

B.T.S. INDUSTRIES PAPETIERES

Session 2004

ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE DES SYSTÈMES Sous épreuve U41 : ANALYSE DU COMPORTEMENT D'UN MECANISME

COMPOSITION DU SUJET

Sans compter cette feuille, cette étude comporte 15 feuilles au format A4

DP1 :	Mise en situation
DP2 :	Le rouleau flottant
DP3 :	Description du fonctionnement
DP4 :	Équipement hydraulique
DS1 et DS2	Travail demandé
DT1 à DT4 :	Résultats de simulations informatiques en RDM
DR1 à DR5 :	Documents réponse

Durée de l'épreuve : 3 heures

Coefficient : 2,5

La durée de l'épreuve comprend un temps de lecture de 20 minutes.

Barème indicatif :

Recherche des efforts sur les roulements (<i>questions Q1 à Q3</i>) :	5 points
Comportement des éléments déformables (<i>questions Q4 à Q9</i>) :	8 points
Dimensionnement du moteur de pompe hydraulique (<i>questions Q10 à Q13</i>) :	7 points

Les documents réponse DR1 à DR5 seront rendus impérativement avec les feuilles de copie normalisées à la fin de l'épreuve

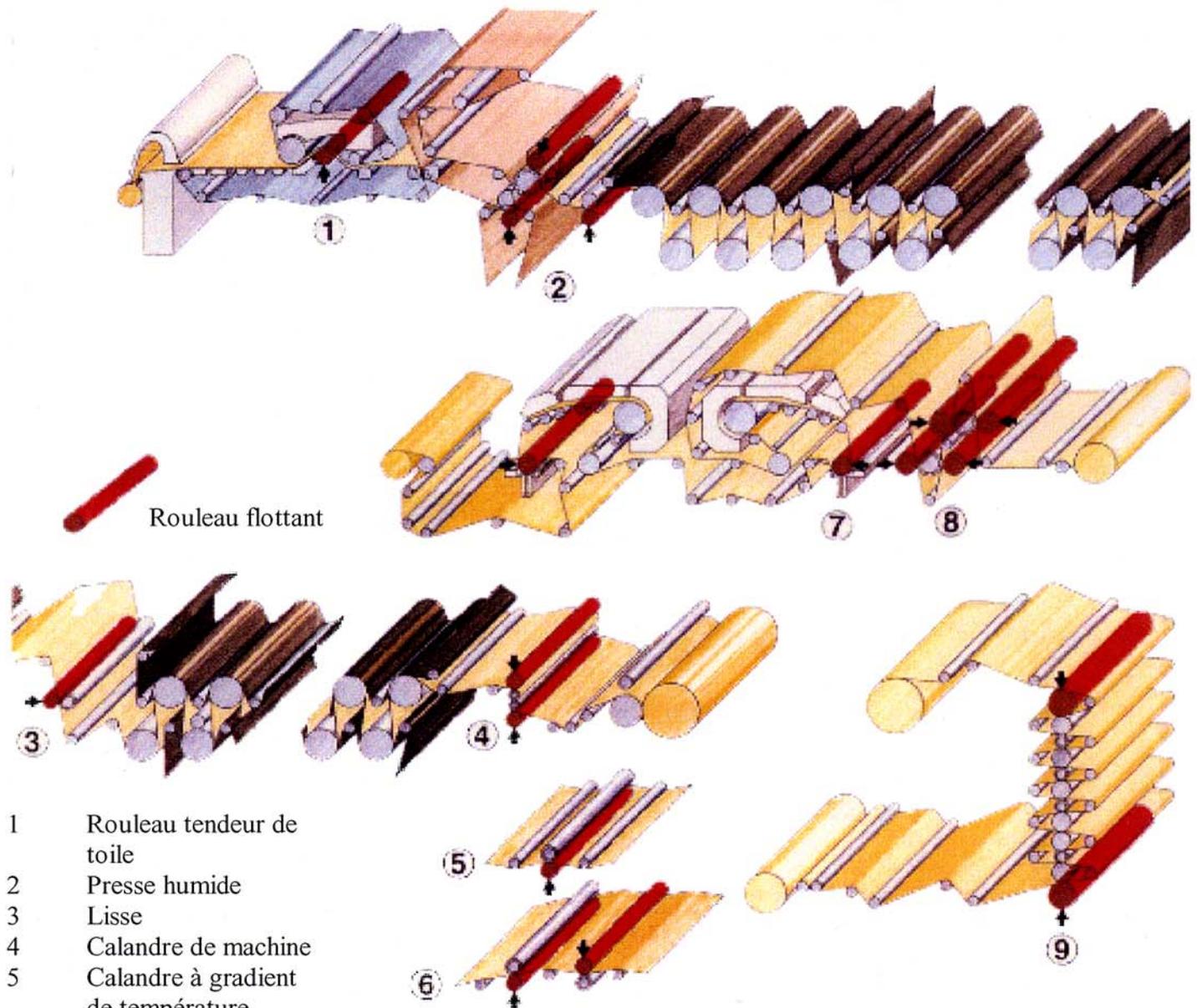
Aucun document autre que ceux du sujet n'est autorisé

Moyens de calcul autorisés:

Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non-imprimante, autorisée conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999.

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 1/16

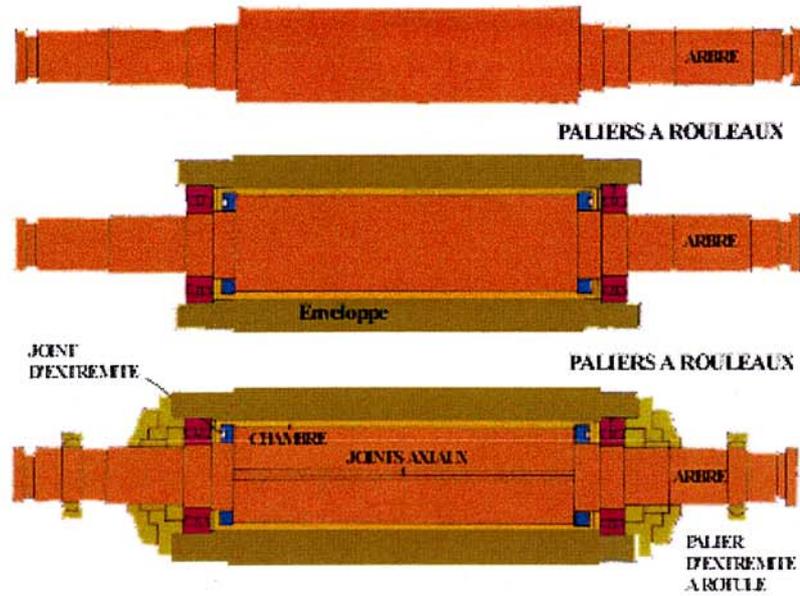
L'étude porte sur un rouleau flottant utilisé dans le processus de production de papier. Le schéma ci dessous et la légende qui l'accompagne montrent l'implantation de ce type de rouleau à partir de la formation de la feuille



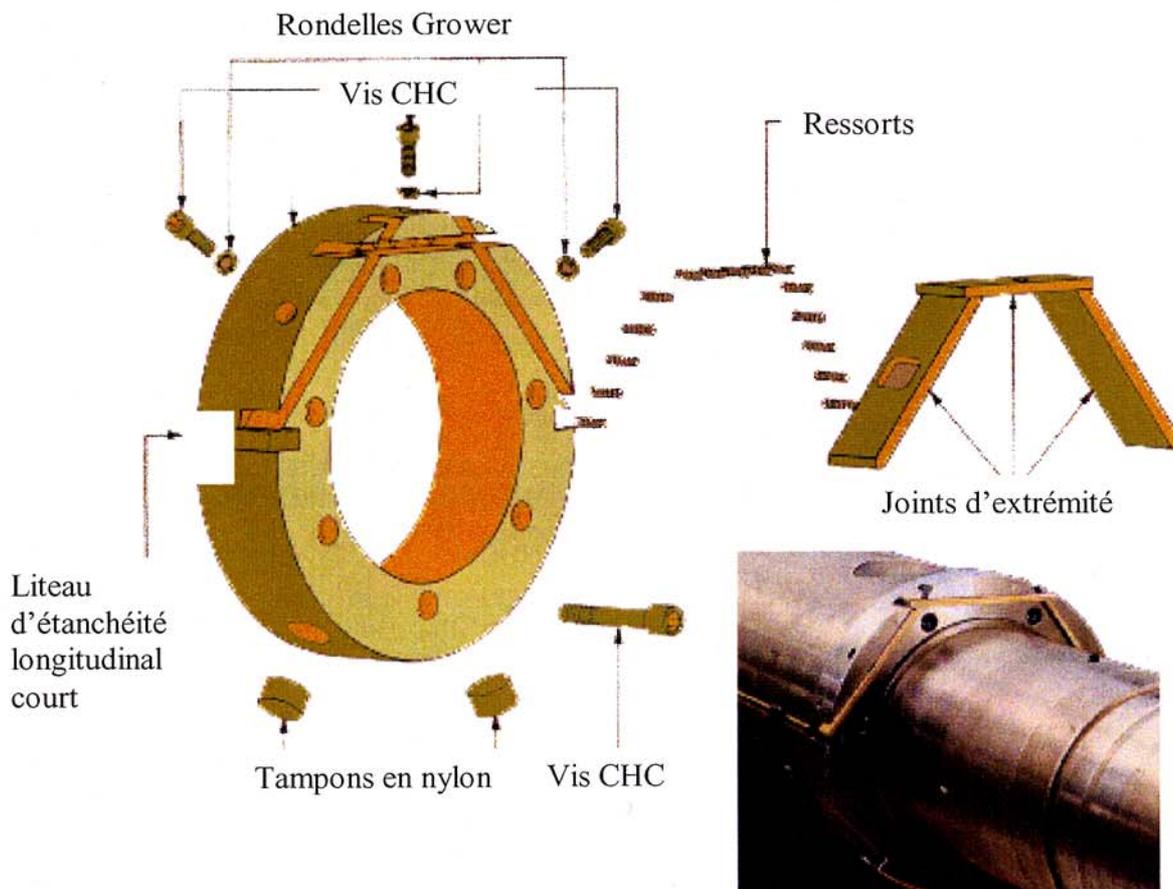
- 1 Rouleau tendeur de toile
- 2 Presse humide
- 3 Lisse
- 4 Calandre de machine
- 5 Calandre à gradient de température
- 6 Calandre douce compacte
- 7 Coucheuse
- 8 Calandre douce
- 9 Calandre de surglage

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 2/16

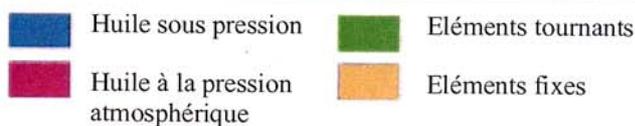
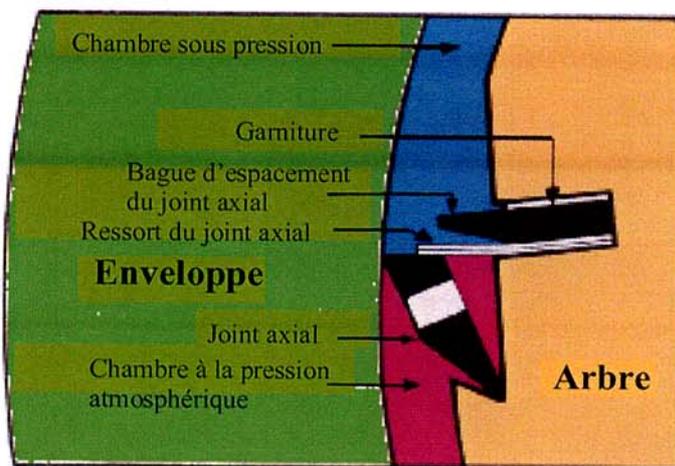
Les différents composants du rouleau sont identifiés sur les trois schémas ci dessous.



L'éclaté ci dessous détaille le dispositif d'étanchéité qui est la base du fonctionnement du rouleau :



BTS INDUSTRIES PAPERIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 3/16

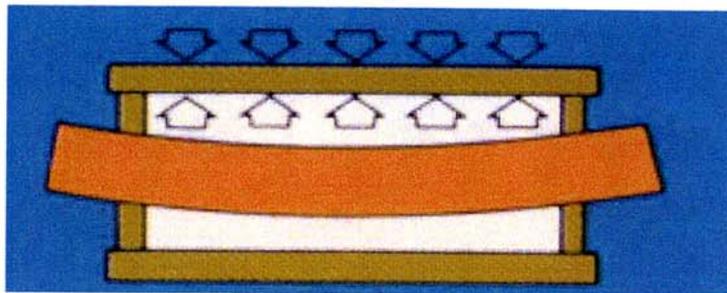


De par la présence des joints d'étanchéité, la chambre comprise entre l'enveloppe du rouleau et l'arbre est divisée en deux moitiés :

- la moitié supérieure est soumise à une pression d'huile
- la moitié inférieure est soumise à la pression atmosphérique.

Le contact entre la feuille de papier et l'extérieur de l'enveloppe du rouleau se traduit par une pression au niveau de la ligne de contact. Dans la partie étanche de la chambre (moitié supérieure), la pression d'huile s'ajuste jusqu'à ce qu'il y ait compensation. La pression de la feuille sur la ligne de contact est alors constante sur toute la largeur de la feuille sans qu'il soit nécessaire de bomber le rouleau comme avec des modèles classiques de rouleaux. La réaction à la pression interne est assurée par l'arbre fixe et transmise aux paliers d'extrémité à rotule, les paliers intérieurs à rouleaux servent uniquement au centrage et ne subissent aucune charge appréciable.

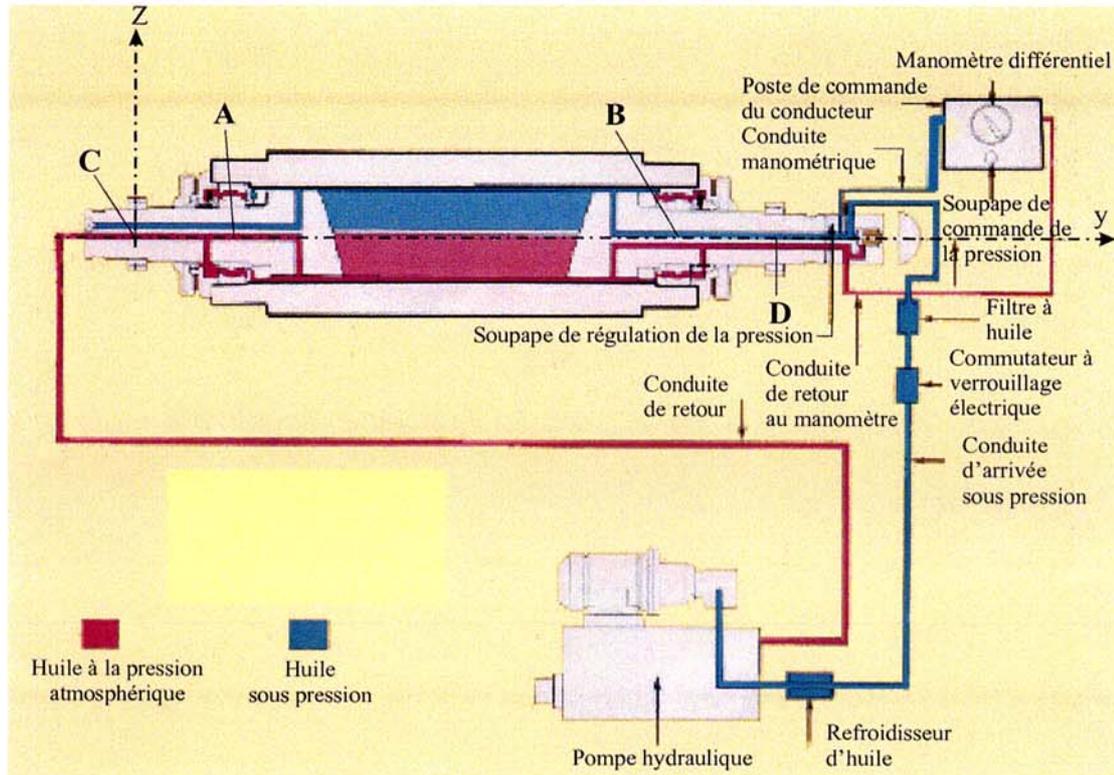
Une diminution ou une augmentation de la pression interne dans le rouleau engendre une convexité ou une concavité.



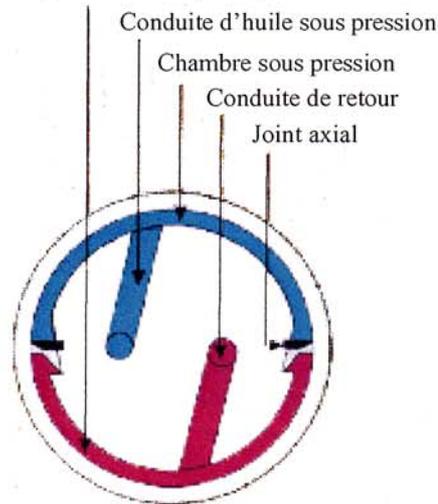
Exemple de configuration :
la génératrice de contact de la feuille est parallèle à l'axe de rotation du rouleau

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 4/16

Les deux schémas suivants présentent l'équipement hydraulique nécessaire au fonctionnement du rouleau :



Chambre à la pression atmosphérique



Remarque : sur le schéma ci dessus, on précise :

- le repère $R = \{C, x, y, z\}$; y étant l'axe de révolution du rouleau flottant
- le point A : centre du palier à rouleaux côté conducteur
- le point B : centre du palier à rouleaux côté transmission
- le point C : centre du palier d'extrémité à rotule côté conducteur
- le point D : centre du palier d'extrémité à rotule côté transmission

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 5/16

Une opération de calandrage consiste à faire passer la feuille de papier entre plusieurs cylindres de différentes qualités. La charge linéaire appliquée sur la feuille doit être uniformément répartie sur toute la laize. La valeur de cette charge peut être comprise entre 20 N/mm et 100 N/mm

Mise en évidences des déformations : Virole (enveloppe) et Poutre (arbre) fixe

La vitesse de la feuille est de 500 m/min $\vec{V} = 500 \vec{x}$

Les écarts de température sont estimés au maximum à 100 °C.

Le repère de projection choisi est lié au bâti : ox = sens marche, oy = sens travers, oz = vertical vers le haut

La motorisation ne sera pas étudiée

Les documents DT1, DT2, DT3 et DT4 sont issus d'une étude réalisée à l'aide d'un logiciel de calcul de structure (RdM)

Première configuration envisagée

Données :

La pression intérieure n'est pas prise en compte.

Le cylindre est constitué d'une virole de diamètre extérieur 340 mm, d'épaisseur 20 mm, laize 5 mètres

L'action de contact de la feuille sur la virole est modélisée par une charge uniformément répartie égale à 100 N/mm pour une laize de 5 mètres

La liaison pivot de la virole (d'axe yy') par rapport au bâti est assurée par une liaison rotule de centre A coté conducteur, et une liaison linéaire annulaire de centre B d'axe y, côté transmission.

Il est conseillé de considérer le schéma et son repère orthonormé : voir document DP4.

Recherche des efforts sur les roulements :

- document réponse DR1 -

Q 1 - Représenter de façon schématique la virole isolée.

Indiquer la position des liaisons rotule et linéaire annulaire

Q 2 - Établir le bilan des actions extérieures agissant sur la virole isolée, écrire les éléments de réduction des torseurs associés aux actions de liaison.

Le candidat remarquera qu'il existe un plan de symétrie x o z, milieu de la laize (sens marche)

Q 3 - Déterminer les composantes des torseurs associés aux actions de liaisons

Comportement des éléments déformables

- document réponse DR2 -

Q 4 - Relever sur le document DT1 la déformation maximum (flèche suivant z) ainsi que la contrainte normale de flexion sur le document DT2.

Q 5 - Calculer la résistance à l'extension (flexion) de l'acier choisi si le coefficient de sécurité est égal à 5.

Q 6 - Sur la représentation de la section de la virole, entourer la zone dans laquelle agit la contrainte normale maximale.

Deuxième configuration envisagée – Étude de la configuration réelle -

Données :

La virole précédente est en liaison pivot avec la poutre fixe 15. Cette dernière est elle même en liaison rotule de centre C coté conducteur et en liaison linéaire annulaire de centre D, d'axe y, coté transmission. La poutre fixe est considérée comme étant un cylindre plein de diamètre 280 mm de longueur 5,5 mètres

Une pression d'huile entre la poutre et la virole permet de s'opposer à la déformation précédente

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 6/16

Vérification de la poutre fixe - Document DT3, DT4 et document réponse DR3 -

A partir de la lecture des documents DT3 et DT4 :

Q 7 - Calculer la contrainte normale maximum à partir de la lecture du diagramme des moments fléchissants sur le document DT4.

$$\text{Rappel : } \sigma = \frac{Mf}{I} \quad \text{avec } I = \frac{\pi D^4}{64} \quad \text{et } v = \frac{D}{2}$$

Q 8 - Relever sur le document DT3 la flèche maximum, préciser sa position suivant l'axe yy'.

Q 9 - Calculer le coefficient de sécurité adopté si l'on utilise un acier S355 (Limite élastique à la traction 355 N/mm²)

Pression de l'huile - document réponse DR4 -

La force, due à la pression d'huile, nécessaire pour redresser la virole doit être égale à la résultante de l'action due à la charge linéaire

Q 10 Déduire, à partir de cette proposition la pression nécessaire pour que la génératrice de la virole, soit rectiligne, malgré les déformations dues à la charge linéaire uniformément répartie.

(Voir méthode de calcul sur le document DR4)

Étanchéité dynamique Document réponse DR5

L'étanchéité entre la zone d'huile sous pression, la poutre fixe et la virole tournante est assurée par deux joints rectilignes, suivant la génératrice de la virole (longueur 5 mètres, diamètre de contact 300 mm)

3 joints, de chaque côté, sur les faces latérales (longueur totale : 500 mm par côté)

Q 11 - Calculer le débit de fuite total sachant que la valeur de la fuite est estimée à 3 litres par mètre linéaire et par seconde

Q 12 - Calculer la vitesse de glissement au contact joint longitudinal, intérieur du cylindre

Choix de la pompe volumétrique

Données (quelques soient les résultats obtenus précédemment)

Le débit de fuite total est estimé à 35 litres par seconde. Le débit de la pompe choisie sera majoré de 20%

La pression maximum nécessaire sera fixée à $p = 2$ MPa (20 bars)

Le rendement hydraulique de la pompe est de 95%, le rendement du moteur électrique est de 80%

Q 13 - Calculer dans ces conditions :

La puissance hydraulique minimum de la pompe

La puissance électrique fournie au moteur accouplé avec l'arbre de la pompe

Rappel : Calcul de la puissance hydraulique : $P = p q$ (p : pression, q : débit)

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 7/16

Étude de la virole (enveloppe)

Nœud(s) [mm]

Nœud	x	y	z
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	2500.0	0.0
3	0.0	5000.0	0.0

Poutres(s) [mm] Poids de la structure = 7890 N

Poutre	Ori	-> Ext	Orient	Long
1	1	2	0.0	2500.000
2	2	3	0.0	2500.000

Section droite Rond creux

Diamètre = 340.00 mm Épaisseur = 20.00 mm Aire = 201.062 cm²
 Moments quadratiques : I_x = 25836.458 cm⁴ - I_z = 25836.458 cm⁴ I_y = 51672.916 cm⁴

Matériau: Acier 45 SCD 6

Module d'Young = 220000 MPa Masse volumique = 7850 kg/m³
 Coefficient de dilatation = 1,30.10⁻⁰⁵.K⁻¹

Liaison(s) nodale(s) Nœud 1 : dx = dy = dz = 0 - Nœud 3 : dx = 0 dz = 0 roty = 0

Cas de charge(s) 1

Le poids propre est pris en compte Variation de température = 100 K
 Charge(s) uniformément répartie [N/mm] Poutre 1 : px = 0.0 py = 0.0 pz = -100.0
 Poutre 2 : px = 0.0 py = 0.0 pz = -100.0

Déplacements nodaux [mm]

Nœud	dx	dy	dz	rotx	roty	rotz
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-5.33E-01	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	3.25E+00	-1.45E+01	1.71E-17	0.00E+00	0.00E+00
3	0.00E+00	6.50E+00	0.00E+00	5.33E-01	0.00E+00	0.00E+00

Déplacement maximal sur x = 0.0000E+00 mm
 Déplacement maximal sur y = 6.5000E+00 mm [Nœud 3]
 Déplacement maximal sur z = 1.4543E+01 mm [Nœud 2]
 Déplacement maximal = 1.4902E+01 mm [Nœud 2]

Action(s) de liaison [N N.mm] |

Nœud 1-	Rx = 0.0	Ry = 0.0	Rz = 253945.8	Mx = 0.0	My = 0.0	Mz = 0.0
Nœud 3 -	Rx = 0.0	Ry = 0.0	Rz = 253945.8	Mx = 0.0	My = 0.0	Mz = 0.0

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 8/16

CONTRAINTE NORMALE

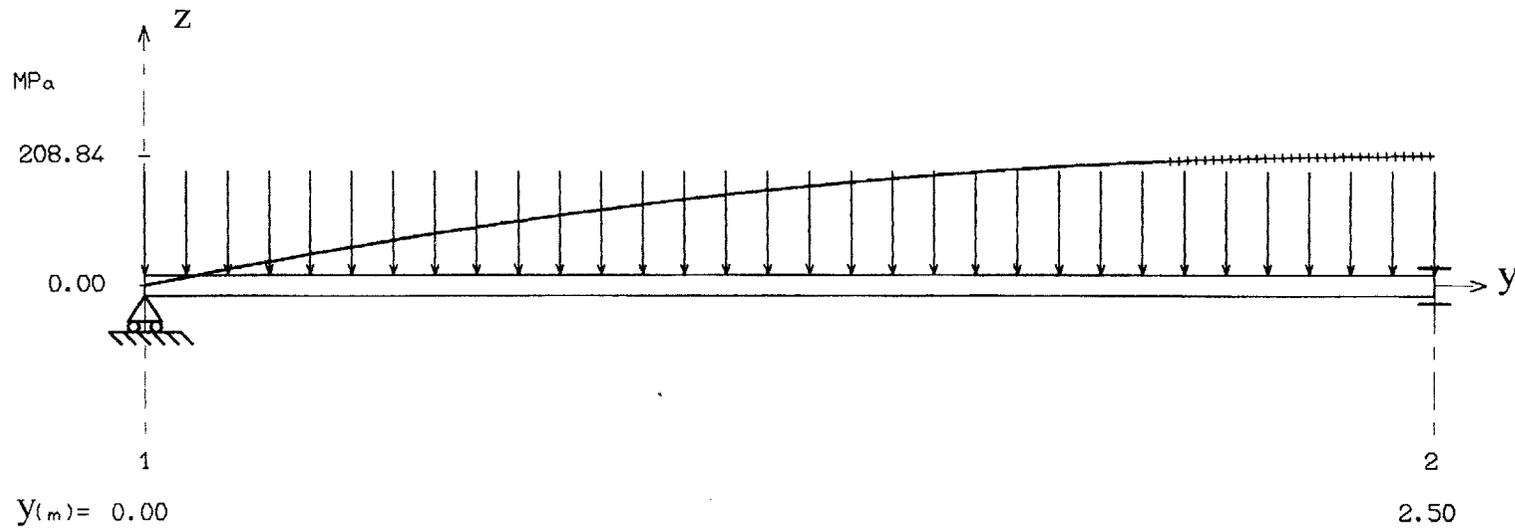


Diagramme des contraintes normales agissant sur une moitié de la poutre

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 9/16

Étude de la poutre (arbre)**Nœud(s) [mm]**

Nœud	x	y	z
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	2750.0	0.0
3	0.0	5500.0	0.0

Poutres(s) [mm] Poids de la structure = 26585 N

Poutre	Ori	-> Ext	Orient	Long
1	1	2	0.0	2750.000
2	2	3	0.0	2750.000

Section droite Rond pleinDiamètre = 280.00 mm Aire = 615.0 cm²Moments quadratiques : I_x = 30171 cm⁴ - I_z = 30171 cm⁴ I_y = 60342 cm⁴**Matériau: Acier 45 SCD 6**Module d'Young = 220000 MPa Masse volumique = 7850 kg/m³Coefficient de dilatation = 1.30.10⁻⁰⁵.K⁻¹**Liaison(s) nodale(s)**

Nœud 1 : dx = dy = dz = 0

(liaison rotule de centre C)

Nœud 3 : dx = 0 dz = 0 roty = 0 (liaison linéaire annulaire de centre D et d'axe y)

Cas de charge(s) 1

Le poids propre est pris en compte Variation de température = 100 K

Charge(s) uniformément répartie [N/mm] Poutre 1 : p_x = 0.0 p_y = 0.0 p_z = -100.0Poutre 2 : p_x = 0.0 p_y = 0.0 p_z = -100.0**Déplacements nodaux [mm]**

Nœud	dx	dy	dz	rotx	roty	rotz
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-6.25E-01	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	3.5E+00	-1.8E+01	-4.91E-17	0.00E+00	0.00E+00
3	0.00E+00	7.10E+00	0.00E+00	6.2E-01	0.00E+00	0.00E+00

Déplacement maximal sur x = 0.0000E+00 mm

Déplacement maximal sur y = 7.1000E+00 mm [Nœud 3]

Déplacement maximal sur z = 1.88E+01 mm [Nœud 2]

Déplacement maximal = 1.91E+01 mm [Nœud 2]

Action(s) de liaison [N N.mm] |Nœud 1 - R_x = 0.0 R_y = 0.0 R_z = 288292.5 M_x = 0.0 M_y = 0.0 M_z = 0.0Nœud 3 - R_x = 0.0 R_y = 0.0 R_z = 288292.5 M_x = 0.0 M_y = 0.0 M_z = 0.0

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 10/16

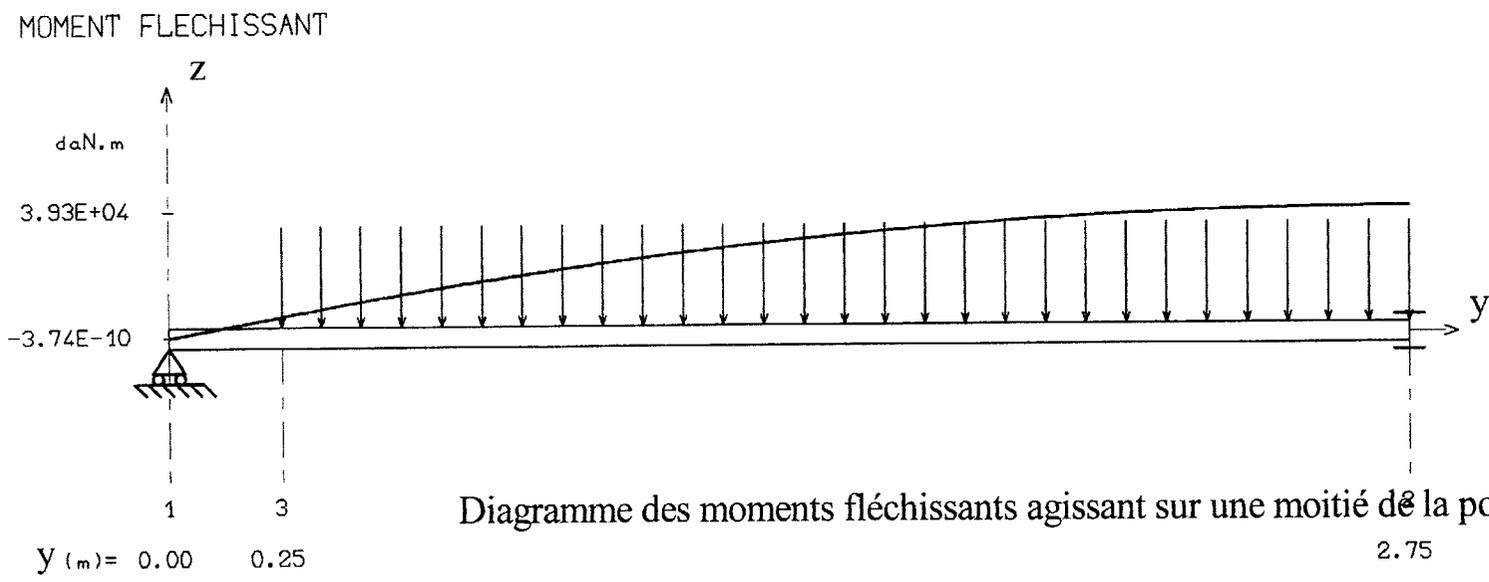
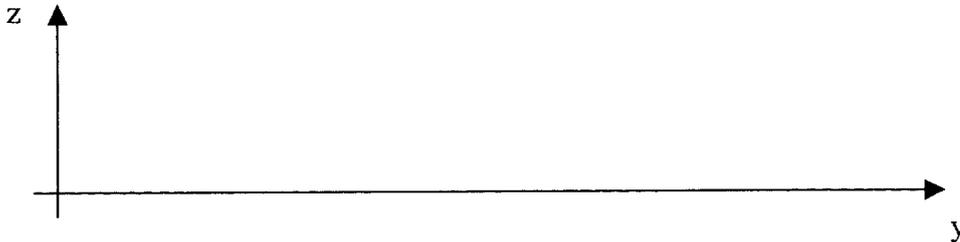


Diagramme des moments fléchissants agissant sur une moitié de la poutre

BTS INDUSTRIES PAPETIERES	SUJET	Session 2004
Epreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 11/16

Étude statique

Q1) Représenter de façon schématique la virole isolée, avec les liaisons de centre A et B



Q2) Établir le bilan des actions extérieures au solide isolé, écrire les éléments de réduction des torseurs associés aux actions de liaison

Le candidat remarquera qu'il existe un plan de symétrie x o z , milieu de la laize (sens marche)

Q3) Déterminer les actions de liaisons en A et en B

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 12/16

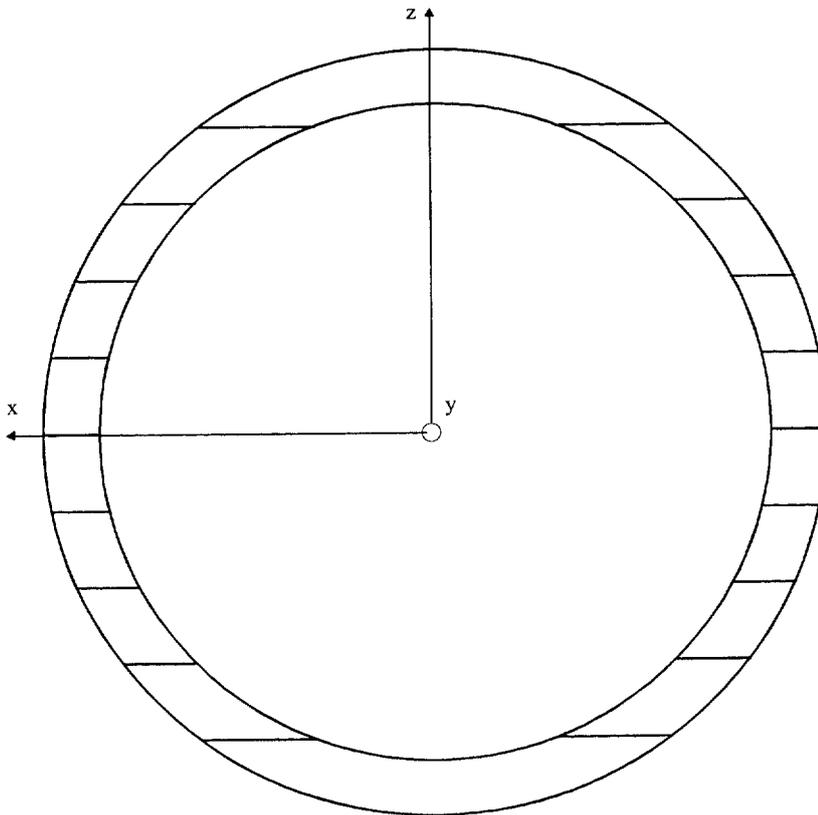
Comportement des éléments déformables

Q4) Relever sur les documents DT1 et DT2 :

- la déformation maximum (flèche suivant z)
- la contrainte normale de flexion

Q5) Calculer la résistance à l'extension (flexion) de l'acier choisi si le coefficient de sécurité est égal à 5.

Q 6) Sur la représentation de la section de la virole, entourer la zone dans laquelle agit la contrainte normale maximale.



MPa

min = -208,87
 max = 208,87
 int = 41,77

1 -167,09
 2 -125,32
 3 -83,55
 4 -41,77
 5 0
 6 41,77
 7 83,55
 8 125,32
 9 167,09

x = 0,001 mm

N
 Ty = 2,612 E-01
 Tz
 Mt
 Mfy
 Mfx = 3.174 E*08
 Unités: mm et N

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 13/16

Vérification de la poutre fixe :

Q 7 - Calculer la contrainte maximum

Q 8 - Relever sur le document DT3 la flèche maximum, préciser sa position suivant l'axe zz'

Q 9 - Calculer le coefficient de sécurité pour un acier S355 (Limite élastique à la traction 355 N/mm^2)

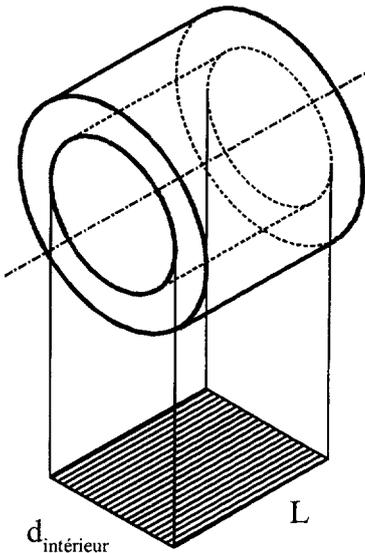
BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 14/16

Dimensionnement du moteur de pompe hydraulique

Pression de l'huile

La force, due à la pression d'huile, nécessaire pour redresser la virole doit être égale à la résultante de l'action due à la charge linéaire

Q 10 - Dédurre, à partir de cette proposition la pression nécessaire pour que la génératrice de la virole, soit rectiligne, malgré les déformations dues à la charge linéaire uniformément répartie.



Rappel Pour déterminer la résultante F des forces dues à la pression p , à l'intérieur d'un tube

$$F = p \cdot S$$

*Il faut calculer la surface projetée de l'intérieur du tube $S = d_{\text{intérieur}} \cdot L$
(L : longueur du tube)*

Étanchéité dynamique

Q 11 - Calculer le débit de fuite total

La fuite est estimée à 3 litres par mètre linéaire et par seconde

Q12 - Calculer la vitesse de glissement au contact joint longitudinal, intérieur du cylindre

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 15/16

Dimensionnement de la pompe volumétrique et de son moteur**Q 13** - Calculer dans ces conditions :

La puissance hydraulique minimum de la pompe

La puissance électrique que doit fournir le moteur accouplé avec l'arbre de la pompe

BTS INDUSTRIES PAPETIÈRES	SUJET	Session 2004
Épreuve U41 : Analyse du comportement d'un mécanisme	Durée : 3 heures	Coefficient : 2.5
CODE : ITANA		Page 16/16