

Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2004

Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(Sous épreuve E 4-1)

Questionnaire

Ce dossier contient les documents DQ 1/10 à DQ 10/10

Au niveau de chaque question figurent le barème de notation et des indications relatives à la durée de travail conseillée.

Présentation des problèmes

Le service de maintenance est sollicité pour analyser et résoudre deux problèmes importants constatés lors de l'utilisation des spreaders :

- Problème A : Détériorations importantes consécutives aux chocs subis par les flippers en phase d'approche et de mise en position du spreader au-dessus des conteneurs

La mise en position du lève-conteneur (spreader) au-dessus du conteneur est une opération délicate. La dextérité du grutier est importante. Une approche trop brutale provoque des chocs entre les flippers abaissés et les conteneurs. Ces chocs se répercutent sur les composants de la chaîne cinématique qui animent les flippers.

Des détériorations importantes ont ainsi été constatées au niveau des roues dentées et des clavetages roues-arbres du réducteur (voir document DQ 3/10). Afin de protéger ces éléments, le service de maintenance propose de recourir à une protection mécanique par "plaques fusibles"

Ces plaques devront se déformer ou se rompre lors de chocs excessifs

Cette solution fait l'objet de l'étude A : Dimensionnement des plaques fusibles

- Problème B : Détériorations des encoches des conteneurs et difficultés d'arrimage sur les conteneurs

Le spreader doit s'adapter aux dimensions du conteneur à déplacer. La distance longitudinale qui sépare les verrous du spreader doit être égale à la distance qui sépare les encoches des conteneurs dans lesquels ils s'engagent pour réaliser le verrouillage avant le levage. (voir présentation PR 3/4)

La mise à la longueur du spreader de 20 ft à 40 ft et inversement ne donne pas satisfaction car les positions varient dans le temps. Il en résulte :

- des chocs importants et donc des déformations des encoches du conteneur lors de la pénétration des verrous dans celles-ci
- une perte de temps lors de la manœuvre d'arrimage

On propose l'ajout d'un dispositif de freinage hydraulique assurant une mise à la longueur fiable dans le temps.

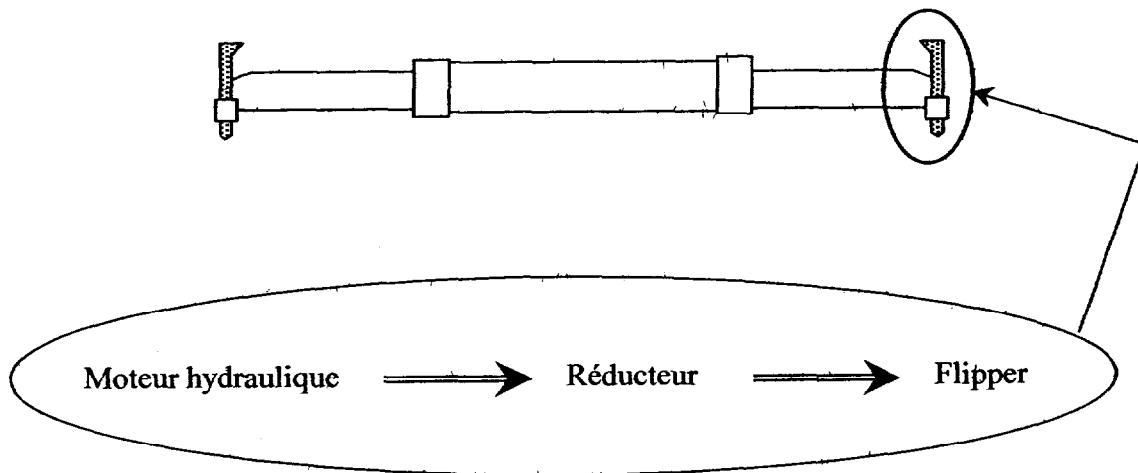
Une réduction de l'influence du frottement est recherchée.

Cette modification du freinage est l'objet de l'étude B : Mise à la longueur des bras

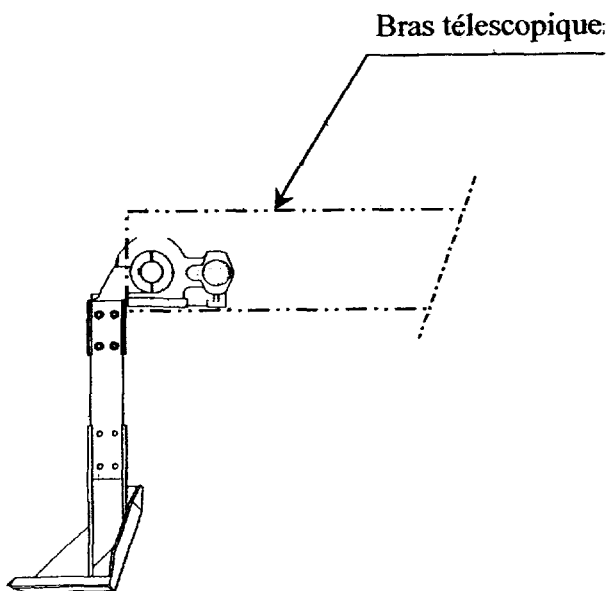
A) Etude du dimensionnement des plaques fusibles.

Mise en situation (Voir PR 2/4)

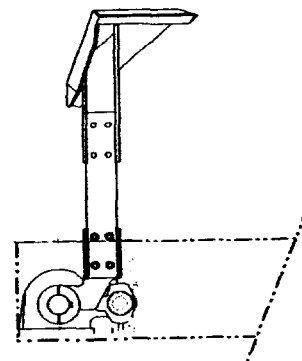
Les 4 flippers fixés aux extrémités des 2 bras télescopiques sont mus par des moteurs hydrauliques indépendants.



Les 4 flippers permettent une mise en position correcte du spreader à la verticale du conteneur. Clavetés sur l'arbre du secteur denté du réducteur (voir figure page suivante), les bras peuvent pivoter de 180° autour de l'axe de sortie du réducteur. (position verticale haute à position verticale basse)



Flipper gauche abaissé

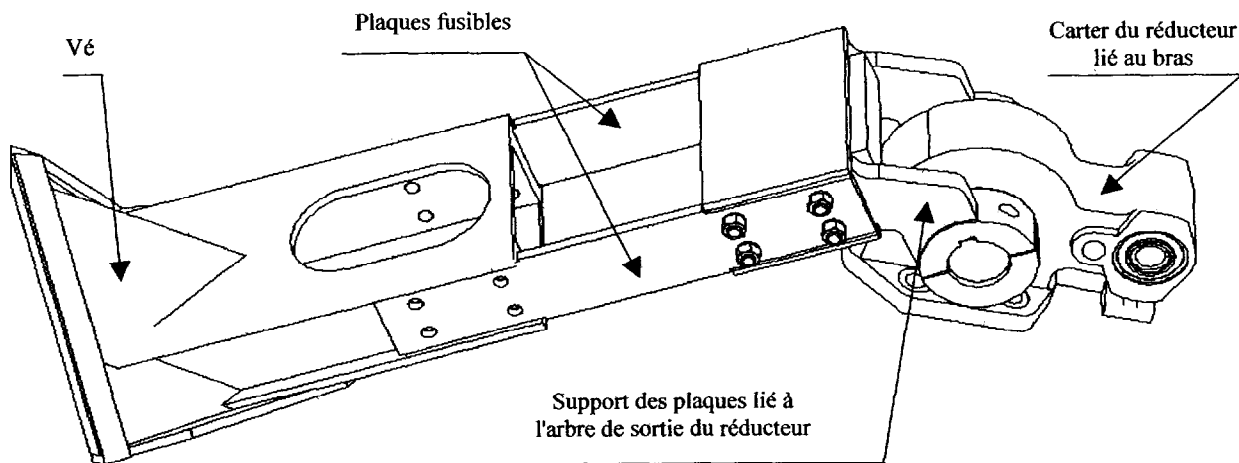


Flipper gauche relevé

Description de la solution proposée :

Deux plaques assurent la jonction entre le porte-plaques lié à l'arbre de sortie du réducteur et le vé d'extrémité (voir perspective ci-dessous)

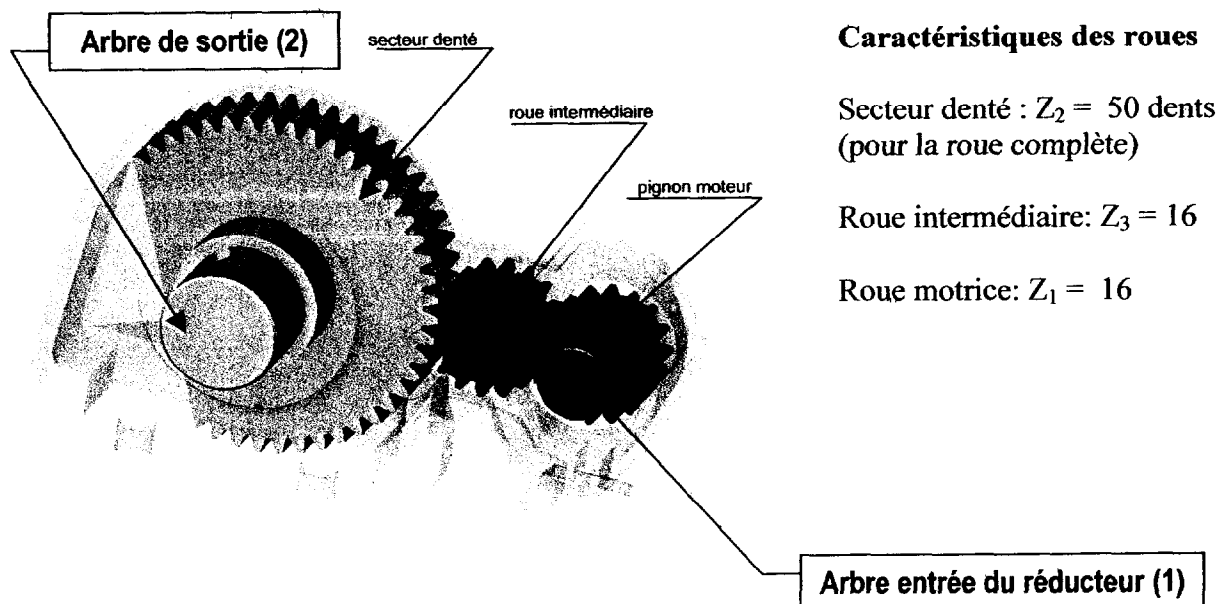
L'étude consiste à dimensionner les plaques fusibles afin qu'elles se déforment ou se rompent lors d'un choc trop important, protégeant ainsi le réducteur.



Hypothèses:

Le couple maximum admissible sur l'arbre entrée du réducteur est estimé à 3100 N.m

On néglige les pertes par frottement



Q A.1	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DQ 3/10 Répondre sur feuille de copie.		

Calculer pour le réducteur représenté sur **DQ 3/10** le rapport de réduction $i = N2/N1$ et le rapport λ du couple de sortie C_2 sur le couple moteur C_1 .

Q A.2	Barème : 1 point / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
Documents à consulter : DQ 3/10 Répondre sur feuille de copie.		

Calculer la valeur du moment du couple C_2 admissible sur l'arbre de sortie.

Les plaques fusibles sont soumises à une liaison complète par rapport à leur support lié à l'arbre de sortie du réducteur. Etude du positionnement de l'une des plaques par rapport au support, indépendamment de l'action des boulons. (Voir DT 1/5)

Q A.3	Barème : 1 point / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
Documents à consulter : DR 1/2 Répondre sur DR 1/2 .		

Sur les figures du document réponse **DR 1/2**, **identifier** les surfaces fonctionnelles qui participent à ce positionnement et répondre en **complétant** le tableau amorcé par l'exemple des surfaces b.

L'action due au choc du conteneur sur le flipper est modélisable par un glisseur au point A.

Q A.4	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DR 1/2 Répondre sur DR 2/2 .		

On donne sur le document réponse **DR 2/2** une représentation graphique du glisseur de résultante \vec{A} . **Désigner** dans le tableau de réponse, les sollicitations auxquelles sont soumises les plaques fusibles dans la section (S).

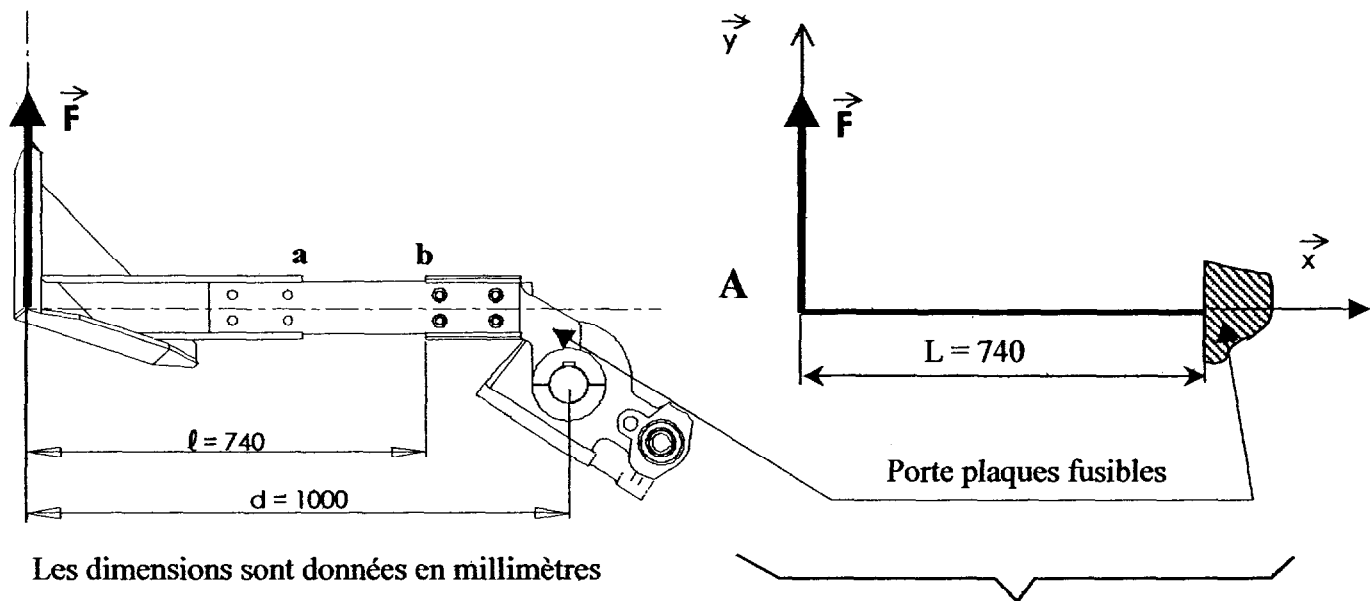
Dans une première approche, les plaques seront supposées soumises à une action modélisable par le glisseur \vec{F} représenté ci-après et seront calculées à la flexion plané simple.

Q A.5	Barème : 1 point / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
Documents à consulter : DR 1/2 Répondre sur DR 1/2 .		

Déterminer la norme de la résultante du glisseur \vec{F} en considérant que le moment maximum transmissible par l'arbre de sortie du réducteur au flipper est de 10^4 N.m (Question Q A.2).

La figure ci-après précise la position de l'axe du glisseur \vec{F} qui représente, dans le cadre des hypothèses d'étude, l'action de contact du conteneur sur le flipper.

On considère que le porte plaques fusibles est fixe par rapport au repère. (bloqué)



Les dimensions sont données en millimètres

Modélisation adoptée pour l'étude de RDM

Q A.6	Barème : 1 points / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
Documents à consulter : DT 1/5, DT 2/5. Répondre sur DR 1/2.		

Déterminer pour l'ensemble des deux plaques fusibles, dans le tronçon "ab", le moment de flexion maximum. **Repérer** pour une plaque fusible, sur le document réponse DR 1 / 2, la section dans laquelle le moment de flexion est maximum.

Données :

Les plaques sont réalisées dans un plat d'épaisseur $e = 12 \text{ mm}$ en acier S355

La résistance à la rupture par traction de cet acier est de 490 MPa et sa résistance élastique minimale à l'extension est de 355 MPa

L'obtention par usinage de la cote h (voir DT 2/5) provoque des concentrations de contraintes.

Le facteur de concentration de contrainte est: $k = 1,5$

Le calcul sera fait en utilisant les relations données dans le tableau DT 2/5

Q A.7	Barème : 1 points / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
Documents à consulter : DT 2/5. Répondre sur DR 1/2.		

Exprimer en fonction de h et de $e = 12 \text{ mm}$, la valeur de I_{Gz}/v_{\max} pour une plaque fusible, dans la section où s'exerce le moment de flexion maximum.

Q A.8	Barème : 4 points / 40	Durée de travail conseillée : 16 min
Documents à consulter : DT 2/5. Répondre sur DR 1/2.		

Ecrire la condition de rupture d'une plaque fusible, en supposant que le moment de flexion se répartisse **équitablement** sur les deux plaques. **En déduire** la valeur de la hauteur h_{\max} d'une plaque fusible et **donner** la désignation du plat laminé à utiliser. La dimension "h" sera ensuite réalisée par usinage.

B) Etude de la mise à la longueur des bras.

Rappel du problème :

Pour soulever et déplacer les conteneurs, le grutier doit tout d'abord procéder à la mise à la longueur des bras si cela est nécessaire. (passage de la position 40 ft à la position 20 ft par exemple). Pour que le spreader se verrouille sur le conteneur, la distance longitudinale qui sépare les verrous du spreader doit être égale à celle qui sépare les orifices du conteneur.

Au cours du temps, les plaques antifriction qui participent au guidage des bras par rapport au cadre s'usent. La distance entre les verrous du spreader varie d'une manœuvre à l'autre à cause de cette usure, notamment en cas de graissage inégal. (Voir DT 3/5). L'utilisation d'un freinage hydraulique est envisagée pour mieux maîtriser cet arrêt et respecter ainsi la tolérance de position requise.

Des capteurs situés sur les bras permettent d'obtenir une précision de $\pm 3\text{mm}$ des deux positions utiles des bras.

Descriptif de la transmission : Voir DT 4/5

Les deux bras porte flipper sont guidés en translation par rapport au cadre et entraînés par un moteur hydraulique.

La transmission comprend une chaîne, un réducteur à engrenages et le moteur hydraulique.

Chaque bras est lié à un brin de la chaîne (brin supérieur pour l'un des bras et brin inférieur pour l'autre). Le mouvement de la chaîne provoque ainsi des déplacements symétriques des bras télescopiques.

Moteur hydraulique \longrightarrow Réducteur \longrightarrow Chaîne \longrightarrow Bras

La première étude consiste à déterminer les caractéristiques cinématiques, dynamiques et hydrauliques liées à la solution technique choisie et de vérifier sa compatibilité avec les éléments existants.

L'étude suivante concerne le passage de la position " petit conteneur " à la position " grand conteneur "

Données:

Les liaisons sont supposées parfaites sauf les liaisons glissières : $\mu = \text{tg } \varphi = 0,2$

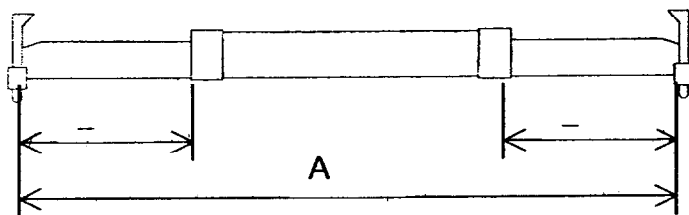
Il existe deux formats de longueur : "petit conteneur" 20 ft et "grand conteneur" 40 ft

Rendement global de la transmission $\eta = 0,7$

Rapport des vitesses du réducteur : $i = 1/98$

Durée de déploiement des bras : 21 secondes

Masse d'un bras complet : $M = 2500 \text{ kg}$



Norme ISO	A
Position 20 ft	5842 mm
Position 40 ft	11974 mm

Détermination de la puissance du moteur hydraulique

Q B.1	Barème : 1 points / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
--------------	------------------------	-------------------------------------

Documents à consulter : **DQ 6/10**.
Répondre sur feuille de copie.

Déterminer en millimètres la valeur de la course d'un bras lors du passage de la position "petit conteneur" à la position "grand conteneur".

Q B.2	Barème : 1 points / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
--------------	------------------------	-------------------------------------

Documents à consulter : **DQ 6/10**.
Répondre sur feuille de copie.

Calculer la vitesse moyenne du bras pendant cette phase.

Q B.3	Barème : 6 points / 40	Durée de travail conseillée : 24 min
--------------	------------------------	--------------------------------------

Documents à consulter : **DQ 6/10, DT 3/5 et DT 4/5**.
Répondre sur feuille de copie.

Détermination de l'effort de tirage \vec{H} supposé horizontal, exercé par la chaîne sur le ***bras droit*** lors d'un mouvement **uniforme**

Pour cela:

Q B.3.1 Etablir le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées sur le bras droit. Ne prendre en compte que les composantes des actions mécaniques sur les axes (O, \vec{x}) et (O, \vec{y}) (*Problème ramené à un problème plan dans (O, \vec{x}, \vec{y})*). Voir sur **DT 3/5** et **DT 4/5** les détails du guidage en translation du bras par rapport au caisson.

Q B.3.2 *Représenter* graphiquement ces actions en précisant leurs supports et sens sur un croquis (s'inspirer de **DT 3/5**). Justifier les support et sens du modèle de chaque action.

Remarque: Ce croquis à échelle approximative ne servira pas de base à une résolution graphique

Q B.3.3 Ecrire les équations issues du théorème de la Résultante Dynamique en projection sur les deux axes (O, \vec{x}) et (O, \vec{y}) .

Remarque: Exprimer les projections de chaque résultante en fonction de la norme de cette dernière et des lignes trigonométriques de l'angle qui définit la direction de son support.

En associant aux équations précédentes une équation obtenue par le théorème du moment dynamique, la résolution permettrait d'établir la relation suivante: $\|\vec{H}\| = \left(\frac{2a}{b} - 1\right) Mg\mu$

Q B.4	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
--------------	------------------------	-------------------------------------

Documents à consulter : **DQ 6/10, DT 3/5 et DT 4/5**.
Répondre sur feuille de copie.

Déterminer la puissance maximale de l'action de la chaîne sur le bras lorsque $a = 2b$.

Prendre $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

Q B.5	Barème : 1 points / 40	Durée de travail conseillée : 4 min
Documents à consulter : DQ 6/10, DT 3/5 et DT 4/5. Répondre sur feuille de copie.		

Déduire de Q B.4 la puissance maximale développée par le moteur hydraulique pour déployer les deux bras.

Détermination de la distance maximale d'arrêt des bras (facteur de frottement très faible)

On se propose de déterminer d , distance d'arrêt des bras sans freinage. (arrêt uniquement par frottement après arrêt du moteur hydraulique)

L'étude sera menée sur un bras seulement (la symétrie permet cette simplification)

Hypothèses et données supplémentaires :

La vitesse du bras au début de la phase d'arrêt sera prise égale à $0,15 \text{ m.s}^{-1}$

Les résistances hydrauliques sont négligées.

Les inerties des parties tournantes sont négligées.

La masse de la chaîne est négligée.

Les liaisons sont parfaites sauf la liaison glissière du bras par rapport à la poutre. La résultante des actions en A et en B du cadre sur le bras droit est égale à :

$$\vec{R} = -2500 \vec{i} - 25000 \vec{j} \quad \text{Avec composantes de } \vec{R} \text{ en Newtons}$$

Pour \vec{i} et \vec{j} voir repère sur document DT 3/5

Q B.6	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DQ 8/10, DT 3/5 et DT 4/5. Répondre sur feuille de copie.		

Donner l'expression de l'énergie cinétique du bras et sa valeur.

Q B.7	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DQ 8/10, DT 3/5 et DT 4/5 Répondre sur feuille de copie.		

Exprimer le travail des actions de contact avec frottement du caisson sur le bras lors de la phase d'arrêt en fonction de d .

Q B.8	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DQ 8/10, DT 3/5 et DT 4/5 Répondre sur feuille de copie.		

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre les instants "début" et "fin" du mouvement, déterminer la distance d'arrêt d du bras.

Prédétermination du freinage hydraulique

Hypothèses et données :

Les hypothèses et données de l'étude précédente restent valables. (Phase de freinage lorsqu'on passe de la position "petit conteneur" à la position "grand conteneur").

Données complémentaires :

Cylindrée du moteur hydraulique :	$Cyl = 25 \text{ cm}^3/\text{tour}$
Rapport des vitesses du réducteur :	$i = 1/98$
Pas de la chaîne :	$pas = 1,5''$ (un pouce = 25,4 mm)
Diamètre primitif des pignons de chaîne	$D = 2r = 125 \text{ mm}$

Le freinage est obtenu par un dispositif hydraulique et par l'effet du frottement.

On impose un arrêt sur une distance maximale $d = 3 \text{ mm}$ afin de minimiser l'impact de la variation du facteur de frottement.

Au cours du freinage hydraulique (étranglement dans le circuit lié au moteur hydraulique), l'huile laminée monte en température. (énergie hydraulique transformée en énergie calorifique)

Ce freinage engendre une action \vec{H} de la chaîne sur le bras, action que l'on supposera horizontale.

Au cours du freinage il convient de respecter :

- pour la chaîne, la relation : $T < T_{adm}$ T étant la tension maximale de la chaîne.
- pour l'huile, un accroissement instantané de température $\Delta\theta$ limité

a) Vérification de la tension de la chaîne

Q B.9	Barème : 3 points / 40	Durée de travail conseillée : 12 min
Documents à consulter : DT 3/5 à DT 5/5 Répondre sur feuille de copie.		

Déterminer la valeur de la décélération a d'un point situé sur le bras au cours du freinage.

Q B.10	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DT 3/5 à DT 5/5 Répondre sur feuille de copie.		

Le théorème de la Résultante Dynamique appliquée au bras droit donne l'expression suivante :

$$\vec{H} + \vec{R} + \vec{P} = M \cdot \vec{a}$$

- Ecrire l'équation en projection sur l'axe (O, \vec{x}) et déterminer la norme de \vec{H} .

Rappel : \vec{R} et \vec{P} ($\vec{P} = M \cdot \vec{g}$) sont donnés

- Calculer la norme de la tension \vec{T} du brin inférieur de la chaîne durant le freinage.

Remarque :

Lors du montage de la chaîne, la tension de pose est obtenue par deux tendeurs qui utilisent l'action de rondelles élastiques de type "Belleville" sur chaque brin.

Le couple de réglage des écrous de compression de ces tendeurs est de 60 N.m environ.

Ces tendeurs jouent le rôle d'amortisseurs de chocs et permettent de rattraper les jeux consécutifs à l'usure de la transmission par chaîne. (Voir DT 5/5).

Ce dispositif génère une tension initiale de 26 000 N.

DQ 9/10

Q B.11	Barème : 3 points / 40	Durée de travail conseillée : 12 min
Documents à consulter : DT 3/5, DT 5/5, DQ 8/10 et DQ 9/10. Répondre sur feuille de copie.		

Déterminer la tension totale de la chaîne. Cette valeur est-elle acceptable ?

b) Calcul de l'élévation de température du volume d'huile laminé

Données supplémentaires :

Travail du frein hydraulique (laminage de l'huile) :

$$W_{\text{frein}} = 41,25 \text{ J}$$

Capacité thermique massique de l'huile (chaleur massique) :

$$C = 2000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

Masse volumique de l'huile :

$$\rho = 900 \text{ kg.m}^{-3}$$

$\Delta\theta$ en degrés Celsius

r : rayon primitif des pignons à chaîne.

i : rapport de réduction du réducteur intercalé entre le moteur hydraulique et le pignon à chaîne moteur.

d : distance d'arrêt d'un bras.

$$\Delta\theta = \frac{W_{\text{frein}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot i}{\text{Cyl.} \cdot d \cdot \rho \cdot C} \quad (\text{Relation exprimée en unités du système international SI})$$

Q B.12	Barème : 2 points / 40	Durée de travail conseillée : 8 min
Documents à consulter : DT 5/5 et DQ 8/9 et DQ 9/10. Répondre sur feuille de copie.		

Calculer la valeur de l'élévation de température $\Delta\theta$ de l'huile au cours d'un freinage.

Conclure sur l'utilité d'un refroidisseur dans le circuit hydraulique.