**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**
**CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS**
**SESSION 2008**

---

# ÉPREUVE U51

# MODÉLISATION ET COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

DOSSIER TRAVAIL

---

## TRANSPALETTE ÉLECTRIQUE STILL EXU-S 22

Ce dossier comporte 7 pages.

**Temps conseillé**

**1- FONCTION FT1.1 : SOULEVER LA CHARGE.....1h45**

1. Détermination de la course du vérin au regard du critère « hauteur de levage ».
2. Analyse de la position des fourches par rapport au sol.
3. Validation du critère « masse de la charge ».
4. Évaluation des efforts appliqués au levier et au tirant.

**2- VÉRIFICATION DU TIRANT DE LA CHAÎNE FONCTIONNELLE DE LEVAGE.....1h**

1. Détermination des contraintes subies par le tirant 12 à l'aide d'un modèle simplifié.
2. Détermination des contraintes à l'aide d'un modèle plus proche de la pièce réelle.
3. Validation du choix du matériau avec l'utilisation d'un modèle 3D par éléments finis.

**3- ÉTUDE DE LA FONCTION FT 1-2-1 : FAIRE AVANCER LE TRANSPALETTE .....1h15**

1. Vérification du respect du critère « vitesse de translation ».
2. Vérification du respect du critère « accélération ».
3. Vérification du couple moteur au regard de critère « accélération ».

# TRANSPALETTE ÉLECTRIQUE STILL EXU-S 22

## DOCUMENT TRAVAIL

**Document travail :**

**1- FONCTION FT1.1 : SOULEVER LA CHARGE** ..... p 2

1. Détermination de la course du vérin au regard du critère « hauteur de levage » ..... p 2
2. Analyse de la position des fourches par rapport au sol ..... p 2
3. Validation du critère « masse de la charge » ..... p 2
4. Évaluation des efforts appliqués au levier et au tirant ..... p 2

**2- VÉRIFICATION DU TIRANT DE LA CHAÎNE FONCTIONNELLE DE LEVAGE** ..... p 3

1. Détermination des contraintes subies par le tirant 12 à l'aide d'un modèle simplifié ..... p 3
2. Détermination des contraintes à l'aide d'un modèle plus proche de la pièce réelle ..... p 4
3. Validation du choix du matériau avec l'utilisation d'un modèle 3D par éléments finis .. p 4

**3- ÉTUDE DE LA FONCTION FT 1-2-1 : FAIRE AVANCER LE TRANSPALETTE** ..... p 5

1. Vérification du respect du critère « vitesse de translation » ..... p 5
2. Vérification du respect du critère « accélération » ..... p 5
3. Vérification du couple moteur au regard du critère « accélération » ..... p 6

Le document de travail comporte **7 pages** et **34 questions** numérotées de **1** à **34**.

# ÉTUDE DU TRANSPALETTE

## 1 FONCTION FT1.1 : SOULEVER LA CHARGE

Voir document DT6 et document réponse DR1.

Le cahier des charges impose une élévation des fourches de 130 mm sur $\vec{y}$ , qui correspond à la demande actuelle, relativement aux palettes utilisées. D'autre part, ce même cahier des charges impose un déplacement maximum selon $\vec{x}$ de 20 mm. On se propose dans cette partie de valider ces données, et d'analyser la position des fourches par rapport au sol.

### 1.1 Détermination de la course du vérin au regard du critère « Hauteur de levage ».

**Hypothèses :**

- On fera l'hypothèse que le chariot est immobile sur un sol horizontal.
- Le mouvement de l'ensemble 0 par rapport au sol est faible au regard du mouvement de l'ensemble 1 par rapport au sol. Dans un souci de simplification, on considère dans cette phase de fonctionnement que l'ensemble 0 est immobile par rapport au sol.

**Données :**

Les positions basse et haute des fourches sont indiquées sur le DR1.

**Question 1 :** Sur le document réponse DR1, tracer la trajectoire du point P appartenant à 1 par rapport au sol.

**Question 2 :** En considérant que l'ensemble 1 est rigide, définir sur le document réponse DR1, la position du point P appartenant à 1 par rapport au sol lorsque la fourche est en position haute. Faire apparaître les constructions graphiques.

**Question 3 :** Construire alors la position du point N appartenant à 1 par rapport à 0 lorsque la fourche est en position haute. En déduire la course du vérin.

### 1.2 Analyse de la position des fourches par rapport au sol.

Pour la suite on se place dans la position intermédiaire notée sur le document réponse DR2.

**Question 4 :** Sur le document réponse DR2, tracer la nouvelle position de la pièce 11 et l'allure de l'ensemble 1 en position intermédiaire.

**Question 5 :** Mesurer la valeur du déplacement horizontal de la fourche par rapport au sol et conclure par rapport aux spécifications du cahier des charges fonctionnel.

**Question 6 :** Quel peut être l'intérêt de l'orientation des fourches dans cette position intermédiaire ?

### 1.3 Validation du critère « Masse de la charge ».

On s'intéresse dans cette partie à la chaîne fonctionnelle de levage en particulier à la fonction FT1.1.2.2. : « déplacer les fourches ». Deux organes vont faire l'objet de l'étude :

- le vérin de levée pour le dimensionner ;
- le levier 11 et le tirant 12 pour quantifier les efforts auxquels ils sont soumis en vue d'une étude de résistance des matériaux.

**Objectif :** Valider le choix du vérin.

**Hypothèses :**

- Le plan [Oxy], plan médian du chariot est le plan de symétrie du point de vue géométrique et de celui des efforts.

- Les liaisons sont parfaites hormis la liaison avec le sol.

**Données :**

- Schéma cinématique du transpalette DT6.

- Pression d'alimentation du vérin : $P_v = 130$ bars.

- Diamètre du piston du vérin : $D_v = 60$ mm.

- Une masse de 2200 kg est disposée sur les fourches. La masse $m_1$ de l'ensemble 1 {fourche + batteries} est de 600 kg. De même, la position de son centre de gravité $G_1$ est connue. On donne DT7 le paramétrage du transpalette.

**Question 7 :** À partir du schéma cinématique DT6, compléter sur le DR3 le graphe de structure du transpalette sur lequel vous indiquerez les liaisons utilisées en précisant leurs caractéristiques (centre de liaison, axe, ...).

**Question 8 :** On isole l'ensemble l'ensemble 1 {fourche + batteries}. Faire le bilan des actions mécaniques. En dénombrant les inconnues, déterminer si on peut résoudre cet équilibre par cette approche.

**Question 9 :** Les résultats d'une simulation numérique concernant l'équilibre de la fourche sont donnés dans le DT8. À partir des résultats proposés, déterminer la section utile du vérin pour obtenir l'effort nécessaire. Conclure quant au vérin choisi.

### 1.4 Évaluation des efforts appliqués au levier et au tirant.

**Objectif :** Déterminer les efforts appliqués au levier 11 et au tirant 12 en vue d'une étude RDM.

**Données :**

On connaît l'action de la fourche 1 sur levier 11, son intensité est de 35000 N.

**Question 10 :** Indiquer, en la justifiant, la direction de l'action mécanique du tirant 12 sur le levier 11.

**Question 11 :** Déterminer complètement le glisseur modélisant l'action du tirant sur le levier sur le DR4.

## 2 VÉRIFICATION DU TIRANT DE LA CHAÎNE FONCTIONNELLE DE LEVAGE.

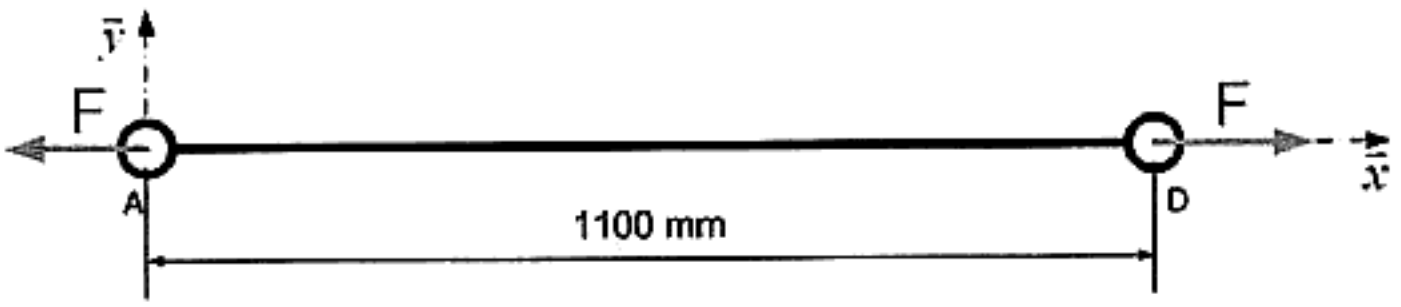
Cette partie a pour objectif de valider le dimensionnement des tirants 12 compte tenu des efforts s'exerçant sur ceux-ci. Ils sont représentés sur les documents DT3 et DT4.

**Objectif :** Valider la géométrie et le matériau choisis pour le tirant 12.

**Données :**

- Le matériau du tirant est du S355 pour lequel $E = 200000$ MPa et $R_{emin} = 355$ MPa.
- Les caractéristiques de la section droite sont données sur le document technique DT9.
- L'effort F, supporté par chaque tirant 12, a pour intensité 4000 daN.
- La contrainte tangentielle sera négligée durant toute l'étude.

## 2.1 Détermination des contraintes subies par le tirant 12 à l'aide d'un modèle simplifié.

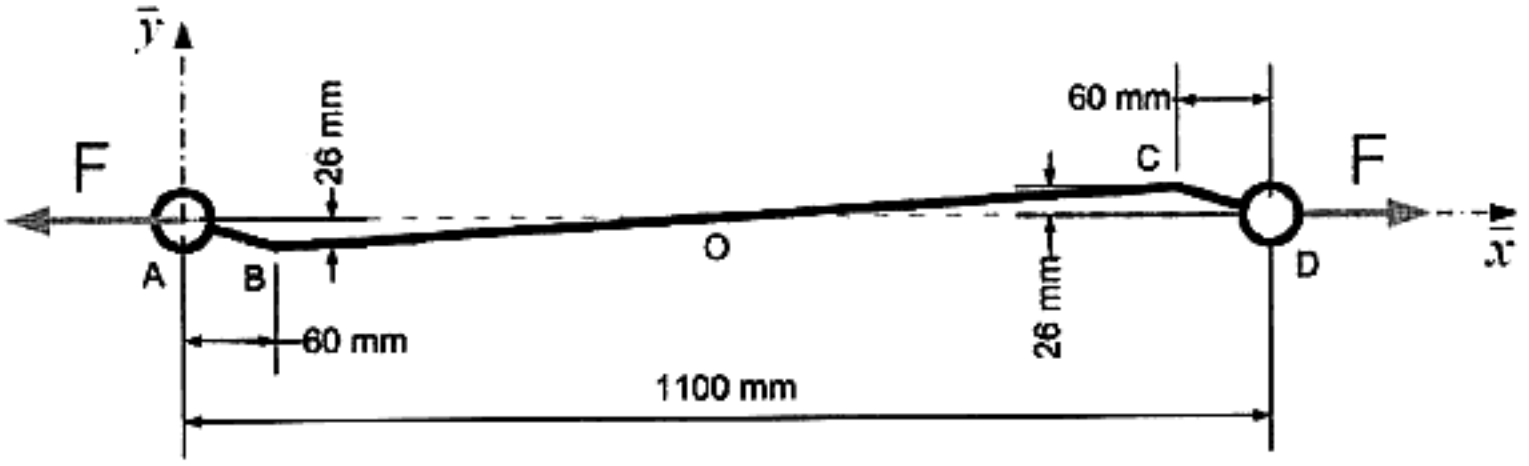



**Question 12 :** Calculer, pour ce modèle simplifié, la valeur de la contrainte normale notée $\sigma_N$ .

## 2.2 Détermination des contraintes, à l'aide d'un modèle plus proche de la pièce réelle.

Un des problèmes du bureau d'étude est de pouvoir disposer ces tirants sous les fourches. Comme le montre le document technique DT9, ils sont constitués de 3 pièces. Une barre au centre et deux raccords identiques aux extrémités qui sont décalés par rapport à la ligne moyenne.

Ce décalage permet une optimisation de l'intégration sous les fourches. En revanche, nous allons montrer que cela entraîne une modification sensible du comportement du tirant lorsqu'il est sollicité.




**Données et hypothèses :**

- L'effort dans les tirants est toujours égal à 4000 daN.
- La section droite reste identique à l'étude précédente.

**Question 13 :** Calculer la valeur du moment quadratique de la section droite par rapport à l'axe (G, z).

**Question 14 :** Déterminer la valeur du moment fléchissant au point C.

**Question 15 :** En déduire la valeur absolue de la contrainte normale en flexion maximale notée $\sigma_{Mf}$ en MPa au point C.

**Question 16 :** Représenter, sur un graphe, l'allure du moment fléchissant entre A et D.

**Question 17 :** Déterminer la contrainte normale totale au point C.

**Question 18 :** En déduire le coefficient de sécurité, avec la modélisation adoptée.

### 2.3 Validation du choix du matériau avec l'utilisation d'un modèle 3D par éléments finis.

Nous allons comparer les résultats trouvés précédemment avec ceux obtenus par l'intermédiaire d'un logiciel de calcul par éléments finis.

Le modèle utilisé, ainsi qu'une partie des conditions aux limites (chargement extérieur et liaisons), sont illustrés sur le document réponse DR5.

**Question 19 :** Sur le document réponse DR5, préciser quelles sont les conditions aux limites à mettre en place sur la surface cylindrique.

Avec les conditions limites définies précisément, on obtient les résultats du document technique DT10.

**Question 20 :** À partir des éléments du dossier technique DT10, donner la nouvelle valeur de la contrainte normale équivalente maximale. Conclure au regard du cahier des charges.

**Question 21 :** Proposer une modification locale des formes, au niveau de la liaison, pour diminuer les concentrations de contraintes.

**Question 22 :** Que faudrait-il faire ensuite pour valider la modification ?

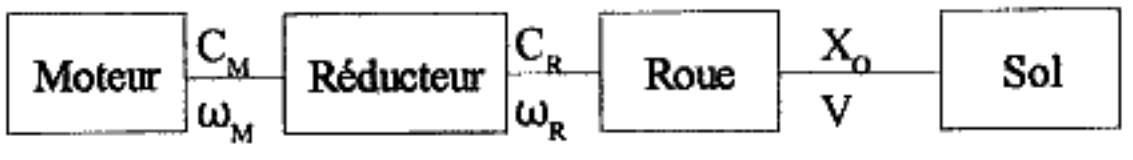
## 3 FONCTION FT 1-2-1 : FAIRE AVANCER LE TRANSPALETTE.

On cherche dans cette partie à vérifier les caractéristiques de couple et de fréquence de rotation du moteur afin de :

- Valider la fréquence de rotation du moteur.
- Vérifier si le couple moteur est suffisant pour garantir l'accélération annoncée par le cahier des charges.

**Données relatives à toute la partie 4 :**

On modélisera la chaîne de transmission de puissance par le schéma-bloc suivant :




où $C_M$ est le couple moteur et $\omega_M$ la fréquence de rotation du moteur ;
$C_R$ est le couple sur l'arbre de sortie du réducteur et $\omega_R$ la fréquence de rotation ~~du moteur~~ en sortie du réducteur ;
$X_O$ est la composante sur $\vec{x}$ de l'action du sol sur la roue et V la vitesse du transpalette.

### 3.1 Vérification du respect du critère « Vitesse de translation ».

**Données :**

- Diamètre de la roue motrice : **D = 250 mm.**
- La valeur de la vitesse d'avance en charge est donnée DT2.

**Objectif :** Valider le choix du moteur pour le critère « Vitesse de translation ».

**Question 23 :** Réaliser le schéma cinématique minimal du réducteur dont le plan est proposé sur DT5.

**Question 24 :** Déterminer son rapport de réduction k tel que : $\omega_M.k = \omega_R$ .

**Question 25 :** Déterminer une relation entre V et $\omega_M$. Calculer alors la fréquence de rotation du moteur correspondant à la vitesse d'avance maximale en charge. Conclure sur le choix de l'ensemble {moteur + réducteur} au regard du DT8.

### 3.2 Vérification du respect du critère « Accélération ».

**Données :**

- Pour la suite on prendra **k=1/18 ;**
- La mise en mouvement du transpalette est composée de 2 phases :

*** Phase 1 :** accélération constante.

Le transpalette passe de la vitesse nulle à la vitesse maximale. La durée de cette phase d'accélération dépend de la charge transportée comme le précise le cahier des charges.

*** Phase 2 :** Vitesse constante.

Le transpalette a atteint sa vitesse maximale $V_m$.

**Hypothèses :**

- Le transpalette est en mouvement de translation rectiligne.
- Le vecteur accélération d'un point quelconque M du châssis du transpalette s'écrit : $\vec{a}_{(M\ ,\ chariot/sol)}=a\,.\,\vec{x}$ .
- Le transpalette est chargé.

**Question 26 :** Tracer sur un graphe l'évolution de la vitesse en fonction du temps, V = f(t), à compléter avec les données du cahier des charges.

**Question 27 :** Calculer l'accélération $a$ du transpalette en phase 1.

**Question 28 :** Vérifier que celui-ci a atteint sa vitesse en moins de 10 m comme l'indique le cahier des charges.

### 3.3 Vérification du couple moteur pour le critère « Accélération ».

Dans cette partie, on étudie le transpalette dans sa phase de démarrage. Le véhicule est initialement à l'arrêt sur un terrain plat. On utilise le DT7.

**Hypothèses :**

- L'accélération de la pesanteur est $\vec{g}=g.\vec{y}$ où $g = 10\ m.s^{-2}$.
- Les inerties des arbres de réducteur et des roues sont négligées au regard des masses mises en jeu.
- La résistance au roulement est intégrée dans l'effort résistant modélisé ci-après.
- Il y a roulement sans glissement entre les roues et le sol.
- Le plan médian $(O,\vec{x},\vec{y})$ , est plan de symétrie du point de vue de la géométrie et des efforts.

**Données :**

- Soit d = 9 m, la distance permettant au transpalette de passer de 0 à 10 $km.h^{-1}$.
- Masse à vide du transpalette : $m_0 = 1120$ kg.
- Masse de la charge : $m_2 = 2200$ kg.
- Le rendement du réducteur est $\eta$=0,85.

Le rapport de réduction k du réducteur est $k=\frac{1}{18}$ .

Diamètre de la roue motrice : D = 250mm.

Lors de l'accélération du transpalette, celui-ci est soumis à :

- L'action du sol sur la roue motrice en O $\{T_{sol/roue\ motrice}\}=\begin{Bmatrix} X_O 0 \\ Y_O 0 \\ 0\ \ 0 \end{Bmatrix}_{O,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ ;
- L'action du sol sur la roue avant 1 en B $\{T_{sol/AV1}\}=\begin{Bmatrix} 0\ \ 0 \\ Y_B 0 \\ 0\ \ 0 \end{Bmatrix}_{B,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ ;
- L'action du sol sur la roue avant 2 en C $\{T_{sol/AV2}\}=\begin{Bmatrix} 0\ \ 0 \\ Y_c 0 \\ 0\ \ 0 \end{Bmatrix}_{C,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ ;
- L'action du sol sur la roue stabilisatrice en A $\{T_{sol/roue\,stab}\}=\begin{Bmatrix} 0\ \ 0 \\ Y_A 0 \\ 0\ \ 0 \end{Bmatrix}_{A,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ ;
- L'action de la gravité sur le transpalette en $G_0$ $\{T_{gravité/transpalette}\}=\begin{Bmatrix} 0\ \ 0 \\ -m_0 \cdot g\ 0 \\ 0\ \ 0 \end{Bmatrix}_{G_0,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ ;
- L'action de la gravité sur la charge en $G_2$ $\{T_{gravité/charge}\}=\begin{Bmatrix} 0\ \ 0 \\ -m_2 \cdot g\ 0 \\ 0\ \ 0 \end{Bmatrix}_{G_2,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ ;
- Un effort s'opposant à l'avance du transpalette. Cet effort, évalué expérimentalement, est modélisé par le torseur suivant : $\{T_{résistance/transpalette}\}=\begin{Bmatrix} T\ 0 \\ 0\ 0 \\ 0\ 0 \end{Bmatrix}_{G_0,\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$ avec / $\vec{x}$ : T = - 640 **N**

**Question 29 :** Déterminer la variation d'énergie cinétique du transpalette pendant la phase d'accélération.

**Question 30 :** Déterminer le travail des actions mécaniques extérieures s'appliquant au transpalette en fonction de T, $X_O$ et d.

**Question 31 :** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer $X_O$.

**Question 32 :** Déterminer une relation entre $X_O$ et $C_R$.

**Question 33 :** Déduire alors une relation entre $C_M$ et $X_O$ utilisant D, $\eta$ et k.

**Question 34 :** En utilisant la courbe caractéristique du moteur DT8, déterminer si le moteur est capable d'entraîner le transpalette durant toute la phase d'accélération.