

# DOSSIER QUESTIONNEMENT

Ce dossier comprend 9 pages numérotées de 1 à 9

1<sup>ère</sup> partie : Influence du mouvement du tracteur sur l'efficacité du broyage

2<sup>ème</sup> partie : Performances opérationnelles du groupe de broyage

3<sup>ème</sup> partie : Performances du mécanisme d'orientation du groupe de broyage

4<sup>ème</sup> partie : Reconception de la contre bielle du mécanisme d'orientation

5<sup>ème</sup> partie : Validation de la transmission mécanique secondaire

**A l'issue de l'épreuve, le candidat remettra tous les documents réponses (y compris ceux non utilisés) dans une copie double dûment complétée.**

## 1<sup>ère</sup> partie : Influence du mouvement du tracteur sur l'efficacité du broyage

### Objectif

Apprécier l'énergie cinétique d'un marteau et déterminer l'influence de la vitesse de déplacement du tracteur.

### Ressources utiles

- Dossier technique : documents techniques 1, 2, 3
- Document Réponse DR1

### Principe de broyage des branches au sol.

Pour réaliser cette opération, le groupe de broyage étant équipé du rotor de débroussaillage, la notice d'utilisation spécifie que « le sens de rotation du rotor doit être identique à celui des roues ». Le broyage se fait donc en avalant.

Le marteau entraîné par le rotor possède une énergie cinétique élevée qui est transformée en travail de broyage lors de son impact avec une branche.

La disposition des marteaux sur le rotor permet d'obtenir plusieurs impacts sur la même branche si son broyage le nécessite.

### **Conditions particulières de broyage prises en compte :**

Après l'impact précédent, le marteau revient en position « radiale » à l'instant de l'impact suivant (fig 5).

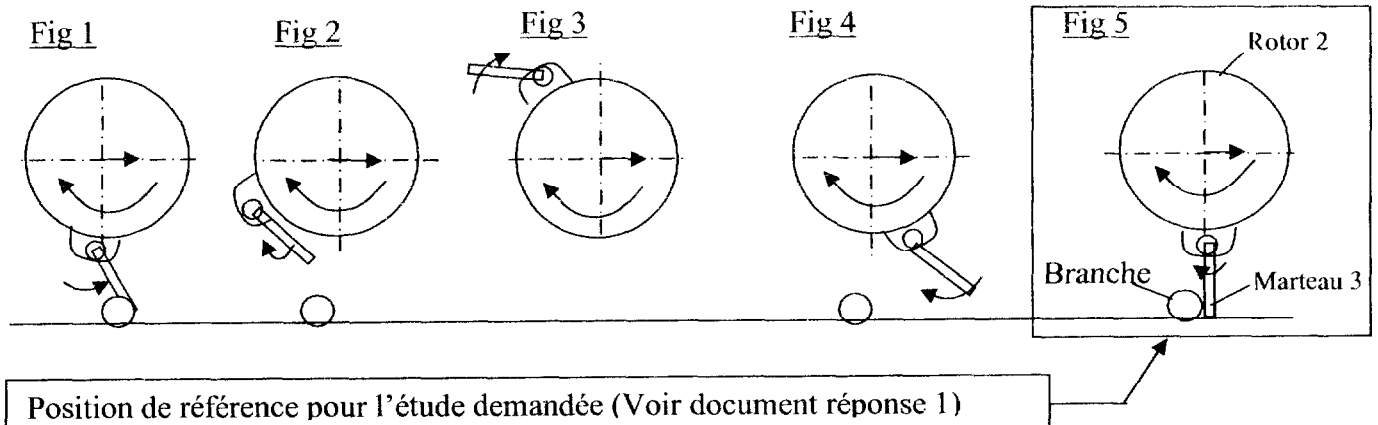


Fig 1 : Escamotage du marteau durant le choc

Fig 2,3,4 : Le marteau acquiert une vitesse relative croissante par rapport au rotor

Fig 5 : Instant de l'impact du marteau avec une branche. La vitesse relative marteau-rotor est maximale.

L'efficacité du broyage dépend de l'énergie cinétique des marteaux au moment du choc avec une branche.

L'énergie cinétique d'un marteau en mouvement par rapport au sol s'écrit :

$$T_{S3/R0} = \frac{1}{2} [m_3 \cdot V_{G3/0}^2 + I_{3Gz} \cdot \omega_{3/0}^2], \text{ expression composée de 4 paramètres : 2 paramètres}$$

inertiels ( $m_3$  et  $I_{3Gz}$ ) et 2 paramètres cinématiques ( $\omega_{3/0}$  et  $V_{G3/0}$ ). (Voir repérage fig 6 p 2/9).

## Hypothèses

- La position de référence de l'étude est celle précisée fig 5 page 1/9.
- La branche est immobile par rapport au sol

## Données

### Tracteur 1 :

$\|\vec{V}_{1/0}\| = 3 \text{ km/h}$  en marche avant tel que

$$\vec{V}_{1/0} = +\|\vec{V}_{1/0}\| \vec{x}_0$$

### Rotor 2 :

vitesse  $N_{2/1} = 2900 \text{ tr/min}$

$$R_2 = AB = 125 \text{ mm}$$

### Marteau 3 :

$\omega_{3/2} = 400 \text{ rd/s}$  à l'instant de l'impact

$R_3 = BG = 40 \text{ mm}$  ;  $m_3 = 0,85 \text{ kg}$  ;

$$I_{3Gz} = 0,000815 \text{ kgm}^2$$

Sens d'avancement du tracteur 1 en marche avant

Repère

$R_1(A, x_1, y_1, z_1)$

lié au tracteur 1

1 : Tracteur

2 : Rotor

3 : Marteau

0 : Branche + sol

G : centre de gravité du marteau 3.

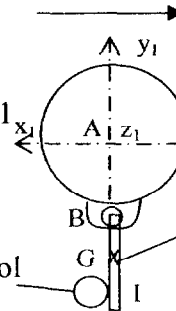


Fig 6

## Travail demandé

### Paramètres prépondérants

#### 1-1 Sur feuille de copie

1-1-1 **Nommer** les 2 paramètres inertiels. Répondre sous la forme d'un tableau.

Paramètre	Expression descriptive et unités

1-1-2 **Citer** les 2 paramètres de fonctionnement (ou de conception) influant de manière prépondérante l'énergie cinétique d'un marteau.

1-1-3 **Préciser** sur quel paramètre de conception on peut agir afin d'améliorer l'efficacité des dispositifs de broyage sans remettre en cause de manière fondamentale les solutions techniques adoptées.

### Influence de la vitesse d'avance du tracteur

#### 1-2 Sur document réponse DRI

**Reporter** sur le schéma du tracteur en situation de travail le repère  $R_1$  et les flèches indiquant le sens des mouvements 3/2, 2/1, 1/0 au moment de l'impact du marteau sur la branche.

1-3 **Sur le document réponse DRI**, détermination de  $\vec{V}_{G3/0}$  au moment de l'impact .

1-3-1 **Exprimer** la loi de composition des vitesses linéaires permettant de déterminer  $\vec{V}_{G3/0}$  . Utiliser les repères 3-2-1-0.

1-3-2 **Calculer** chaque vecteur vitesse composant  $\vec{V}_{G3/0}$  dans  $R_0$ .

1-3-3 **En déduire**  $\vec{V}_{G3/0}$  et **préciser** sa norme en m/s.

1-3-4 **Tracer**  $\vec{V}_{G3/0}$  et ses composantes sur le schéma utilisé question 1-1 en respectant au mieux les proportions.

1-3-5 **Déterminer** le pourcentage représenté par la vitesse de déplacement du tracteur par rapport à  $\|\vec{V}_{G3/0}\|$  et **conclure** quant à l'efficacité d'un broyage tracteur arrêté.

## **2<sup>ème</sup> partie : Performances opérationnelles du groupe de broyage**

### Objectif

- Vérifier la capacité de la transmission à établir la vitesse de broyage du rotor de broyage (Vitesse de rotation  $N_{DR}$ ).
- Préciser la puissance effectivement fournie par le tracteur à la prise de force ( $P_{PDF}$ ) pour le débroussaillage.
- Evaluer la puissance mini du tracteur.

### Ressources utiles

- Dossier technique : Document technique 7
- Dossier ressources : Document ressource DOC1 (formulaire)

### Description de la chaîne de transmission de puissance.

La transmission de puissance comprend (Voir schéma fonctionnel document technique 7)

- Une transmission mécanique 1 composée d'un arbre de transmission accouplé à la prise de force du tracteur
- Une transmission hydrostatique 2 constituée principalement :
  - d'une pompe hydraulique SAUER à cylindrée variable 0 à 41 cm<sup>3</sup> (plateau inclinable) permettant l'inversion du sens du débit hydraulique.
  - d'un moteur hydraulique SAUER 1 à cylindrée fixe 35 cm<sup>3</sup>/tr
  - de la conduite hydraulique nécessaire.
- Une transmission mécanique 3 composée d'une transmission par poulies et courroie synchrone de rapport 1 :1 entre le moteur hydraulique et le rotor de broyage

### Travail demandé

#### **2-1 - Etude cinématique Sur feuille de copie**

Comme indiqué sur le document technique 7, pour les calculs, on prendra  $N_{SMU} = N_{cP} = 2500$  tr/min correspondant à une vitesse de rotation de la prise de force  $N_{PDF} = 1000$ tr/min.

**2-1-1 Déterminer** le débit volumique  $Q_{VSP}$  en l/min disponible en sortie de pompe hydraulique en tenant compte de son rendement volumétrique  $\eta_{VP}$ .

**2-1-2 En déduire** le débit volumique entrant dans le moteur hydraulique:  $Q_{veM}$  en l/min.

**2-1-3 Déterminer** la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du moteur hydraulique  $N_{SM}$  en tr/min en tenant compte du rendement volumétrique  $\eta_{VM}$ .

**2-1-4 Comparer**  $N_{cP}$  et  $N_{SM}$  et **préciser** l'intérêt du choix des cylindrées différentes entre la pompe et le moteur.

**2-1-5 Déterminer** la vitesse de rotation disponible au rotor :  $N_{DR}$  en tr/min.

**2-1-6** Une bonne qualité de broyage est obtenue pour une vitesse de rotation du rotor de 2900 tr/min. **Préciser** si la vitesse du rotor est satisfaisante pour un broyage efficace et, dans le cas contraire, déduire de l'étude conduite la vitesse de rotation nécessaire à la prise de force  $N_{PDF}$  en tr/min.

## 2-2 - Etude énergétique *Sur feuille de copie*

Le choix de la pompe dans la transmission hydrostatique détermine la gamme de tracteurs pouvant recevoir la faucheuse-débroussailleuse.

Pour les calculs, on prendra  $Q_{vsP}=107,4$  l/min, débit permettant une vitesse du rotor  $N_{dR}=2900$  tr/min.

**2-2-1 Déterminer** la puissance hydraulique disponible en sortie de pompe :  $P_{sp}$  en W.

**2-2-2 Déterminer** la puissance mécanique maximale nécessaire à l'entraînement de la pompe  $P_{eP}$  en W en tenant compte du rendement total  $\eta_{IP}$  de la pompe.

**2-2-3 Déterminer** la puissance nécessaire à la prise de force  $P_{PDF}$  en W pour l'entraînement de la pompe.

### *Puissance minimale du tracteur*

#### Données :

- Puissance minimale du moteur nécessaire à l'avancement du tracteur en phase de broyage :  $P_{ND} = 15$  CV (1 CV = 736 W)
- Puissance minimale du moteur nécessaire à l'entraînement de la pompe hydraulique spécifique du circuit de positionnement (4 vérins) du groupe de broyage en phase d'utilisation :  $P_{PM} = 21$  CV.
- Puissance minimale du moteur nécessaire à l'entraînement du groupe de broyage en phase d'utilisation :  $P_{UB} = 1,2 \times P_{PDF}$ .

**2-2-4 Evaluer** la puissance minimale du moteur du tracteur  $P_{\text{mini tracteur}}$  en CV pour effectuer le débroussaillage dans les conditions de l'étude.

### **3<sup>ème</sup> partie : Performances du mécanisme d'orientation du groupe de broyage**

#### Objectif

Déterminer la capacité du mécanisme d'orientation à maintenir un outil adaptable à la place du groupe de broyage en bout de balancier 17.

#### Ressources utiles

- Documents techniques 3, 4, 5 et 6
- Dossier ressources : DOC2 (modélisation des actions mécaniques et résultats de simulation)

#### Description

Les mobilités du mécanisme et les différents actionneurs hydrauliques permettent d'atteindre les positions nécessaires de travail en hauteur et au sol. (document technique 3, paragraphe 1)  
Par conséquent, l'orientation du groupe de broyage par rapport au balancier 17 varie selon le terrain et l'utilisation.

Le mécanisme d'orientation (documents 5 et 6), constitué principalement des bielles 14, de la contre bielle 11, du pivot d'orientation 1 auquel est lié le groupe de broyage et des axes d'articulation nécessaires, est disposé à l'extrémité du balancier 17. Un vérin hydraulique 18 articulé d'une part sur le balancier 17 et d'autre part sur un pivot commun aux bielles 14 et à la contre bielle 11 assure la motorisation.

#### Déclenchement de l'action

Un utilisateur souhaite adapter en bout de balancier 17 un lamier d'élagage permettant d'élaguer les arbres avec un outil muni de 4 disques.

#### Démarche retenue

L'étude demandée consiste à :

- déterminer la position de travail qui nécessite une pression maximale dans le vérin d'orientation (cas où la machine est équipée du groupe de broyage) ;
- déduire la capacité du mécanisme d'orientation à maintenir un outil particulier.

#### Données :

- Groupe de broyage
  - Gr : centre de gravité du groupe de broyage (position définie document technique 5)
  - Masse du groupe de broyage  $m=350\text{kg}$
  - $g = 9.81\text{m/s}^2$
- Position du mécanisme à prendre en compte : cette position, définie document technique 5, est voisine de la position défavorable recherchée.
- Vérin d'orientation 18
  - \* Caractéristiques dimensionnelles du vérin
    - $\phi D_{\text{piston}} = 60\text{mm}$  ;  $\phi d_{\text{tige}} = 30\text{mm}$
    - $l_{\text{mini}}$  entre axes = 620mm ;  $l_{\text{maxi}}$  entre axes = 970mm
  - \* Caractéristiques opérationnelles du vérin d'orientation
    - $p_{\text{maxi}} = 220$  bars
    - Course du piston :  $c = 350\text{mm}$

## **Travail demandé**

*Afin de déterminer la configuration la plus défavorable, on se propose d'engager une simulation à l'aide d'un logiciel de mécanique.*

### **3-1 - Sur feuille de copie**

**Identifier** et **nommer** les liaisons réalisées entre les composants suivants : (1+groupe de broyage), 11, 14, 17, corps de vérin 18, tige de vérin 18. (Voir documents techniques 5 et 6)

### **3-2 - Sur feuille de copie**

**Etablir** le schéma cinématique minimal spatial du mécanisme d'orientation dans la position proposée sur le document technique 5. Le balancier 17 sera utilisé comme pièce de référence. L'actionneur hydraulique 18 sera schématisé en utilisant une couleur différente. Les composants et les centres de liaisons seront repérés.

### **3-3 – Sur feuille de copie**

**3-3-1 Préciser** les hypothèses nécessaires à la création du modèle.

**3-3-2 Lister et caractériser** les efforts connus et inconnus nécessaires à la simulation. (Voir document ressource DOC2). Répondre sous la forme d'un tableau

Nom de l'effort	Type (voir doc 2)	Point(s) d'application ou centre(s) de liaison	Valeur (norme)

### ***Création du modèle – Calculs***

*Etapas conduisant au résultat proposé dans le document ressource doc2.*

*Analyse et exploitation des résultats à partir du document ressource doc2.*

L'intensité de l'effort développé par le vérin 18 varie en fonction de 2 paramètres :

- la position du balancier 17 par rapport à la verticale
- la position du mécanisme d'orientation (dont dépend la position du centre de gravité  $G_R$  du groupe de broyage) par rapport au balancier 17.

La courbe proposée document ressource doc2 fait la synthèse de l'effort maxi développé par le vérin pour chaque position du balancier 17.

### **3-4 – Sur feuille de copie**

Après avoir identifié la face active du piston du vérin d'orientation 18

**3-4-1 Calculer** la surface active  $S_a$  en  $\text{mm}^2$ .

**3-4-2** Sachant que la pression est nulle dans la chambre opposée, **calculer** la pression  $p$  (en bar) nécessaire au maintien en position du groupe de broyage dans la situation la plus défavorable déterminée.

**3-4-3 Comparer** la pression  $p$  calculée à la pression maxi dans le vérin d'orientation (document technique 4, paragraphe 4).

**3-4-4 Conclure** quant à la possibilité de maintenir un lamier d'élagage de masse 600kg sachant que son centre de gravité occupe la même position que le centre de gravité  $G_R$  du groupe de broyage.

## **4<sup>ème</sup> partie : Reconception de la contre bielle du mécanisme d'orientation**

### Objectif

Rigidifier et valider la résistance de la contre bielle 11 du mécanisme d'orientation du groupe de broyage.

### Ressources utiles

- Documents techniques 5 et 6 (mécanisme d'orientation)
- Document ressource DOC3 (résultats de simulation en déplacement)
- Documents réponses DR2 (modélisation), DR3 (résultats de simulation) et DR4 (définition de la contre bielle).

### Présentation

#### Déclenchement de l'action de reconception

Les conditions difficiles de mise en œuvre du matériel liées à la nature des travaux à effectuer, à la topologie de l'accotement ainsi qu'à la pratique du conducteur sollicitent fortement le mécanisme d'orientation notamment pour les travaux en hauteur dans la position précisée dans le document technique 5.

Cette sollicitation du matériel associée à une utilisation intensive provoque sur certaines machines une usure localisée prématurée située à l'interface de l'axe d'articulation de la bielle 14 (document technique 6) et des bagues 12 (ajustées serrées dans la contre bielle 11).

Afin de fiabiliser toutes les machines dans les conditions les plus sévères de mise en œuvre, il est nécessaire d'entreprendre une action de reconception après avoir déterminé la cause de cette dégradation.

#### Données :

- Contre bielle 11
  - Définition du produit : voir document réponse DR4
  - Matériau : S355 ;  $R_{e\text{mini}} = 355\text{Mpa}$
  - construction mécano-soudée
- Charges et position du mécanisme à prendre en compte : Voir document réponse DR2

### Travail demandé

#### **Modélisation**

*On se propose d'engager une simulation par éléments finis du comportement sous charge de la structure « contre bielle 11 + bagues 12 + axe d'articulation ».*

#### **4-1 - Sur le document réponse DR2**

**4-1-1 Disposer**, sur les deux vues du cadre A, les actions mécaniques définies dans le cadre B

**4-1-2 Repérer** les zones des surfaces (cadre C) sur lesquelles s'appliquent les charges définies dans le cadre B.

**4-1-3 Justifier** le modèle (cadre C) de charges retenu à appliquer sur l'axe en vue de la simulation.



### **Création du modèle – Calculs**

*Etapas conduisant aux résultats proposés dans le document ressource DOC3 et du document réponse DR3.*

**Analyse et exploitation des résultats à partir du document ressource DOC3 et du document réponse DR3.**

#### - Analyse des résultats en contraintes

##### **4-2 - Sur le document réponse DR3**

**4-2-1** Pour la contre bielle 11, **encadrer** la (les) zone(s) de contrainte maximale selon le critère de Von Mises.

**4-2-2 Vérifier** la résistance de la contre-bielle 11.

**4-2-3 Déterminer** le coefficient de sécurité s correspondant.

#### - Analyse des résultats en déformations : document ressource doc3

La déformation de l'axe entraîne la déformation de la contre bielle et par conséquent l'usure des bagues.

##### **4-3 - Sur feuille de copie**

**Préciser** comment on peut réduire ou supprimer le phénomène constaté.

### **Recherche de solution**

Une voie de solution consiste à rigidifier la contre bielle 11. A partir des analyses précédentes et des contraintes suivantes :

- Contrainte de conception - les composants de la contre bielle existante ne seront pas modifiés (forme et matériau) ;
- Contrainte opérationnelle - l'amplitude des mouvements doit être respectée ;
- Contrainte d'industrialisation - le procédé doit rester identique à celui mis en œuvre pour la contre bielle existante ;
- Contrainte économique - les coûts induits par la modification seront minimisés.

##### **4-4 - Sur le document réponse DR4**

**Proposer** une modification constructive sous la forme d'un croquis bien proportionné en complétant à main levée, la mise en plan et/ou la perspective. Préciser le matériau du (des) composant(s) additionnel(s).

#### *Poursuite de la démarche de reconception*

##### **4-5 - Sur feuille de copie**

**Indiquer** les actions que doit accomplir le concepteur pour conclure cette démarche de reconception.

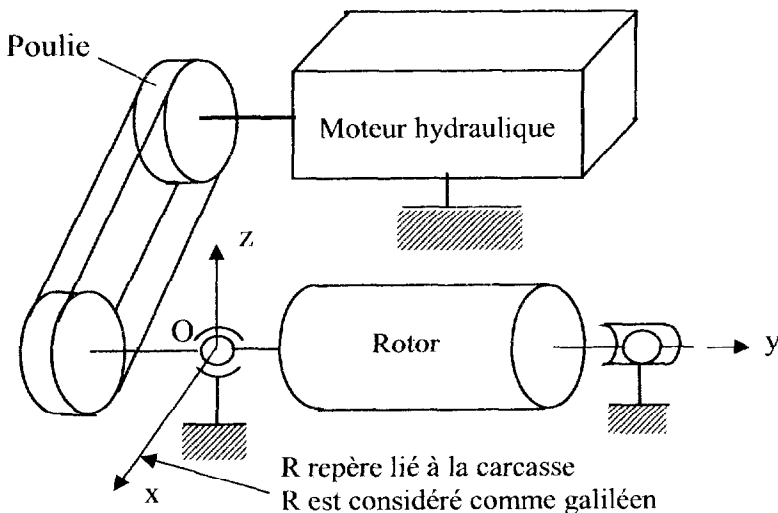
## 5<sup>ème</sup> partie : Validation de la transmission mécanique secondaire

### Objectif

Vérifier le dimensionnement de la transmission de puissance par poulie-courroie synchrone entraînant le rotor de broyage dans la phase d'utilisation temporaire (arrêt d'urgence).

Limite de l'étude : seul le critère « effort transmissible » est abordé pour cette validation.

### Modélisation de la transmission mécanique secondaire.



### Composants

- Courroie Gates PowerGrip® GT 8MR-1280-50

**Tension maxi admissible prenant en compte les conditions particulières de service :  $T_{\text{maxi adm}} = 2400 \text{ N}$**

- 2 Poulies Gates PowerGrip® HTD P56-8M-50 Diamètre primitif=142,6mm
- Moteur hydraulique : Moment d'inertie du rotor-moteur par rapport à son axe de rotation très faible et donc négligeable devant l'inertie du rotor de broyage.
- Rotor de broyage : Moment d'inertie maximum du rotor équipé par rapport à axe  $O \vec{y}$  :  $I_{O\vec{y}} = 1,2 \text{ kg.m}^2$  supposé constant durant la phase d'arrêt d'urgence
- Guidage en rotation du rotor : réalisé par deux roulements à billes dont on négligera le couple de frottement.

### Performances

- Vitesse de rotation nominale :  $N_R = 2900 \text{ tr/min}$  avec  $\vec{\Omega}_{\text{Rotor}/R} = \omega_{\text{Rotor}/R} \vec{y}$  et  $\omega_{\text{Rotor}/R} < 0$

### Principe du freinage

- Arrêt du rotor en 3s par pilotage de la pompe à cylindrée variable et circulation en circuit fermé du liquide hydraulique dans la transmission hydrostatique pompe-moteur.

### Travail demandé

Phase d'arrêt du rotor : Arrêt d'urgence, le rotor tournant à vide.

Durant cette phase, le couple de freinage  $C_{fr}$  supposé constant, transmis à l'ensemble poulie-rotor par la courroie, provoque une décélération  $\ddot{\theta}$  ou  $\omega'$  (en  $\text{rd/s}^2$ ) constante.

5-1- Calculer la décélération angulaire  $\ddot{\theta}$  ( $\text{rd/s}^2$ ) du rotor.

5-2- En appliquant le théorème du moment dynamique à l'ensemble rotor+poulie, après avoir déterminé l'équation scalaire utile permettant d'exprimer  $C_{fr}$ ,

**Exprimer**  $C_{fr} = f(I_{O\vec{y}}, \ddot{\theta} \dots)$ .

**Calculer**  $C_{fr}$  (en Nm).

**Déterminer** la tension  $T_{fr}$  (en N) de la courroie due au couple  $C_{fr}$ .

5-3- **Conclure** quant au dimensionnement de la courroie pour la phase d'arrêt d'urgence sachant que la tension de pose dans la courroie est  $T_0 = 400 \text{ N}$ .