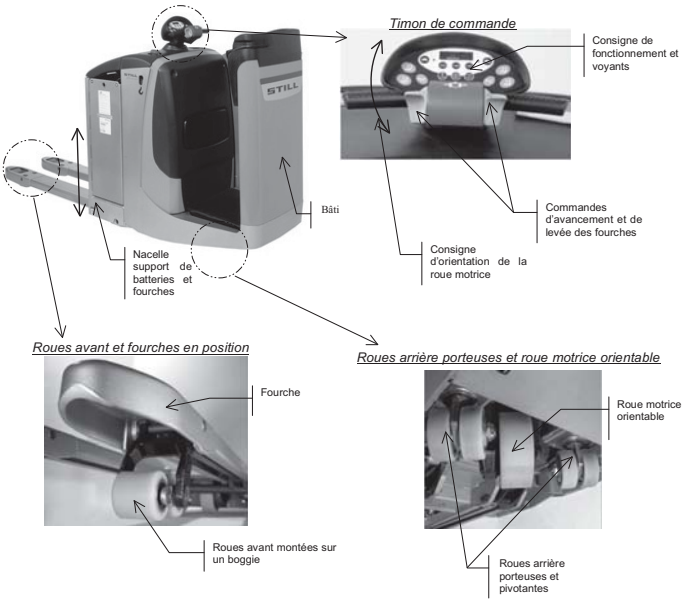
Calculatrices autorisées.

Transpalette électrique à conducteur porté



Le support de cette étude est un transpalette électrique à conducteur porté destiné principalement au chargement / déchargement de palettes à partir de l'arrière des remorques de camions adossées à un quai.

Le conducteur est debout sur le transpalette. L'accès peut se faire, selon la version de transpalette, soit par le côté (voir photo ci-contre) soit par l'arrière. Pour soulever une palette, le conducteur avance le transpalette pour que les fourches passent sous la palette, dans l'intervalle réduit existant entre le plateau de la palette et le sol. Il actionne ensuite le système de levée des fourches pour soulever la charge. Les figures ci-après situent les zones fonctionnelles principales du transpalette.



Filière TSI

Les figures suivantes seront utilisées dans les différentes parties du sujet :

- figure 1 : vues de la maquette numérique, sous forme très simplifiée, du bâti, de la nacelle ainsi que des différentes roues ;
- figure 2 : diagramme des interacteurs avec la description des principales fonctions de service ainsi que le cahier des charges partiel de la fonction FS_1 ;
- figure 3 : schéma cinématique du transpalette. Cette représentation plane simplifiée est équivalente au système complet si on accepte une symétrie plane par rapport au plan $(O_0, \vec{x_0}, \vec{y_0})$ pour les 2 roues arrière **9** et leur support **8**, pour les 2 leviers de commande **11**, les 2 tirants **12**, les 2 leviers de roues avant **13** et les boggies **14**. Ce schéma est représenté pour la position basse des fourches (plan supérieur des fourches à $85\ \text{mm}$ du sol).

Les problèmes abordés dans cette étude concernent le respect de quelques points du cahier des charges de la Figure 2 relatifs aux performances demandées suivantes :

- pour la FS_{1-1} « Soulever la charge » : pouvoir soulever la charge de $22\ 000\ \text{N}$ en un temps maximal de $3\ \text{s}$;
- pour la FS_{1-2-3} « Orienter le transpalette » : pouvoir tourner la roue directrice de $180°$, en charge, en moins de $2\ \text{s}$;
- pour la FS_{1-2-1} « Faire avancer le transpalette » : pouvoir se déplacer, en charge, sur un plan incliné de pente égale à $10\ \%$;
- pour la FS_1 « Déplacer une charge disposée sur le transpalette » : avoir une consommation horaire d'énergie inférieure à $2\ \text{kWh}$, soit $7,2 \cdot 10^6\ \text{J}$, pour un cycle de référence.

Partie I - Étude des solutions associées au respect de la fonction FS_{1-1} « Soulever la charge »

Le cahier des charges fonctionnel impose un temps de montée des fourches inférieur ou égal à $3\ \text{s}$ pour la charge maximale soulevée de $22\ 000\ \text{N}$, avec une inclinaison du plan supérieur des fourches par rapport au sol comprise entre $0°$ et $5°$. *L'objectif de cette partie est de vérifier le respect de ces performances pour les solutions technologiques adoptées par le constructeur.*

I.A - Contraintes géométriques imposées au système de levage des fourches

Le schéma cinématique simplifié de la Figure 3 (représentation plane) montre la structure mécanique du transpalette ainsi que le repérage et le paramétrage des différents solides. On se place dans une phase de levage d'une charge, transpalette à l'arrêt sur un sol plan, horizontal.

Le levage de la charge déposée sur la nacelle est obtenu par la mise en pression du vérin $\{\mathbf{2}\,;\,\mathbf{3}\}$, les roues arrières **9** et la roue motrice **10** étant fixes par rapport au sol.

Nota : en l'absence de pression d'huile dans le vérin, une butée mécanique des leviers **13** sur les fourches de la nacelle **1** (non représentée sur le schéma) permet au système mécanique de rester en équilibre.

Hypothèse : on supposera que, en position basse et en position haute des fourches, les bases $B_0(\vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$ et $B_{16}(\vec{x_{16}}, \vec{y_{16}}, \vec{z_{16}})$ sont confondues.

Q1 - Quelle est la trajectoire du point $\boldsymbol{N}$ appartenant à la nacelle **1** dans $R_0(O_0, \vec{x_0}\vec{y_0}, \vec{z_0})$ lors du levage de la charge ?

Définir la nature de la trajectoire du point $\boldsymbol{C}$ de la nacelle **1**, dans le repère lié au bâti, $R_0(O_0, \vec{x_0}\vec{y_0}, \vec{z_0})$.

Quelles sont la nature de la trajectoire du point $\boldsymbol{E}$ et celle du point $\boldsymbol{F}$ du levier de roues avant **13**, dans le repère lié à la nacelle **1**, $R_1(O_1, \vec{x_1}\vec{y_1}, \vec{z_1})$?

Pour la fonction de service FS_2, « S'adapter à la palette », le cahier des charges fonctionnel impose que l'angle, α, entre le plan supérieur des fourches $(O_1, \vec{x_1}, \vec{z_1})$ et le plan du sol $(O_{16}, \vec{x_{16}}, \vec{z_{16}})$ soit compris entre $0°$, en position basse (plan supérieur des fourches parallèle au sol) et $5°$ maximum, au cours de la levée de la nacelle.

Q2 - Justifier la valeur $\alpha = 0°$ par rapport à la fonction FS_2 « S'adapter à la palette ».

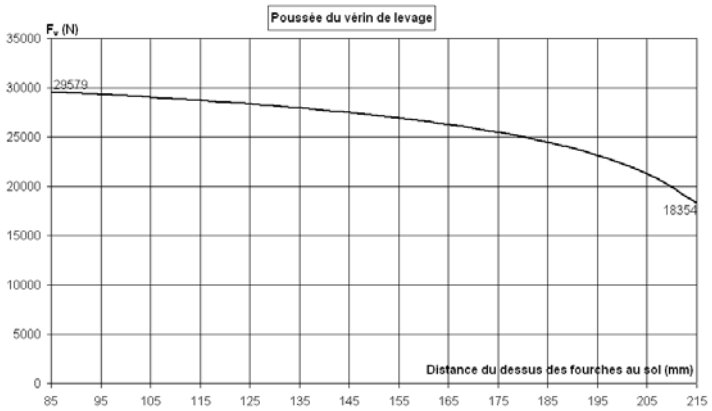
Q3 - Quelle devra être la position du point $\boldsymbol{C}$, lorsque la nacelle est en position haute, pour que le plan supérieur des fourches soit à nouveau parallèle au plan du sol ? En déduire le déplacement du point $\boldsymbol{N}$ de la nacelle **1** dans R_0 et donc la course minimale du vérin de levage.

I.B - Dimensionnement de la pompe et de son moteur électrique

Le vérin hydraulique choisi a les dimensions suivantes : diamètre d'alésage, $D_v = \varnothing 65$ mm, course : $C_v = 140$ mm. La pompe hydraulique alimentant le vérin est mise en mouvement par un moteur électrique dont la puissance utile nominale est $P_{m_v} = 2,2 \cdot 10^3$ W.

Le cahier des charges de conception impose un temps maximal de levée à pleine charge de : $t_{\text{levée}} = 3\ \text{s}$. Ce temps correspond à un déplacement de la tige **2** , du vérin égale à $130\ \text{mm}$.

La courbe ci-contre donne l'évolution de la poussée exercée par le vérin de levage, nécessaire à la montée des fourches à pleine charge, F_v , depuis la position basse jusqu'à la position haute. Ces résultats sont issus d'une simulation mécanique supposant des liaisons parfaites dans le transmetteur.



Q4 - Déterminer la valeur du débit volumique, Q_v , nécessaire à la sortie de la pompe hydraulique en supposant la vitesse de déplacement constante pendant tout le déplacement.

Q5 - Calculer la valeur de la pression effective minimale nécessaire en sortie de pompe.

La puissance hydraulique fournie par la pompe s'exprime sous la forme suivante : $P_{\text{hydraulique}} = Q_v \cdot \Delta p$, avec Δp , l'écart de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe.

Q6 - Calculer la puissance hydraulique nécessaire en sortie de pompe. Le rendement global de la pompe hydraulique est estimé à $\eta_{g_{\text{pompe}}} = 65\ \%$.

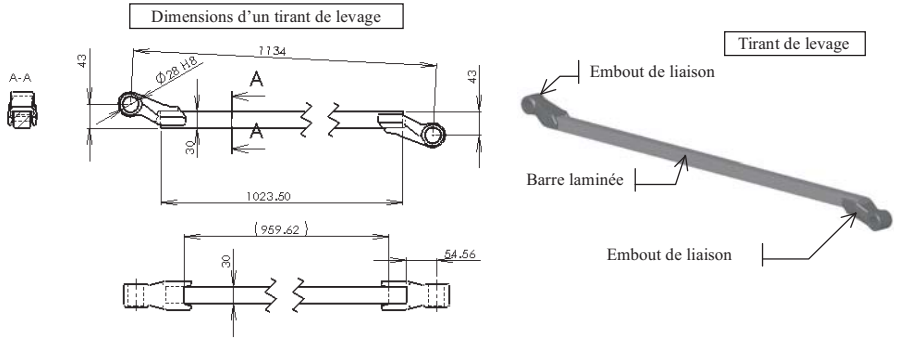
Q7 - Calculer la puissance mécanique nécessaire à la sortie du moteur électrique de pompe. Conclure quant au choix du moteur associé à la pompe.

I.C - Tirants de levage

Le système mécanique permettant la montée des fourches utilise les deux tirants de levage **12** , pour obtenir le mouvement des leviers de roues avant **13** , et donc le déplacement des fourches.

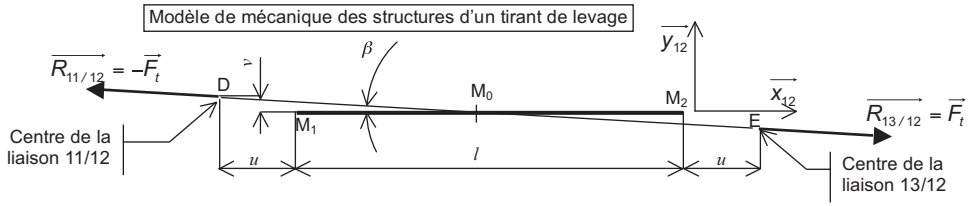
On souhaite déterminer le niveau de contrainte dans ce levier afin de vérifier le choix du matériau. Le tirant de levage est constitué de 3 pièces assemblées par soudage à l'arc électrique, en acier $E335$:

- deux embouts de liaison, obtenus par forgeage (estampage), permettant l'assemblage, l'un avec le levier de commande **11** , et l'autre avec le levier de roues avant **13** ;
- une barre laminée, de section constante carrée $(30 \times 30\ \text{mm})$.



Q8 - Expliquer, en quelques lignes, le principe des procédés d'obtention des pièces : forgeage, laminage et soudage électrique à l'arc.

On accepte l'hypothèse simplificatrice selon laquelle seule la partie de la barre située entre les deux extrémités des embouts de liaison est soumise à la déformation. Le modèle de mécanique des structures utilisé pour cette étude ainsi que les actions mécaniques appliquées (2 glisseurs opposés de norme F_t) sont donnés ci-dessous.



Paramétrage :

$\overrightarrow{M_1M_2} = l \cdot \overrightarrow{x_{12}}$

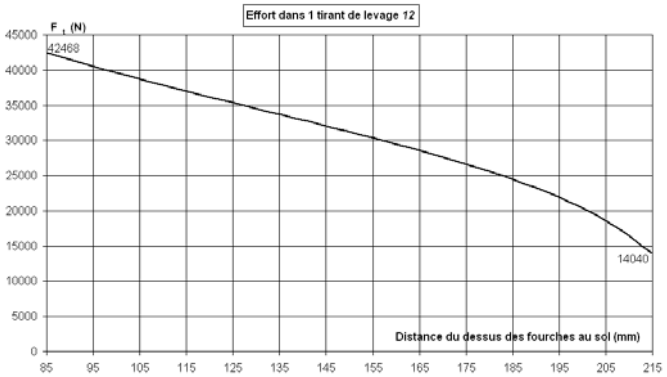
$l = 959,62$ mm

$\overrightarrow{M_1D} = -u \cdot \overrightarrow{x_{12}} + v \cdot \overrightarrow{y_{12}}$

$u = 86,6$ mm

$v = 30$ mm

$\overrightarrow{M_2E} = u \cdot \overrightarrow{x_{12}} - v \cdot \overrightarrow{y_{12}}$



Actions extérieures appliquées à la barre de longueur l, $\overrightarrow{F_t}$, telles que $\left\|\overrightarrow{F_t}\right\| = F_t$ et $\beta = 3°$.

La courbe « Effort dans un tirant de levage » montre l'évolution de F_t depuis la position basse des fourches jusqu'à la position haute dans un des deux tirants de levage.

Q9 - Tracer les diagrammes représentant les composantes non nulles du torseur des actions de cohésion dans la partie de la barre soumise à la déformation (barre de section rectangulaire de longueur, l, de hauteur, $h = 30$ mm, et de largeur, $b = 30$ mm).

Q10 - En déduire les noms des sollicitations dans cette barre.

Q11 - Calculer, pour chaque sollicitation, la valeur de la contrainte normale maximale, puis calculer la contrainte normale totale. On acceptera que la contrainte normale totale s'obtienne en additionnant les valeurs des deux contraintes normales maximales.

Le matériau de la barre est un acier $E335 (R_e = 335$ MPa$)$.

Q12 - Justifier le choix de ce matériau dans ce contexte.

Q13 - Déterminer la valeur du coefficient de sécurité, s, pour le tirant de levage ainsi modélisé, avec

$s = \dfrac{R_e}{\sigma_{xx_{\text{maxi}}}}$. Conclure sur le choix du matériau.

Partie II - Étude de la solution associée au respect de la fonction FS_{1-2-3} « Orienter le transpalette »

Le cahier des charges fonctionnel impose un temps de rotation maximal du support de la roue directrice de $2\ \text{s}$, pour une rotation de $180°$ et pour la charge maximale. *L'objectif de cette partie est de vérifier le respect de cette performance pour les solutions technologiques adoptées par le constructeur.*

L'actionneur utilisé est un moteur à courant continu à excitation série. Ce moteur possède deux enroulements d'excitation correspondant chacun à un sens de rotation. Il est commandé par un hacheur série. Sa puissance est transmise au support orientable de roue motrice **6** par l'intermédiaire d'un réducteur à deux étages de rapport de transmission $\rho_{\text{orientation}} = 81$. Le rendement global estimé de ce réducteur est : $\eta_g = 0,9$.

La solution technologique adoptée par le constructeur du transpalette pour obtenir la rotation du support orientable de roue motrice **6** est caractérisée par *l'absence de lien mécanique* entre le timon (positionné angulairement par le conducteur) et le support orientable de roue motrice. La position angulaire de ce timon est mesurée par un capteur (potentiomètre résistif) dont le signal de sortie permet de définir la consigne de l'asservissement de position du support orientable.

II.A - Étude de l'actionneur : moteur à excitation série

Les caractéristiques du moteur sont :

Tension nominale : $U_n = 24\ \text{V}$

Induit :

Résistance de l'induit $R_a = 265\ \text{m}\Omega$

Inductance de l'induit $L_a = 4\ \text{mH}$

Inducteurs série

Inductance $L_e = 3\ \text{mH}$

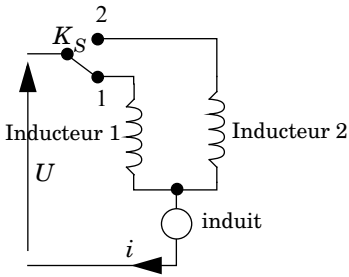
Résistance $R_e = 325\ \text{m}\Omega$

Inertie

Inertie totale ramenée à l'axe du moteur J : $5,55\ 10^{-4}\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$

On pourra poser $R_t = R_a + R_e$ et $L_t = L_a + L_e$.

Pour ce type de moteur à excitation série, le flux magnétique de la machine (noté ϕ) n'est pas créé par un aimant permanent mais par un bobinage inducteur parcouru par le même courant que l'induit. Le flux magnétique est donc une fonction croissante du courant induit (voir courbe $K \cdot \phi = f(I)$) (voir page 5/13).



Moteur d'orientation de la roue

Ce moteur possède en fait deux enroulements inducteurs identiques qui seront appelés par la suite : inducteur 1 et inducteur 2. L'inducteur 1 est utilisé pour une rotation de la roue dans un sens, l'inducteur 2 pour une rotation de la roue en sens inverse.

On rappelle les relations suivantes pour un moteur à courant continu : $C = K \cdot \phi \cdot I$ et $E = K \cdot \phi \cdot \Omega$ où ϕ est le flux magnétique créé par l'inducteur, sous un pôle, K, un coefficient de proportionnalité, Ω, la vitesse angulaire du moteur exprimée en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$, I, le courant d'induit.

II.A.1) Justification du choix du moteur

L'inducteur 1 est utilisé (commutateur K_S en position 1) et, pour une tension d'induit U positive, le moteur tourne dans le sens compté positivement et produit un couple moteur positif. Le flux magnétique est positif également.

Q14 - Quel est l'effet d'un changement de sens de U sur les signes de C et Ω ?

Q15 - En déduire le rôle de l'inducteur 2. Quel est le signe du flux magnétique qu'il devra créer ?

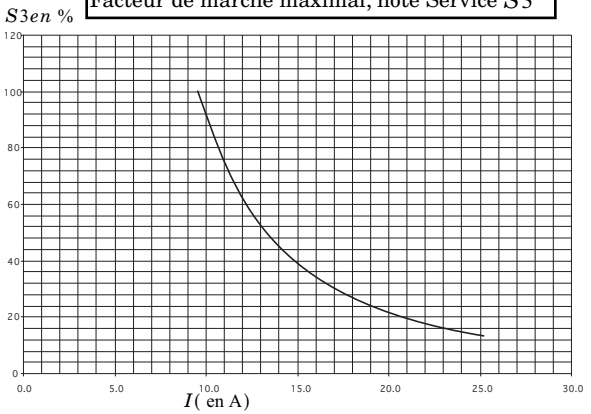
II.A.2) Choix de l'excitation série

Le moteur d'orientation de la roue n'est pas sollicité constamment lors du fonctionnement du chariot. Il a un fonctionnement intermittent. Le constructeur du moteur donne l'évolution du facteur de marche maximal du moteur en fonction du courant de charge (voir courbe ci-après). Le facteur de marche (Service $S3$), exprimé en % est :

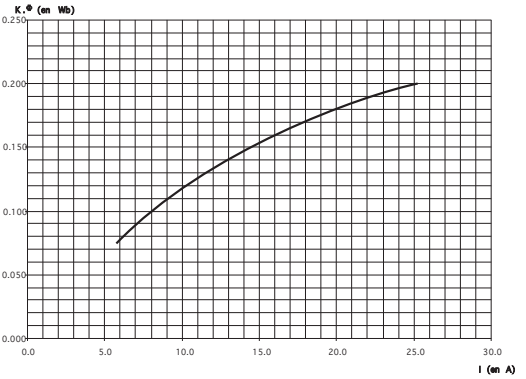
$$S3 = 100\frac{T_T}{T_T + T_R}$$

où T_T est le temps de travail du moteur et T_R son temps de repos sur un cycle de fonctionnement du moteur.

Facteur de marche maximal, noté Service $S3$



$K \cdot \phi = f(I)$



La figure ci-contre montre la variation du terme $K \cdot \phi$ en fonction du courant d'excitation.

L'objectif de cette partie est de vérifier la pertinence du choix de l'excitation série par rapport à une excitation séparée.

On note I_{per} le courant permanent (facteur de marche de 100%) maximal admis dans les enroulements. Le courant maximal admissible est noté I_{max} et vaut 25 A .

Q16 - Pour un courant induit I_{max} , comparer les couples moteurs obtenus dans les deux cas suivants :

a) Le moteur est utilisé en excitation séparée, le courant inducteur est I_{per} ;

b) Le moteur est utilisé en excitation série.

Il est primordial, pour la réactivité de la direction, d'avoir une accélération importante lors d'une action sur le timon, de manière à donner au conducteur la même sensation que si une liaison mécanique existait entre le timon et le support de roue. Justifier, de ce fait, le choix de l'excitation série.

II.B - Étude du modulateur d'énergie : hacheur série

Le problème spécifique posé par l'alimentation du moteur série est lié à la présence de deux enroulements inducteurs différents pour chaque sens de rotation. Plusieurs solutions sont possibles. Pour limiter au maximum les pertes en conduction, le choix s'est porté sur une solution pour laquelle on n'utilise jamais plus d'un composant de commutation en série. La méthode proposée est présentée dans la figure ci-contre : « Schéma de puissance du variateur de vitesse ».

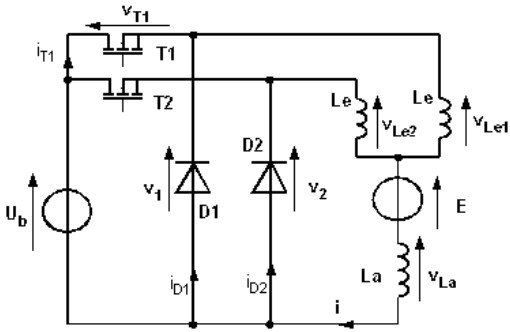


Schéma de puissance du variateur de vitesse du moteur d'orientation de roue

L'objectif de cette partie est de valider, dans les conditions de fonctionnement du montage, ce schéma de puissance et de vérifier notamment qu'il n'y a pas d'interaction dans les fonctionnements des deux hacheurs série le constituant ; plus précisément, il faut savoir si pendant une phase de fonctionnement pour laquelle le hacheur 1 est utilisé, une éventuelle conduction de la diode $D2$ est préjudiciable au bon fonctionnement et si elle est effective.

Le modèle adopté pour l'induit du moteur à courant continu est un modèle E, L_a. Les résistances de l'induit et des inducteurs sont négligées. Les inductances des deux inducteurs série sont égales et sont notées L_e.

Données :

- fréquence de hachage : $f = 16$ kHz ;
- tension batterie : $U_b = 24$ V.

Le hacheur 1 (transistor $T1$ et diode $D1$) est utilisé pour un sens de rotation, le hacheur 2 (transistor $T2$ et diode $D2$) pour l'autre.

La démarche qui sera utilisée consiste à supposer dans un premier temps que le hacheur 1 (transistor $T1$ et diode $D1$) fonctionne seul pour déterminer l'expression du courant dans ce cas, puis, d'étudier à quelle condition, la diode $D2$ du hacheur 2 n'entrera pas en conduction.

Sur une période T de fonctionnement du hacheur, le transistor $T1$ est commandé de 0 à $a \cdot T$ et non commandé entre $a \cdot T$ et T. La conduction du hacheur est supposée continue et les composants de commutation sont supposés idéaux (commutation instantanée, pas de chute de tension en conduction).

Q17 - Donner l'allure de la tension $v_1(t)$. En déduire sa valeur moyenne $\langle v_1 \rangle$ et en déduire l'expression de la f.e.m. E du moteur en fonction de la tension batterie U_b et du rapport cyclique a.

Si la diode $D2$ conduisait lors de la commande du hacheur 1, il s'en suivrait une diminution du flux magnétique sous un pôle conduisant à une baisse du couple moteur à courant d'induit donné préjudiciable aux performances de la machine. Afin de valider ou non ce schéma de puissance, il est nécessaire de vérifier si ce risque est avéré.

II.B.1) Condition de non conduction de la diode $D2$ *de* 0 *à* $a \cdot T$.

Q18 - Déterminer l'équation différentielle vérifiée par le courant d'induit pendant cette phase de fonctionnement. En déduire l'expression du courant $i(t)$. Cette expression fera intervenir les inductances de l'induit et de l'inducteur, la tension batterie, la f.e.m. E du moteur et la valeur I_0 du courant d'induit à $t = 0$.

Les deux inducteurs étant identiques, les tensions $v_{Le1}(t)$ et $v_{Le2}(t)$ induites par la variation de flux magnétique liée à la variation de $i(t)$ sont supposées opposées.

Q19 - À partir de l'expression du courant dans cet intervalle de temps établie précédemment, déterminer les expressions de la tension $v_{Le2}(t)$, puis de la tension $v_2(t)$ en fonction de la tension batterie, des inductances de l'induit et de l'inducteur et du rapport cyclique. Pour quelle valeur de ce rapport cyclique, les risques de conduction sont-ils les plus grands ? En se plaçant dans ce cas le plus défavorable, à quelle condition la diode $D2$ ne conduira jamais pendant cet intervalle ? Cette condition est-elle vérifiée ?

II.B.2) Condition de non conduction de la diode $D2$ *de* $a \cdot T$ *à* T.

Q20 - Déterminer l'équation différentielle vérifiée par le courant d'induit pendant cette phase de fonctionnement. En déduire l'expression du courant $i(t)$. Cette expression fera intervenir les inductances de l'induit et de l'inducteur, la f.e.m. E du moteur et la valeur I_1 du courant d'induit à $t = a \cdot T$.

Q21 - À partir de l'expression du courant, dans cet intervalle de temps, établie précédemment, déterminer les expressions de la tension $v_{Le2}(t)$, puis de la tension $v_2(t)$. La diode $D2$ peut-elle conduire ?

Q22 - Conclure quant à la validité du schéma de puissance du modulateur d'énergie.

II.C - Étude de l'asservissement de position

La position angulaire du timon est traduite par un potentiomètre lié à l'axe de ce timon et qui donne une information électrique transmise à un calculateur : c'est la consigne de position, analogique, notée « $w(t)$ » (voir figure « Obtention

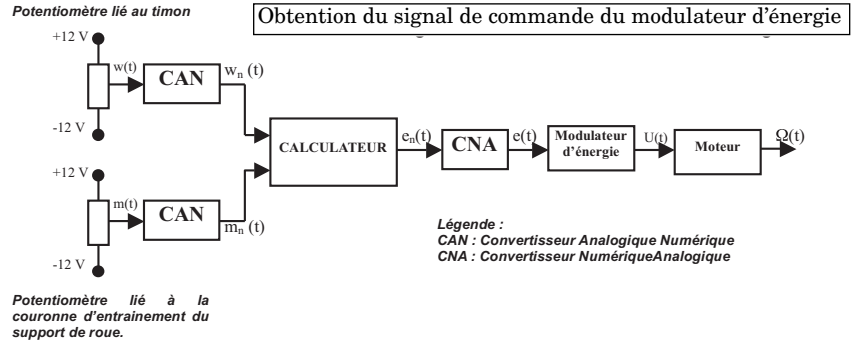
du signal de commande du modulateur d'énergie »). Le calculateur reçoit également une information position angulaire du support orientable de roue **6** , grâce à un potentiomètre mis en rotation par la couronne d'entraînement de ce support orientable. Ce capteur de position fournit un signal analogique noté « $m(t)$ ».

La partie analogique du montage fonctionne avec une alimentation en -12V , $+12\text{ V}$ réalisée à partir de la tension batterie $U_b = 24\text{ V}$. Les signaux $w(t)$ et $m(t)$ sont toujours compris entre -10V et $+10\text{ V}$.

Les signaux $w(t)$ et $m(t)$ sont convertis en informations numériques notées respectivement $w_n(t)$ et $m_n(t)$ à l'entrée du calculateur. Le calculateur génère le signal de commande $e_n(t)$ dont la conversion analogique est le signal $e(t)$ envoyé à la commande du hacheur.

$e(t)$ est une tension évoluant entre -10V et $+10\text{ V}$. Lors de l'envoi d'une tension $e(t)$ positive, le hacheur 1 est commandé, lors de l'envoi d'une tension $e(t)$ négative, c'est le hacheur 2 qui est commandé. Chaque hacheur délivre au moteur une tension proportionnelle à la valeur absolue de la tension $e(t)$ qu'il reçoit et pour une tension $e(t)$ positive, on donne $U(t) = b \cdot e(t)$, avec $b = 2,4$.

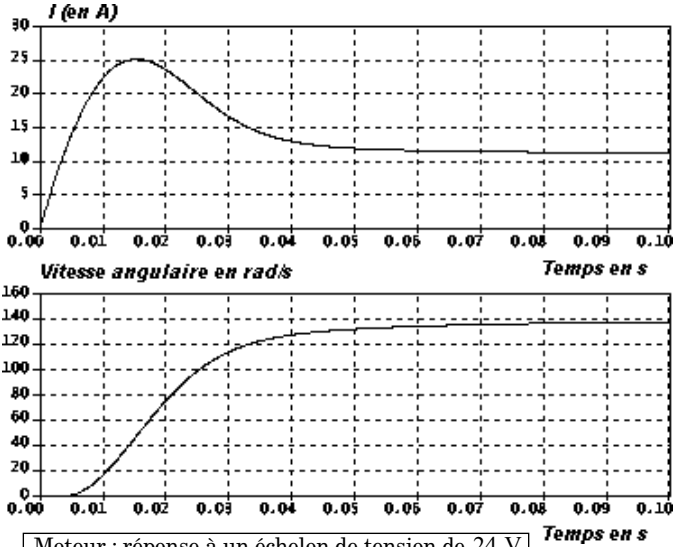
$U(t)$ est donc une tension continue dont la valeur est réglée par $e(t)$.



Dans toute cette partie, sauf indication contraire, le couple résistant ramené sur l'arbre du moteur et lié au frottement sec des roues sur le sol sera pris égal à sa valeur maximale soit : $C_r = C_{rm} = 1,4\text{ Nm}$.

II.C.1) Évaluation de la nécessité d'une boucle de courant

Un essai préliminaire du moteur, monté sur le chariot, dans les conditions donnant $C_r = C_{rm}$ et alimenté par un échelon de 24 V a donné la réponse en vitesse et courant donnée ci-après (figure « Moteur : réponse à un échelon de tension de 24 V »).



Moteur : réponse à un échelon de tension de 24 V

Un retard apparaît entre l'application de l'échelon de tension d'induit $(t = 0)$ et le début de la montée en vitesse du rotor du moteur.

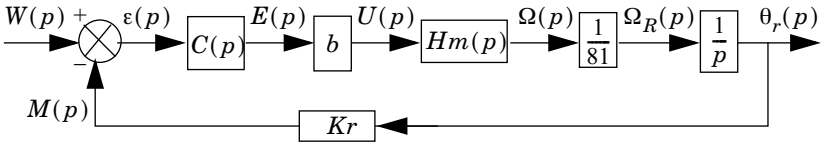
Q23 - Expliquer son origine et justifier la valeur stabilisée du courant. Lors de cet essai, le courant ne dépasse pas le courant maximal fixé à 25 A . Quel pourrait être l'intérêt d'un dispositif de limitation du courant max ?

II.C.2) Réglage de la boucle de position

Du fait de la variation du flux avec le courant d'induit propre au moteur à excitation série, la relation vitesse de rotation en fonction de la tension d'induit du moteur est une relation non linéaire. Cependant, pour de petites variations de tension du moteur autour d'un point de fonctionnement donné, cette relation peut être linéarisée et une fonction de transfert définie. On montre que cette fonction de transfert est du second ordre :

$$H_m(p) = \frac{H_{m0}}{1 + 2z\frac{p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}}.$$

Les paramètres H_{m0}, z et ω_0 dépendent cependant du point de fonctionnement autour duquel on étudie le système. p représente la variable de Laplace. Le schéma bloc de la boucle de position est donné figure « Boucle de position » ci-après.



Boucle de position

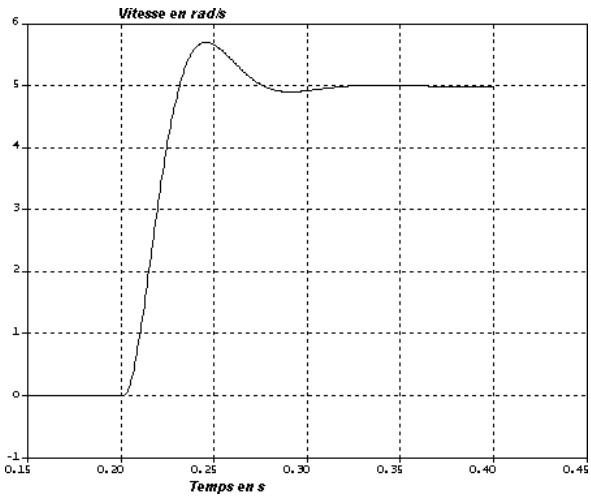
Ce schéma bloc n'est utilisable que pour des signaux de faible amplitude. Le correcteur est de type proportionnel et on pose $C(p) = K$ (réel positif). On donne $K_r = 6,37 \text{ V} \cdot \text{rad}^{-1}$.

Q24 - Que représentent les blocs de fonction de transfert $\frac{1}{p}$ et $\frac{1}{81}$. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte du système notée $T(p)$.

Q25 - Déterminer l'angle de rotation de la roue correspondant à $W = +10$ V .

Q26 - Déterminer la condition sur K de stabilité de la boucle ; cette condition fait intervenir les paramètres H_{m0} , z et ω_0 de la fonction de transfert du moteur. Afin que la condition de stabilité soit remplie quel que soit le point de fonctionnement du moteur, préciser comment doivent être choisis ces paramètres.

Dans les conditions les plus défavorables pour la stabilité de la boucle de position, un échelon de 713 mV débutant à $t = 0,2$ s a été appliqué au moteur. Sa réponse en vitesse est donnée sur la figure ci-contre.



Q27 - Relever, sur la réponse à un échelon, la valeur finale, le temps de réponse à 5% et le dépassement indiciel de cette réponse. En vous aidant du tableau ci-dessous, déterminer le gain statique (H_{m0}), le facteur d'amortissement (z) et la pulsation propre (ω_0) de la fonction de transfert du moteur. En déduire la condition de stabilité du système.

z	0, 1	0, 15	0, 2	0, 25	0, 3	0, 35	0, 4	0, 45	0, 5
$t_r \cdot \omega_0$	29	19 · 6	13, 7	10, 8	10, 1	7, 9	7, 6	5, 2	5, 3
D %	73	62	53	44	37	31	25	20, 5	16, 2

z	0, 55	0, 6	0, 65	0, 7	0, 75	0, 8	0, 85	0, 9	0, 95	1
$t_r \cdot \omega_0$	5, 3	5, 2	5	3	3, 1	3, 4	3, 7	4	4, 4	4, 2
D %	12, 6	9, 5	6, 8	4, 5	2, 8	1, 52	0, 63	0, 15	0, 01	-

On fixe pour la suite $K = 10$.

II.C.3) Étude des conditions d'arrêt du moteur

Le modulateur d'énergie ne permet pas de freinage électrique, ce qui signifie que le freinage du moteur sera uniquement dû au couple résistant du moteur. On rappelle que ce couple est de type frottement solide et est donc indépendant de la vitesse.

Le moteur alimenté sous $24\ \text{V}$ et chargé par le couple résistant $C_r = C_{rm} = 1,4\ \text{Nm}$, tourne à $138\ \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$. On coupe alors son alimentation.

Q28 - Déterminer son temps d'arrêt. De quels angles ont tourné l'arbre du moteur et celui du support de roue pendant ce temps ?

Q29 - Avec les réglages envisagés, déterminer l'écart angulaire entre la position roue demandée et la position roue courante pour laquelle le moteur cesse d'être alimenté à tension maximale. Comparer au résultat de la question précédente et conclure.

II.C.4) Validation d'une donnée constructeur : durée d'un demi-tour

L'objectif de cette question est de valider le respect de la durée de $2\ \text{s}$ *maximale imposée par le cahier des charges pour réaliser un demi-tour du support orientable de roue motrice* **6**.

La consigne position passe de $-10\ \text{V}$ à $+10\ \text{V}$, soit une rotation demandée de

$$-\frac{\pi}{2} \text{ à } +\frac{\pi}{2}.$$

Q30 - Montrer que, dès l'application de l'échelon en entrée, le moteur est alimenté sous tension maximale $(24\ \text{V})$.

Dans ces conditions, les réponses en courant et vitesse du moteur sont celles données par la figure « Moteur : réponse à un échelon de tension de $24\ \text{V}$ » (voir page 7/13). On linéarise la courbe de vitesse de la manière suivante : on suppose

que l'accélération est constante de $t = 0$ à $t = 50\ \text{ms}$ et qu'à $t = 50\ \text{ms}$ la vitesse maximale est atteinte.

Q31 - Déterminer la valeur de l'accélération angulaire. En déduire l'angle de rotation de l'arbre moteur et celui du support de la roue pendant ce démarrage.

La phase de ralentissement de la rotation de la roue commence $10°$ avant la fin de la rotation et dure $205\ \text{ms}$.

Q32 - Déterminer la durée de la rotation à vitesse constante du support de la roue, puis conclure quant au respect du cahier des charges par la détermination de la durée totale du demi-tour du support de la roue.

Partie III - Étude de la solution associée au respect de la fonction FS_{1-2-1} « faire avancer le transpalette »

Le cahier des charges fonctionnel impose une possibilité de déplacement sur un sol incliné avec une pente de 10% avec la charge maximale soulevée de $22\ 000\ \text{N}$. *L'objectif de cette partie est de vérifier le respect de cette performance pour les solutions technologiques adoptées par le constructeur.*

Le moteur électrique utilisé dans cette chaîne fonctionnelle (moteur nommé « moteur de traction ») est de type asynchrone triphasé et alimenté par un variateur de vitesse. Sa puissance utile nominale est $P_{\text{moteur traction}} = 3,5 \cdot 10^3\ \text{W}$, sa vitesse nominale $3100\ \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et son couple moteur nominal $C_{\text{moteur traction}} = 10,8\ \text{N} \cdot \text{m}$. Le stator de ce moteur est lié au berceau **5**. Sa puissance est transmise à la roue motrice par l'intermédiaire d'un réducteur à train fixe (engrenage cylindrique à denture droite) et d'un réducteur à roues coniques.

III.A - Analyse de la conception du transmetteur

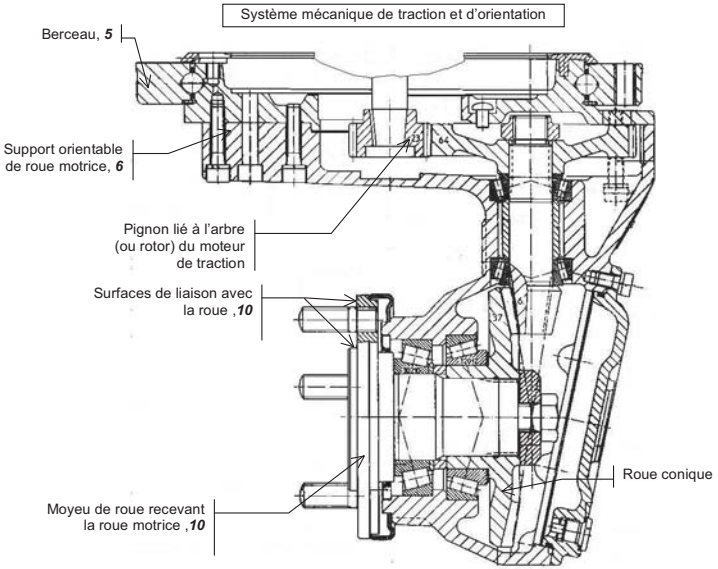
Le dessin d'ensemble partiel (page 9/13) montre le système mécanique constitué du support orientable de roue motrice **6**, du berceau **5**, du moyeu recevant la roue motrice **10** ainsi que du réducteur contenu dans le support orientable. Cet ensemble mécanique permet en particulier de réaliser :

- le guidage en rotation du support orientable de roue motrice **6**, par rapport au berceau **5** ;
- la transmission de puissance, du moteur de traction vers la roue par l'intermédiaire d'un réducteur à deux étages de réduction de rapport de transmission

$$\rho_{\text{traction}} = \frac{1184}{69}$$

(un réducteur à roues cylindrique de rapport $\frac{64}{23}$ et un réducteur à roues coniques de rapport $\frac{37}{6}$) ; le rendement global de cette transmission est estimé à $\eta_{traction} = 0,9$;

- le guidage en rotation de la roue motrice.



Q33 - Tracer le schéma cinématique montrant l'architecture du guidage en rotation du moyeu de roue motrice par rapport au support orientable, **6** . Définir le type de montage et déterminer le degré d'hyperstatisme de cette liaison.

Q34 - Définir qualitativement et justifier le réglage à effectuer au niveau de ce guidage en rotation.

III.B - Cotation et choix de la préforme du moyeu de roue motrice

Q35 - Sur un croquis à main levée du moyeu de roue motrice dont les formes seront extraites du dessin d'ensemble « Système mécanique de traction et d'orientation », coter, qualitativement, les spécifications géométriques de position ou d'orientation à imposer entre les surfaces fonctionnelles.

Q36 - Proposer et justifier un procédé d'obtention de la préforme de ce moyeu. Tracer un croquis à main levée de la préforme choisie.

Partie IV - Bilan énergétique pour un cycle de référence

L'objectif de cette partie est de déterminer la consommation horaire pour un cycle de référence et d'en déduire le temps d'utilisation possible du transpalette.

IV.A - Capacité des batteries

La capacité énergétique des batteries, annoncée par le constructeur est de $450\ \text{A} \cdot \text{h}$ (ce qui signifie théoriquement que la batterie peut fournir un courant de $450\ \text{A}$ pendant 1 heure) sous une tension nominale de $U_b = 24\ \text{V}$.

Q37 - Déterminer la quantité d'énergie disponible de ces batteries.

IV.B - Consommation d'énergie pour le cycle standard

Le cycle de déplacement de référence étudié correspond à un chargement de remorque de camion à partir de palettes stockées à plat dans un magasin. On se place dans le cas où la masse de la palette est maximale : $M_{c_{\text{maxi}}} = 2\ 200\ \text{kg}$ possible pour le transpalette, soit une masse totale $M_t = 3\ 320\ \text{kg}$ pour le transpalette chargé.

Le départ du cycle se situe devant la palette à saisir. Les différentes étapes de ce cycle sont :

- prise de la palette :
  - avance des fourches sous la palette (consommation d'énergie négligée et temps négligés) ;
  - montée des fourches à la hauteur maximale avec un déplacement supposé à vitesse constante et avec un effort de poussée du vérin de levage constant et égal à sa valeur moyenne ;
- déplacement de la palette vers la rampe d'accès à la remorque sur un sol horizontal, à une vitesse supposée constante. Les caractéristiques de ce déplacement sont :
  - distance à parcourir : $100\ \text{m}$, avec une vitesse constante de $10\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;
  - effort tangentiel à la roue motrice, pendant ce déplacement : $T_{16/10} = 664\ \text{N}$;
  - consommation d'énergie du moteur d'orientation (lors de la rotation de la roue motrice) négligée ;
- montée de la rampe d'accès à la remorque avec une accélération constante de $\gamma = 3 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ sur une distance de $10\ \text{m}$ (effort tangentiel à la roue motrice, pendant ce déplacement : $T_{16/10} = 4 \cdot 10^3\ \text{N}$) ;
- arrêt et déplacement dans la remorque avec une énergie mise en jeu négligée ;

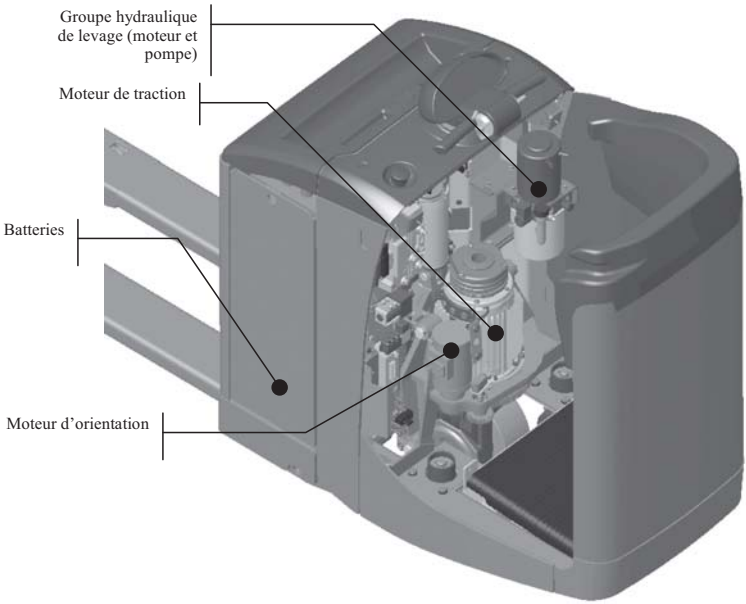
- descente des fourches pour la dépose de la charge (pour laquelle la consommation d'énergie est négligée) ;
- descente, à vide, de la rampe d'accès et remontée simultanée des fourches avec une énergie mise en jeu négligée ; le temps de descente est identique au temps de montée ;
- retour vers la zone de prise des palettes, à vide, avec les mêmes caractéristiques de déplacement que pour la trajectoire « aller ». On précise que l'effort $T_{16/10}$ est proportionnel à la masse.

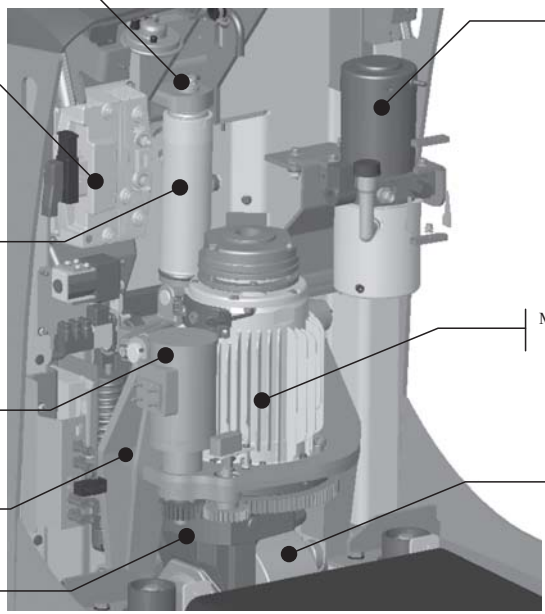
Q38 - Calculer le temps nécessaire pour réaliser ce cycle standard.

Q39 - Déterminer la valeur de l'énergie mécanique nécessaire pour un cycle. En supposant un rendement global pour l'ensemble des chaînes fonctionnelles, estimé à $\eta = 0,7$, calculer la consommation horaire puis le temps d'utilisation possible du transpalette entre deux recharges des batteries. Conclure sur ce temps d'utilisation.

Figure 1 : vues du transpalette






Tige de vérin 2
Groupe hydraulique de levage (moteur et pompe)
Variateur du moteur de traction
Corps de vérin 3
Moteur de traction
Moteur d'orientation
Roue motrice 10
Berceau 5
Support orientable de roue motrice 6

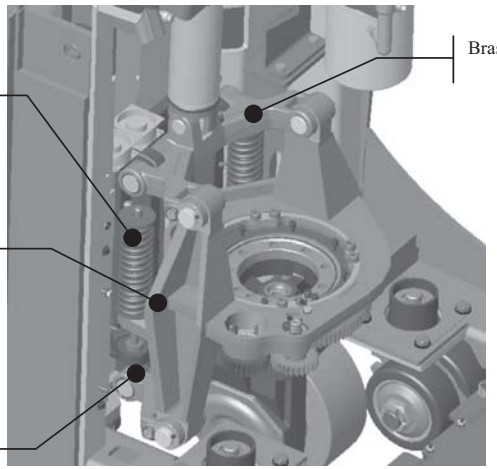
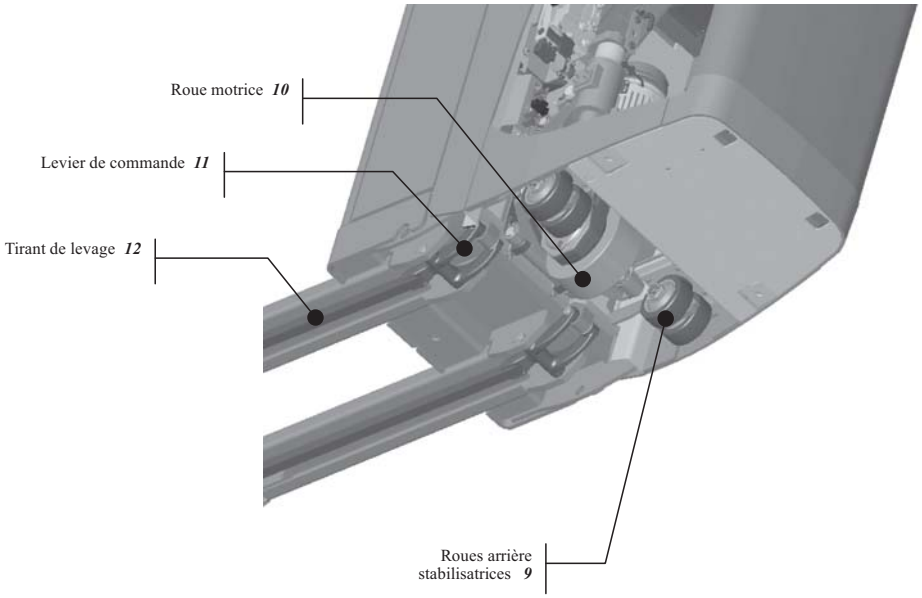

Bras supérieur 5
Ressort de charge de la roue motrice
Berceau 5
Bras inférieur 7

Figure 1 : vues du transpalette



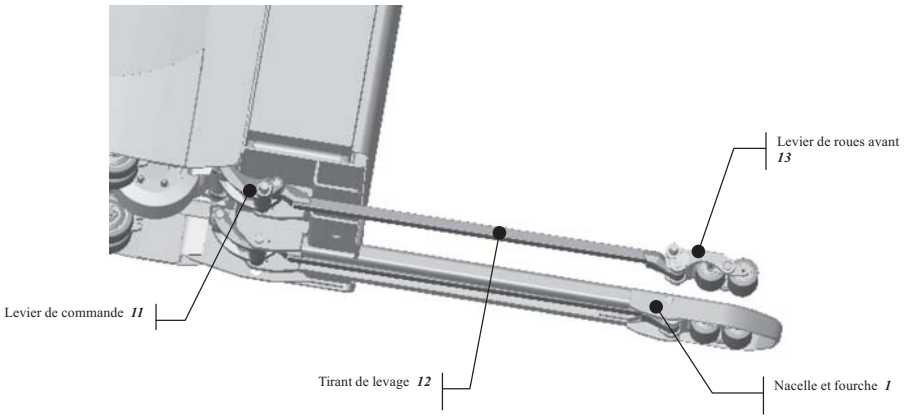
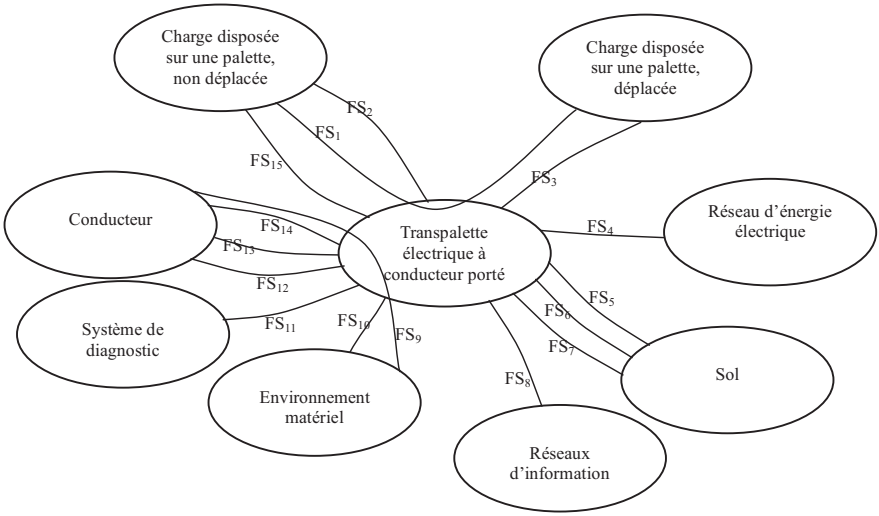


Figure 2 : diagramme des interacteurs du transpalette



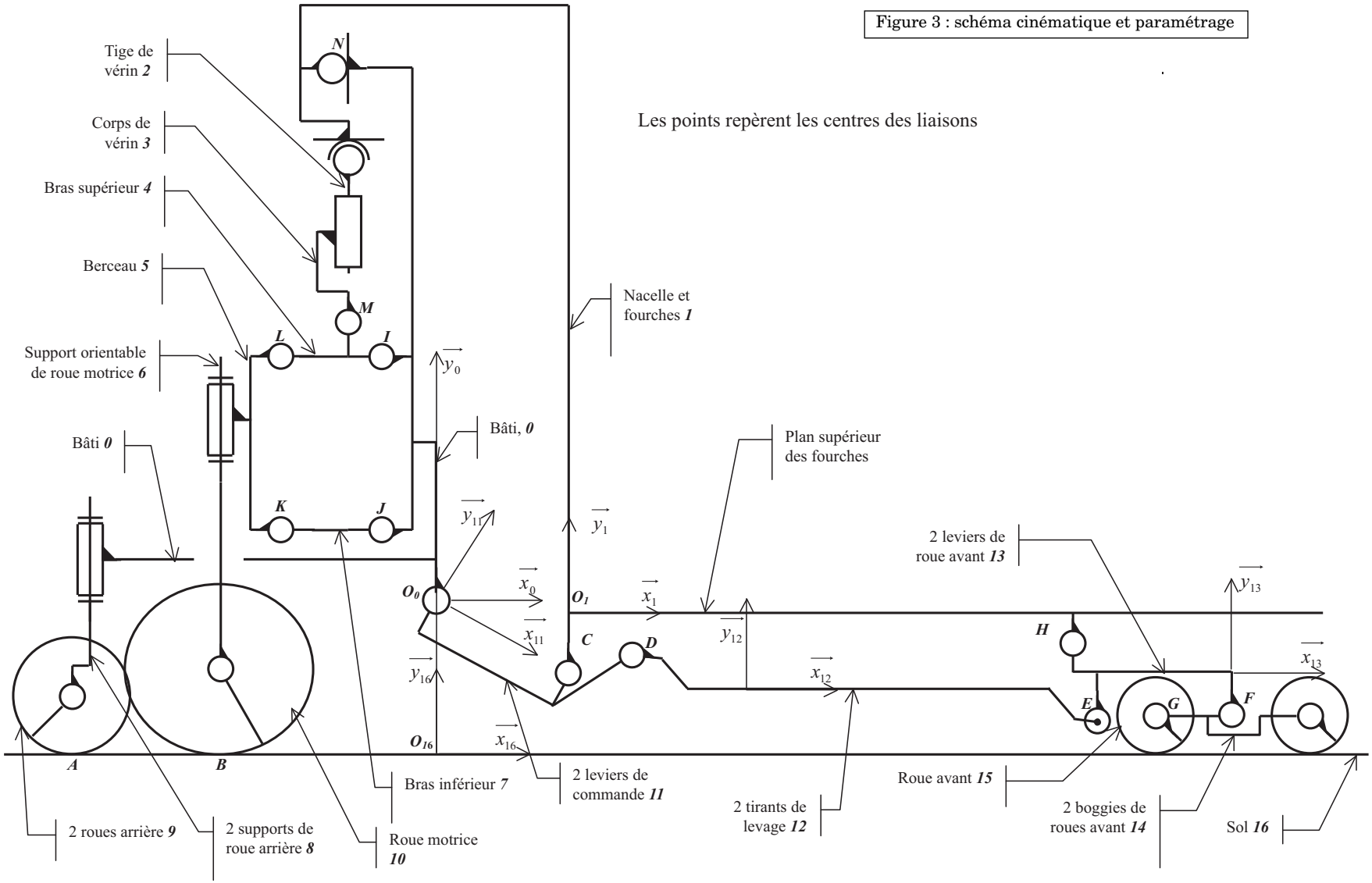
Fonctions de service

FS_1	Déplacer une charge disposée sur une palette
FS_2	S'adapter à la palette
FS_3	Se libérer de la palette déplacée
FS_4	Se connecteur au réseau électrique
FS_5	S'adapter aux défauts de forme du sol
FS_6	Résister à l'abrasion du sol
FS_7	Être en appui plan sur le sol
FS_8	Se connecter aux réseaux informatiques
FS_9	Protéger l'opérateur de l'environnement matériel
FS_{10}	Résister à l'environnement matériel
FS_{11}	Se connecter à un système de diagnostic
FS_{12}	Supporter le conducteur
FS_{13}	Détecter le conducteur
FS_{14}	Être piloté par le conducteur
FS_{15}	Résister à la palette

Cahier des charges partiel de quelques fonctions de service

			Critère	Niveau
FS_1	Déplacer une charge disposée sur une palette		Consommation horaire moyenne selon un cycle de référence	Inférieure à 2 kWh soit $7,2 \cdot 10^6$ J
	FS_{1-1}	Soulever la charge	Poids de la charge	22 000 N
			Position du centre de gravité de la charge	600 mm devant le pied des fourches
			Temps de levée avec charge/sans charge	3 s/2, 1 s
			Course des fourches	130 mm
	FS_{1-2-1}	Faire avancer le transpalette	Vitesse d'avance avec charge/sans charge	$10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$/$12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
			Temps nécessaire pour atteindre la vitesse maximale avec charge/sans charge	6, 2 s/4, 6 s
			Pente maximale du sol	10 %
	FS_{1-2-3}	Orienter le transpalette	Déplacement angulaire du support de roue motrice	±90°
			Déplacement angulaire du timon de direction	±60°
			Couple maximal exercé par le conducteur sur le timon	0, 2 Nm
			Temps maximal pour une rotation de 180° en charge	2 s
FS_2	S'adapter à la palette		Angle d'orientation du plan supérieur des fourches par rapport au sol $\alpha = (\overrightarrow{x_{16}}, \overrightarrow{x_1}) = (\overrightarrow{y_{16}}, \overrightarrow{y_1})$: • fourches en position basse ou haute ; • fourches en position intermédiaire.	 0° entre 0° et 5°
			Distance du plan supérieur des fourches en position basse par rapport au sol	85mm

Figure 3 : schéma cinématique et paramétrage



Travailler les chapitres de ce suje

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages

Ouvrir l'essai gratuit
Scanne le code ou clique sur le bouton.
prepahelp.com/#essai
Une question sur le concours ou sur ta fil
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/tsi