

BTS MAINTENANCE ET APRÈS-VENTE DES ENGIN DE TRAVAUX PUBLICS ET DE MANUTENTION

ÉLÉMENTS DE CORRECTION

MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

SESSION 2016

Partie A.

/32 points

Intérêt du système S.R.S.

Hypothèses supplémentaires pour cette partie :

- le chargeur et la charge se situent sur un sol plat, à l'arrêt ;
- la charge de 3 000 kg se situe en hauteur de telle sorte que $\overrightarrow{AG_2} = \begin{pmatrix} -1,6 \\ 3,2 \end{pmatrix}$ (m).

A. 1. Charge en hauteur en équilibre sans le système S.R.S.

Question 1 : à partir des caractéristiques de l'engin (se reporter à la page 2) et de la position de la charge fournie ci-dessus, indiquer la charge maximale admissible dans cette position. **2 points.**

Sur le graphique, à 1,6 m depuis le point de contact A et à 3,2 m de hauteur du sol, la capacité maximale d'utilisation est de 3 100 kg.

Question 2 : le document réponse D.R.1 présente l'isolement de la flèche et de la charge. A partir de cette figure isolée, montrer par une étude statique graphique que l'effort ($F_{\text{vérin}}$) fourni par le vérin de levage vaut environ 350 000 N pour maintenir la flèche et la charge en équilibre. **3 points.**

Voir D.R.1.

Question 3 : à partir des caractéristiques de l'engin (se reporter à la page 2), montrer que la pression (p) régnant dans la grande chambre du vérin de levage à cet instant vaut environ 230 bar. (en négligeant la pression dans la petite chambre). **2 points.**

$p = F/S = 35\,000 / (\pi \cdot 7^2) = 227$ soit environ 230 bar.

Question 4 : le système hydraulique peut-il maintenir la charge dans cette position. Justifier.

Il faut 300 bar sur la section S_2 pour ouvrir la valve d'équilibrage 14B. La charge reste donc stable dans cette position. **2 points.**

Question 5 : pour cette position géométrique du bras, déterminer le rapport constant k_1 (en bar/kN) entre la pression dans la chambre du vérin et la charge appliquée sur les fourches. Ce rapport sera utilisé ultérieurement. **2 points.**

$k_1 = 227 / 30 = 7,57$ bar/kN.

A.2. Activation du système S.R.S.

La charge est en hauteur (situation précédente), et une pression de 230 bar est nécessaire pour maintenir la flèche et la charge en équilibre.

Indépendamment de l'automatisme S.R.S., le tiroir **20B** est actionné.

Question 6 : après ouverture de **20B** et stabilisation de la charge, quelle est la pression d'azote dans l'accumulateur ? **1 point**

230 bar.

Question 7 : la transformation thermodynamique qui a eu lieu à l'intérieur de l'accumulateur après stabilisation est considérée à cet instant comme une transformation isotherme dont voici la relation : $p_0 \cdot v_0 = p_1 \cdot v_1$ avec v_0 : volume d'azote de 2 l et une pression de réglage $p_0 = 20$ bar.

Montrer que le volume d'azote vaut $v_1 = 0,18$ l, puis déterminer le volume d'huile qui a été admis dans l'accumulateur. **3 points.**

$$v_1 = \frac{p_0 \cdot v_0}{p_1} = \frac{20 \cdot 2}{230} = 0,173 = 0,18 \text{ l}$$

Volume d'huile entrant dans l'accumulateur : $2 - 0,18 = 1,82$ l

Question 8 : montrer que le vérin de levage **8** rentre sur une course d'environ $c = 120$ mm. **2 points.**

$$1,82 \cdot 10^6 = \pi \cdot (140^2/4) \cdot c \text{ soit } c = 118 \text{ soit environ } 120 \text{ mm}$$

Question 9 : sur le document réponse D.R.2, tracer la position du centre de masse G'_2 de la charge lorsque le vérin est rentré de 120 mm. **2 points.**

Voir D.R.2.

Question 10 : à partir de dimensions connues de l'engin, définir l'échelle du dessin et en déduire la différence de hauteur $G_2 - G'_2$. Commenter votre résultat en mettant en évidence problème posé par l'activation de **20B**. **1 point.**

$G_2 - G'_2$ (en rouge) : 1,5 m.

La hauteur de chute est très importante, et un problème de sécurité se pose.

Question 11 : le constructeur a installé un automatisme avec contacteur manométrique **20D** qui n'autorise l'activation du système S.R.S. que si la pression est inférieure 40 bar. Pour cette pression, le volume d'huile admis dans l'accumulateur provoque une rentrée du vérin de levage de 65 mm. **2 points.**

Sur le document réponse D.R.2, tracer la position correspondante du centre G''_2 .

Voir D.R.2.

$G_2 - G''_2$ (en vert) : 0,8 m.

Question 12 :à partir des réponses précédentes, déterminer le rapport constant k_2 entre la descente de la charge (en mm) et la course du vérin (en mm). Ce rapport sera utilisé ultérieurement. **2 points.**

$$k_2 = 1\ 500/120 \text{ ou } 800/65 = \text{environ } 12,5$$

A.3. Analyse du système S.R.S.

Les explications de l'utilisation du système S.R.S., ainsi que les schémas hydrauliques et électriques sont présentés pages 5 et 6.

Question 13 :compléter le tableau 1 du document réponse D.R.3 en respectant l'ordre chronologique de la table de vérité décrivant l'état des composants électriques pour chaque situation. **3 points.**

Ordre chronologique de déroulement	État des éléments repérés										
	Pression	B	C1	C2	20D	R2	R1	RN	20A	20B	V
Situation 1	> 40 bar	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Situation 2	> 40 bar	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Situation 3	< 40 bar	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Situation 4	> 40 bar	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Situation 5	> 40 bar	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1
Situation 6	> 40 bar	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1
Situation 7	> 40 bar	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Question 14 :en comparant les états des composants électriques entre les situations 3 et 4, donner le rôle du relais neutre **RN**. **1 point.**

Le relais neutre **RN** permet au système S.R.S. de rester actif même avec une pression ayant augmenté et dépassé la pression de 40 bar.

Question 15 : dans la situation de la charge de 3 000 kg à transporter, comme représentée sur le document réponse D.R.2, indiquer la ou les manœuvre(s) que le conducteur doit faire pour rendre le système S.R.S. actif. **1 point.**

On conseille au conducteur de poser les fourches au sol et ensuite d'agir sur la commande d'activation du S.R.S.

Question 16 :l'utilisateur peut rencontrer plusieurs situations où le système S.R.S. ne fonctionne pas normalement. Compléter le tableau 2 du document réponse D.R.3 en donnant la ou les cause(s) possible(s) de défaillance(s) pour les situations présentées. **3 points.**

Situations	Défauts	Cause(s) probable(s)
1	Le système S.R.S. ne s'active pas. (voyant éteint)	<ul style="list-style-type: none"> • Pression détectée trop élevée (trop de pression ou capteur de pression H.S.). • Commutateur B défectueux. • Relais 2 H.S.
2	Le système S.R.S. est activé, mais il n'y a pas de suspension. (voyant allumé)	<ul style="list-style-type: none"> • RN non activé (C2 à l'état 0 ou relais H.S.) • C2 dans un état intermédiaire. • R1 actif (C1 à l'état 0). • Tiroir 20B (coupure d'alimentation ou grippé).
3	La suspension est très dure.	Accumulateurs défectueux 20C ($p_0=0$).

Partie B :

/32 points

Chargeur sans S.R.S. activé sur sol irrégulier.

L'objectif est de montrer l'amortissement d'un choc sans le système S.R.S.

L'étude porte sur la descente de la marche (voir présentation et données page 7 du dossier technique). Le conducteur n'a pas activé le système S.R.S.

Hypothèses supplémentaires pour cette partie :

- le chargeur se déplace en translation à vitesse constante sur un sol plat puis il descend la marche de 20 cm;
- le déplacement de la charge lors de la descente de la marche est modélisé comme un mouvement de translation (vertical) uniformément varié, et se décompose en deux phases :
 - o de t_1 à t_2 l'essieu avant est en chute libre ;
 - o de t_2 et t_3 les pneumatiques se déforment en amortissant la chute;
- la rotation et l'effet de la masse du chargeur sont négligés.

B.1. Énergie emmagasinée lors de la chute (entre t_1 et t_2).

Question 17 :lors de la chute des pneus avant dans la cavité de 20 cm, le centre de masse G_2 chute lui de la hauteur $h_c = 25$ cm. Expliquer cet écart. **1 point.**

Lors de la chute du pneu avant dans la cavité, l'engin pivote par rapport au point d'appui B de la roue arrière au sol la distance $BA > BG_2$ donc le point G_2 descend d'une hauteur >20 cm.

Question 18 :montrer que la variation d'énergie potentielle de la charge entre t_1 et t_2 vaut :

$$\Delta E_p = 7\,500 \text{ J. } \mathbf{2 \text{ points.}}$$

$$\Delta E_p = m_2 \cdot g \cdot h_c = 3\,000 \cdot 10 \cdot 0,25 = 7\,500 \text{ J.}$$

Question 19 : appliquer le théorème de la conservation de l'énergie à la charge, et montrer que la vitesse au centre de la charge lorsque le chargeur arrive au fond de la cavité vaut environ $V_2 = 2,25$ m/s. **3 points.**

Théorème de la conservation de l'énergie : $\Delta E_c + \Delta E_p = 0$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot (V_2^2 - V_1^2) = 0,5 \cdot 3000 \cdot V_2^2 = 1500 \cdot V_2^2$$

$$1500 V_2^2 + (-7500) = 0$$

$$V_2 = 2,23 = 2,25 \text{ m/s } (V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_c})$$

B.2. Écrasement du pneumatique (entre t_2 et t_3).

Lorsque les pneumatiques arrivent en contact avec le sol, la vitesse au centre de la charge est : $V_2 = 2,25$ m/s. Puis les pneumatiques s'écrasent, provoquant un déplacement vertical supplémentaire de la charge de $h_v = 13$ cm. **2 points.**

Question 20 : montrer que la décélération, notée a_1 , subie par la charge vaut environ 20 m/s². **2 points.**

$$a_1 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot (h_v)} = \frac{2,25^2}{2 \cdot (0,13)} = 19,4 = 20 \text{ m/s}^2$$

Question 21 : cette décélération a_1 s'ajoute à l'accélération de la pesanteur sur la charge. Donner alors l'action mécanique de la charge sur les fourches. **2 points.**

$$P_2 = -m_2 \cdot g - m_2 \cdot a_1 = -3000 \cdot 10 - 3000 \cdot 20 = -30000 - 60000 = -90000 \text{ N}$$

B.3. Conséquences hydrauliques

Lors de la descente de la marche (sans le système S.R.S.) la charge provoque une force verticale de 90000 N appliquée au centre G_2 .

En première approximation, on suppose que le rapport k_1 trouvé à la **question 5** soit identique pour cette situation. $k_1 = 7,5$ bar/KN.

Question 22 : déterminer quelle devrait être la pression dans le vérin de levage pour s'opposer à l'action de la charge. **2 points.**

$$p = 90 \cdot 7,5 = 675 \text{ bar}$$

Question 23 : à l'aide de couleurs, identifier sur le document réponse D.R.4 les valeurs maximales de pression atteignables dans les canalisations hydrauliques subissant les effets de cette pression (grande chambre du vérin de levage et dans la petite chambre du vérin de compensation). Une couleur définit une valeur de pression qui elle-même peut être déterminée par le tarage d'un composant hydraulique.

4 points.

Voir D.R.4.

Question 24 : décrire le phénomène hydraulique se déroulant dans la petite chambre du vérin de levage. **2 points.**

Le phénomène hydraulique est le phénomène de cavitation, car il n'y a pas la possibilité de remplir la petite chambre d'huile. On vient donc vaporiser de l'huile dans la petite chambre.

B.4. Conséquences mécaniques.

La descente de la marche (sans le système S.R.S.) provoque une pression hydraulique importante, obligeant l'ouverture des limiteurs de pression **8A** et **2H**. L'huile s'écoule à travers le limiteur de pression **2H**, provoquant la rentrée du vérin de levage (et donc la descente de la charge) à partir de l'instant t_2 .

En première approximation, on suppose que le rapport k_2 trouvé à la **question 12** vaut : $k_2 = 12,5$.

Hypothèses rectificatives :

- La descente de la marche est modélisée comme un mouvement de translation vertical uniformément varié, et se décompose en deux phases :
 - o entre t_1 et t_2 ; mouvement inchangé ;
 - o puis entre t_2 et t_3 les limiteurs de pressions **8A** et **2H** s'ouvrent, provoquant la descente de la charge jusqu'à son immobilisation à l'instant t_3 (dans cette situation la déformation des pneumatiques est négligée).

Question 25 : en utilisant le rapport $k_1 = 7,5$ bar/KN, montrer que l'effort résistant maximal d'opposition des fourches à la charge vaut (au centre de masse) $F_{rVL} = 40\ 000$ N.

2 points.

$$F_{rVL} = 300/7,5 = 40\text{ kN} = 40\ 000\text{ N}$$

Question 26 : on isole la charge pendant les instants t_2 et t_3 .

Appliquer le théorème de la résultante dynamique à la charge et déterminer la décélération a_2 maximale de la charge pendant l'ouverture des limiteurs de pression. **3 points.**

$$\sum \vec{F}_{ext} = m_2 \cdot \vec{a}_2$$

$$\uparrow \vec{y} \quad F_{rVL} = m_2 \cdot a_2$$

$$40\ 000 = 3\ 000 \cdot a_2$$

$$a_2 = 13,3\text{ m/s}^2$$

Question 27 : avec une vitesse initiale de $V_2 = 2,25$ m/s, montrer que le déplacement vertical de la charge entre les instants t_2 et t_3 vaut environ $d_v = 19$ cm. **2 points.**

$$d_v = \frac{V_3^2 - V_2^2}{2 \cdot (a_2)} = \frac{-2,25^2}{2 \cdot (13,3)} = -0,19\text{ m} = -19\text{ cm}$$

Question 28 : en utilisant le rapport k_2 , déterminer la course de rentrée du vérin et le volume d'huile évacué par le limiteur. **2 points.**

$$\text{Course de rentrée du vérin} = 190/12,5 = 15,2\text{ mm.}$$

$$\text{Volume d'huile} = \pi \cdot (140^2/4) \cdot 15,2 = 233\ 986 = 0,2\text{ l.}$$

Question 29 : quelles sont les conséquences sur la charge après plusieurs chocs successifs (passage de plusieurs marches avec système S.R.S. non activé) ? **2 points.**

La charge va descendre plusieurs fois, de hauteurs différentes suivant les hauteurs de cavité. La descente totale de la charge peut être très importante au total en fonction du nombre de chocs et de leur intensité.

Question 30 : dans la position géométrique étudiée, l'effort sur les fourches est limité à 40 000 N par le système hydraulique. Montrer par une étude statique que le chargeur reste en équilibre lors du passage dans cette cavité (pas de basculement vers l'avant).

3 points.

$\sum \vec{M}_A = \vec{0}$ car le chargeur se déplace en translation à vitesse constante.

Chargeur en équilibre si \vec{z} $AG_1 \cdot P_1 \geq AG_2 \cdot P_2$

$1,4.69\ 000 \geq 1,7.40\ 000 - 96\ 600 \geq 68\ 000$ l'inéquation est vérifiée donc le chargeur est en équilibre.

Partie C :

/16 points

Rôle des accumulateurs.

Sur cette machine, le système S.R.S. ne devient actif que pour une pression inférieure à 40 bar dans le vérin de levage. Une fois actif, celui-ci le reste, même pour une pression supérieure à 40 bar.

Le cycle de charge/décharge de l'accumulateur ainsi que les différentes transformations thermodynamiques s'y opérant sont présentés page 7.

Dans la situation d'étude, lors du déplacement de l'engin sur terrain plat et S.R.S. activé, la pression p_1 est de 230 bar et le volume d'azote v_1 de 0,18 l.

Lors de la descente de la marche, le travail de la charge apporte à l'accumulateur une énergie supplémentaire de $E_{sup} = 7\ 500$ J (l'absorption d'énergie des pneumatiques est négligée). Pour que l'accumulateur joue pleinement son rôle, la pression p_2 ne doit pas excéder 300 bar car cela engendre une baisse définitive de la charge (ouverture des limiteurs de pressions **8A** et **2H**).

C.1. Efficacité de l'accumulateur.

Question 31 : à partir de la transformation adiabatique (entre t_1 et t_2), montrer que le volume v_2 est voisin de 0,15 l lorsque la pression d'ouverture du limiteur sera atteinte (300 bar).

3 points.

$$p_1 \cdot v_1^\gamma = p_2 \cdot v_2^\gamma \text{ soit } v_2 = \sqrt[\gamma]{\frac{p_1 \cdot v_1^\gamma}{p_2}} = \sqrt[1,4]{\frac{230 \cdot 10^5 \cdot (0,18 \cdot 10^{-3})^{1,4}}{300 \cdot 10^5}} = 1,48 \cdot 10^{-4} = 0,148 = 0,15 \text{ l}$$

Question 32 : à partir de la relation ci-dessous, déterminer le travail qui est nécessaire pour élever la pression de l'azote de 230 à 300 bar. Conclure sur l'efficacité de l'accumulateur à absorber la totalité de l'énergie provoquée par le choc. **3 points.**

Travail nécessaire pour effectuer la transformation adiabatique : $W = \frac{p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1}{\gamma - 1}$

$$W = \frac{p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1}{\gamma - 1} = \frac{(300 \cdot 0,15 - 230 \cdot 0,18) \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{1,4 - 1} = 900 \text{ J}$$

Le travail absorbé par l'accumulateur est de 900 J alors que pour absorber le choc il faudrait 7 500 J.

C.2. Réglage de l'accumulateur.

Pour obtenir une décélération acceptable et une bonne atténuation du choc, l'accumulateur doit être capable d'absorber un volume d'huile de 0,3 l au minimum dans la situation de travail caractéristique d'utilisation de l'engin étudiée (230- 300 bar). La charge descendrait verticalement d'une hauteur d'environ 30 cm.

Question 33 : à partir de la documentation technique sur l'accumulateur (se reporter aux pages 7 et 8), montrer que le réglage initial de l'accumulateur est inadapté à l'utilisation de l'engin. **2 points.**

Le réglage actuel ne respecte pas les préconisations du fabricant :

- $p_0/p_1 = 0,086$ au lieu de 0,9 ce qui est dix fois la préconisation
- $p_2 = 15.p_0$ au lieu de $4.p_0$ au maximum

Question 34 : à partir des données fournies sur l'accumulateur, calculer la pression p_0 adaptée à la situation d'utilisation de l'engin. **1 point.**

$$P_0 = 230 \cdot 0.9 = 207 \text{ bar}$$

Question 35 : à partir des courbes caractéristiques des accumulateurs et de la réponse à la question précédente, indiquer si la capacité nominale de l'accumulateur (2 litres) est adaptée à la situation étudiée. Expliquer la réponse. **2 points.**

La capacité d'absorption de l'accumulateur est de 0,4 litres > au 0.3 nécessaire ce qui donne une légère marge de sécurité avant d'atteindre l'ouverture du limiteur qui fait baisser la charge. L'accumulateur est bien adapté.

Question 36 : est-il judicieux de prendre comme référence la situation étudiée (3 000 kg) pour définir la pression p_0 ? Expliquer la réponse. **2 points.**

Oui c'est judicieux car c'est dans les conditions les plus défavorables que le dispositif doit-être efficace (charge élevée et terrain accidenté).

Question 37 : dans le cas où la pression initiale p_0 serait de 210 bar, l'automatisme S.R.S. a-t-il toujours un intérêt ? Si oui, indiquer les modifications éventuelles à apporter et justifier les réponses. **3 points.**

L'intérêt du S.R.S. devient limité, car en cas d'actionnement de 20B le bras étant en charge, celui-ci ne baisserait que si la charge nécessite une pression supérieure à 210 bar.

La baisse de charge serait toutefois minime (30 cm environ) dans le cas le plus défavorable pour la charge maximale.

Pour éviter cette baisse de charge l'automatisme peut être conservé à condition de changer le capteur de pression 20D par un capteur de pression réglé à 210 bar, ce qui apportera un bien meilleur confort d'utilisation.

D.R.1.

Échelle des forces : 10 mm \leftrightarrow 30 000 N
Résultat : (en vert) $F_{\text{vérin}} = 350\,000\text{ N}$





