



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Campagne 2009

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

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

MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

Session 2009

Durée : 6 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :

Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire N°99-186,16/11/1999).

Le sujet comporte trois parties :

Travail demandé :pages 2 à 7

Documents techniques :pages 8 à 15

Documents réponses :pages 16 à 21

Recommandations :

- Consacrer trente minutes maximum à la prise de connaissance du sujet,
- Répondre sur feuille de copie sauf aux questions pour lesquelles vous disposez d'un document réponse,
- Le soin apporté à la présentation sera pris en compte pour la notation finale.
- **Tous les documents réponses même vierges, sont à remettre en fin d'épreuve.**

Temps indicatif pour traiter les différentes parties.

Parties	A	B	C	D	E
Temps en min	75	60	45	105	75

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet comporte 21 pages, numérotées de 1/21 à 21/21.

**BTS MAINTENANCE ET APRÈS-VENTE DES ENGINS DE
TRAVAUX PUBLICS ET DE MANUTENTION**

MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

NACELLE ÉLÉVATRICE À BRAS

TRAVAIL DEMANDÉ

Nombre de pages : 5 pages

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 2/21

CONTEXTE DE L'ÉTUDE :

Lors d'une révision de la nacelle appartenant à la société de location SALOU, le client fait part au responsable d'atelier d'un certain nombre de problèmes.

- Manque de stabilité en phase freinage.
- Durée d'élévation de la nacelle un peu élevée par rapport aux premières utilisations.
- Vitesse de déplacement insuffisante en position lièvre.



Les différentes parties ou sous parties du questionnaire sont indépendantes.
Le texte pour chaque question est en italique.

Construction du questionnaire :

La partie A permet d'étudier la stabilité de la nacelle ;

La partie B est dédiée à la cinématique du bras de levage ;

Les parties C, D et E permettent d'étudier les interactions entre le moteur et la transmission

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 3/21

Partie A : Stabilité de la nacelle

Le but de cette étude est d'évaluer le transfert de charge de l'arrière (AR) sur l'avant (AV) entre le cas statique et un cas dynamique de freinage.

Utiliser les données techniques page 9.

Hypothèses :

- La nacelle possède un plan de symétrie confondu avec le plan (\vec{x}, \vec{y}) ; l'étude se fera dans ce plan (voir page 17).
- Les solides sont considérés comme indéformables.
- Les liaisons sont dites parfaites.
- L'accélération de la pesanteur est de $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A-1/ Montrez que le centre de gravité G de l'ensemble de la nacelle a pour coordonnées $\vec{OG} = \begin{pmatrix} 1,546 \\ 1,43 \\ 0 \end{pmatrix}$

Données : On considère pour cela les coordonnées du centre de gravité de la nacelle à vide en position travail ($G1$) et du centre de gravité de la charge maxi ($G2$).

$$\vec{OG1} = \begin{pmatrix} 1,31 \\ 1,232 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{OG2} = \begin{pmatrix} 9,2 \\ 7,85 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{Les coordonnées sont exprimées dans le repère } (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}) \text{ du document réponse DR1}$$

A-2/ Déterminer dans le cas statique les actions de contact sol / pneumatiques.

Représenter ces efforts sur le document réponse DR1.

A-3/ Lors d'un freinage d'urgence (passage de la vitesse tortue à l'arrêt en 0,15 s), montrer que la décélération supposée constante est d'environ $a = -3,2 \text{ m/s}^2$.

Quelle est la distance parcourue ?

A-4/ Appliquer le principe fondamental de la dynamique à la nacelle en translation rectiligne, et en déduire les actions de contact sol / pneumatiques.

Représenter ces efforts sur le document réponse DR2.

Données : - accélération $a = -3,2 \text{ m/s}^2$

- l'effort de freinage est équitablement réparti sur les roues AV et AR, donc les composantes tangentielles (suivant \vec{x}) des actions sont égales.

Indication : les composantes normales (suivant \vec{y}) des actions vont être différentes du cas statique à cause du transfert de charge sur l'essieu AV.

A-5/ Critiquer cette étude si le facteur d'adhérence entre le sol et les pneumatiques est de 0,5.

Représenter pour cela le cône de d'adhérence sur le document réponse DR2 et conclure.

Partie B : Cinématique de levage du bras

Afin de vérifier la durée de levage, on se propose de réaliser un tracé de trajectoires.
Les réponses seront rédigées sur copie, et les constructions graphiques sur le **document réponse DR3**.

B-1/ *A partir d'une constatation géométrique sur le quadrilatère ABED, déterminer le mouvement de 6/1 : $M_{6/1}$*

B-2/ *De même en raisonnant sur le quadrilatère FJKG, déterminer le mouvement de 10/6 : $M_{10/6}$*

B-3/ *Tracer sur le document réponse DR3 les 10 éléments constituant le bras dans la position d'ouverture maximale.*

B-4/ *En déduire la course utile du vérin 4-5.*

B-5/ *Déterminer la durée d'élévation du bras.*

Données : - Le diamètre du piston du vérin 4-5 est de 137mm
- Le débit d'alimentation est 25 l/min,

B-6/ *Comparer cette valeur avec celle annoncée par le constructeur.
En cas de différence, quelles peuvent être les raisons qui expliquent cet écart ?*

Partie C : Comportement du moteur thermique

Utiliser les données techniques **page 12**. Les calculs se feront au régime nominal.

C-1/ *Caractéristiques du moteur thermique à partir du graphique **page 12** :*

C-1-1 *Indiquer la puissance nominale en charge du moteur thermique*

C-1-2 *Indiquer la consommation spécifique (Cse) du moteur à puissance nominale.*

C-2/ *Détermination du rendement effectif de ce moteur à puissance maximale.*

C-2-1 *Montrer que la consommation du moteur est voisine de 2.4 g/s à la puissance nominale*

C-2-2 *Calculer la puissance fournie par le carburant.*

C-2-3 *En déduire le rendement du moteur thermique en exploitant la réponse donnée à la question C-1-1.*

Partie D : Régulation de la transmission

Utiliser plus particulièrement les documents **pages 10, 11, 13, 14, et 15**.

On suppose les rendements égaux à 1

Le régime du moteur thermique est de 2480 tr/min.

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 5/21

D-1/ Le but de ces questions est de comparer la puissance hydraulique maximale consommée et la puissance maximale du moteur thermique.

- D-1-1 Déterminer la puissance hydraulique maximale consommée par la pompe de transmission à cylindrée variable.
- D-1-2 Comparer la puissance installée (du moteur thermique) et la puissance trouvée précédemment. Analyser le résultat.

D-2/ Le but de cette question est de déterminer la relation qui lie la pression P1 et le régime moteur

- D-2-1 Calculer le débit de la pompe de gavage.
- D-2-2 Calculer la différence de pression aux bornes de la pastille calibrée (2).
Rappel : $Q = k.S.\sqrt{\Delta p}$
- D-2-3 En déduire la pression en sortie de pompe de gavage P_1 .
- D-2-4 En reprenant les relations utilisées aux questions D-2-1 et D-2-2, montrer que :
 $P_1 = A \times \omega^2 + 24,5$ (A étant une valeur constante de construction résultant de la somme ou du produit d'autres valeurs constantes et ω la fréquence de rotation du moteur thermique)
- D-2-5 A partir de la relation fournie à la question précédente, expliquer comment évolue la pression P1 en fonction du régime du moteur thermique.

D-3/ Le but de cette étude est de trouver la relation qui lie la pression P2 et la pression P1. Pour cela vous étudierez l'équilibre statique du tiroir 1 de la figure 2 page 13. L'effort produit par le ressort sera considéré comme constant. (S1, S2 et S4 désignent les sections d'application des pressions).

- D-3-1 Sur le document réponse DR4, identifier par des couleurs sur la vue en coupe du tiroir les sections S1, S2 et S4 indiquées sur le schéma hydraulique figure 3 page 13.
- D-3-2 Etudier l'équilibre statique du tiroir 1 et en déduire l'équation d'équilibre de façon littérale.
- D-3-3 En fonction de cet équilibre montrer que : $P_2 = B \times P_1 + C$ (B et C étant des valeurs constantes de construction ou de réglage résultant de la somme ou du produit d'autres valeurs constantes).
- D-3-4 A partir des relations fournies aux questions D-2-4 et D-3-3 déterminer la relation qui lie la pression P2 en fonction du régime moteur. (Simplifier la relation en regroupant les constantes).
- D-3-5 A partir de cette relation, en déduire la conséquence sur P2 d'une chute de régime moteur thermique en raison d'une surcharge.

D-4/ Le but de cette étude est de déterminer les facteurs qui influencent la cylindrée de la pompe de transmission et par conséquent la vitesse de déplacement de l'engin. (Utiliser le schéma hydraulique figure 1 page 13).

- D-4-1 La figure 6 page 15 montre la relation entre la cylindrée de pompe et la pression P3. Expliquer pourquoi l'augmentation de la cylindrée est proportionnelle à l'augmentation de la pression P3.
- D-4-2 Le distributeur de sens de marche est commandé par un courant variable qui permet de régler une vitesse de déplacement. Expliquer les étapes qui suivent une variation du courant de commande.

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 6/21

D-4-3 La figure 7 page 15 montre la relation entre la cylindrée de pompe et la pression de refoulement.

Surligner sur le document DR4 l'évolution de la cylindrée de la pompe lors d'une augmentation de la pression de refoulement de 24.5 bars jusqu'à la pression maximale.

On se placera dans une situation initiale d'une cylindrée de 100% et d'une pression de commande P3 = 16,5 bar.

Partie E : Comportement de la transmission hydrostatique

E-1/ Le but de cette partie est d'analyser comment sont gérées les vitesses de déplacement.

E-1-1 *Vérifier que la vitesse de déplacement de l'engin est bien de 6 km/h à la cylindrée maximum de la pompe et au régime nominal du moteur thermique.*

E-1-2 *Déterminer par calcul la cylindrée de la pompe de transmission pour obtenir la vitesse de déplacement du mode travail.*

E-2/ Analyse du comportement global de la transmission hydrostatique.

Utiliser les schémas hydrauliques et les graphes fournis figure 1 à 7, pages 13 à 15.

Compléter le tableau du document réponse DR5.

E-3/ Analyse de dysfonctionnement

Les questions ci-après reprennent deux situations de panne distinctes pour lesquelles le client se plaint d'une vitesse de déplacement insuffisante.

E-3-1 *Le dépanneur a constaté une vitesse de déplacement insuffisante dans toutes les situations d'utilisation en vitesse lièvre puis il a relevé les pressions et le régime moteur. En fonction de ces constatations et du relevé ci-après, indiquer les hypothèses de pannes principales.*

Vitesse sélectionnée	Pression refoulement pompe HP bar	Régime moteur thermique. tr/min	Pression P2 bar	Pression P3 bar	Pression P4 bar
lièvre	24.5	2480	17.2	15	24.5

E-3-2 *Le dépanneur a constaté une vitesse de déplacement insuffisante en vitesse lièvre lors du franchissement d'une pente puis il a réalisé deux relevés de pressions de régime moteur en déplacement sur terrain plat puis dans une pente. En fonction de cette constatation et du relevé ci-après, indiquer les hypothèses de pannes principales.*

	Vitesse sélectionnée	Pression refoulement pompe HP bar	Régime moteur thermique. tr/min	Pression P2 bar	Pression P3 bar	Pression P4 bar
Sur le plat	lièvre	24.5	2480	17.2	16.5	24.5
En pente	lièvre	170	1950	14.2	14,2	22.5

BTS MAINTENANCE ET APRÉS-VENTE DES ENGINES DE TRAVAUX PUBLICS ET DE MANUTENTION

MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

NACELLE ÉLÉVATRICE À BRAS

DOCUMENTS TECHNIQUES

Nombre de pages : 7

Remarque : toutes les données, caractéristiques, schémas, dessins, simulations, etc., de ce dossier ne correspondent pas nécessairement rigoureusement aux caractéristiques réelles de la machine étudiée.

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 8/21

CARACTÉRISTIQUES

Masse de la nacelle à vide:	m1 = 7450kg
Masse en charge :	m = 7680kg
Charge maxi :	m2 = 230kg
Hauteur de travail :	16,25m
Hauteur de plancher :	14,25m
Déport maxi / au surplomb :	9,10m / 7,15m
Longueur :	7m
Longueur en position transport :	5m
Largeur hors tout :	2,30m
Empattement :	2,17m
Hauteur hors tout :	2,37m
Dimensions du panier :	1,80 x 0,80m
Rotation de la tourelle :	350°
Rotation du panier :	180°
Bras pendulaire :	140°
Vitesse d'élévation maxi :	5,8 km/h
Temps d'élévation de l'ensemble:	40s
Garde au sol :	42,5cm
Rayon de giration (intérieur / extérieur) :	1,32m / 3,66m
4 roues motrices et 4 roues directrices	
Pente franchissable :	40%
Dévers admissible :	5° ou 9%
Vitesses en mode transport :	
• Tortue :	1,7 km/h
• Rampe :	2 km/h
• Lièvre :	6 km/h
Vitesse en mode travail :	0,8 km/h
Usage extérieur :	vent jusqu'à 45 Km/h

Description générale

Après démarrage, le moteur thermique se met au ralenti (1300 tr/min) et y reste tant qu'aucune fonction n'est demandée. Le retour au ralenti du moteur thermique est automatique après 4 s de non utilisation des commandes. Le moteur thermique entraîne directement le bloc pompes.

Ce dernier se compose :

- d'une pompe de transmission hydrostatique à cylindrée variable en circuit fermé avec un moteur à cylindrée fixe,
- d'une pompe basse pression pour le gavage du circuit fermé et l'alimentation du bloc de commande,
- d'une pompe d'équipement haute pression à cylindrée fixe pour alimenter les différents équipements qui permettent les mouvements des bras.

En cas de panne, une pompe de secours de 2 cm³/tr à entraînement électrique prend le relais et autorise les mouvements pendant environ 6 minutes.

Mouvement de la partie nacelle

Si une seule fonction est demandée, le moteur thermique reste au ralenti. Si au moins 2 des fonctions suivantes sont demandées en même temps, alors le moteur thermique se met au régime maximum : bras inférieur, bras supérieur, télescope de bras (ex: bras inférieur et rotation panier : moteur au ralenti). Après arrêt des équipements, le moteur thermique se remet au ralenti après 4s.

Déplacement de la machine

Les freins restent bloqués si aucun déplacement n'est commandé. L'électrovanne de freinage n'est pas alimentée, les freins sont bloqués (freins négatifs)

La nacelle peut se déplacer à 4 vitesses maximales selon le choix de l'utilisateur et les conditions d'utilisation :

MODE TRANSPORT : Le choix des trois vitesses s'effectue par un contacteur placé sur le pupitre panier. Le déplacement n'est possible que lorsque les équipements sont en position transport, c'est à dire les bras en bas et le télescope rentré.

- vitesse **LIEVRE** demandée ; le sélecteur de mode de direction doit être en mode 2 roues directrices. Le moteur thermique est au régime nominal et la pompe de transmission hydrostatique peut aller en cylindrée maxi. La vitesse maximale est de 6 km/h.
- vitesse **RAMPE** demandée ; le moteur thermique est au régime nominal et la pompe de transmission hydrostatique est limitée en cylindrée. La vitesse maximale est de 2 km/h.
- vitesse **TORTUE** demandée ; le moteur thermique est au ralenti et la pompe de transmission hydrostatique est limitée en cylindrée. La vitesse maximale est de 1,7 km/h.

MODE TRAVAIL : Si l'utilisateur lève ou télescope le bras, la translation se met en mode TRAVAIL, le moteur thermique est au régime nominal et ce, quelle que soit la position de la sélection de vitesse effectuée précédemment. La vitesse est limitée à 0,8 km/h.

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 10/21

Comportement d'une nacelle en surcharge (mode transport et travail)

Aucun mouvement n'est autorisé. Seul le délestage et la procédure de sauvetage manuel permettront de ramener la machine en position initiale. Pour faire translater la machine, il faut utiliser la mise en roue libre.

Comportement de la nacelle en mode travail et en dévers :

Tous les mouvements aggravants sont interdits. Seule la descente des bras, rentrée du télescope, rotation tourelle, inclinaison/cavage panier, élévation/descente pendulaire sont autorisées. Une fois la machine en mode transport, elle retrouve la translation.

En cas de besoin, ou pour des applications particulières, l'utilisateur réalise ces mouvements en procédant de la manière suivante :

→ Actionner et maintenir le bouton de déverrouillage dévers sur le boîtier de commande et actionner simultanément les commandes souhaitées.

Option

La machine peut-être équipée d'une génératrice 220V entraînée par un moteur hydraulique alimenté à partir de la pompe d'équipement. La mise en route de la génératrice est automatique après les 4 s sans action sur l'une des commandes. L'opérateur dispose ainsi d'énergie électrique 220V alternatif au niveau du panier.

B.T.S. M.A.V.E.T.P.M.		Session 2009
Modélisation et étude prédictive des systèmes	MME4ME	Page : 11/21

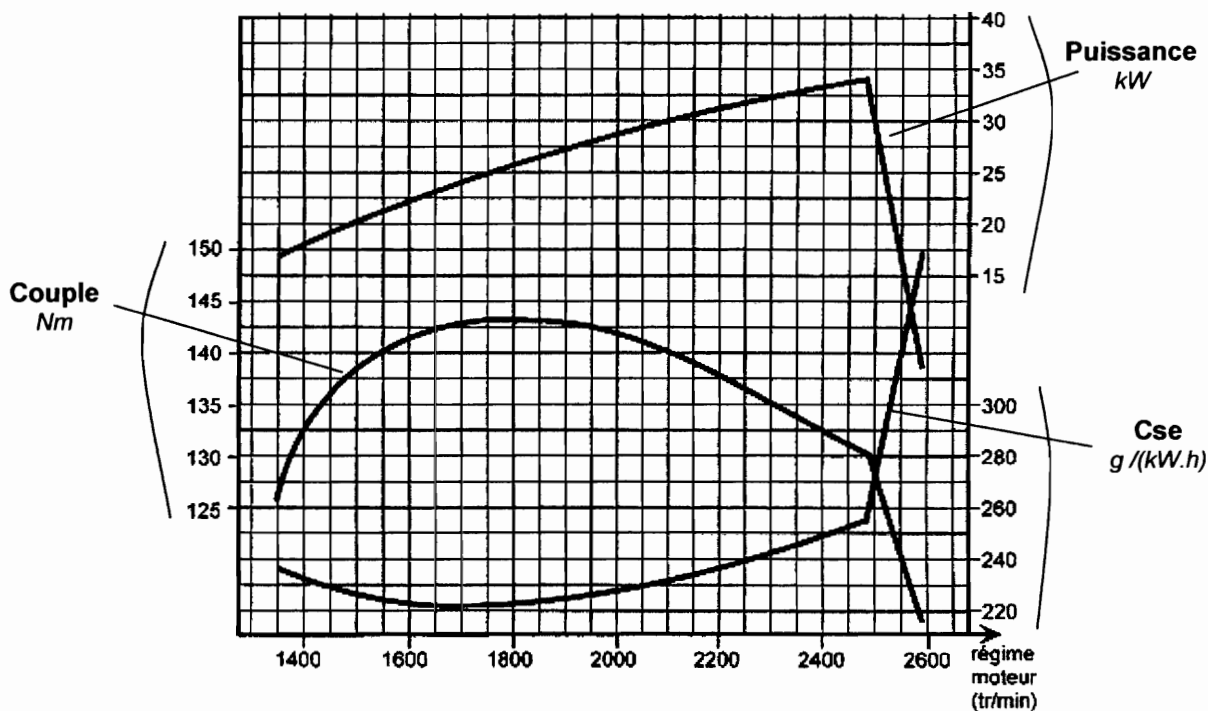
Caractéristiques du moteur équipant cette nacelle

- Régime de ralenti : 1300 tr/min
- Régime maximal à vide : 2590 tr/min
- Nombre de cylindres : 4
- Alésage : 84 mm
- Course : 100 mm
- Combustion : injection indirecte
- Rapport volumétrique : 23,3 / 1
- Sens de rotation : Anti-horaire vu coté ventilateur (coté opposé à l'entraînement de pompe)
- Poids approximatif : 184 kg

Courbes de performances du moteur

Conditions d'essai :

- Température de l'air d'admission : 23 °C
- Pression dans le cylindre en fin admission : $0,816 \times 10^5$ Pa
- Pouvoir Calorifique Inférieur du gazole d'essai : 44500 kJ / kg
- Débit d'alimentation du moteur en carburant : 2,4 g/s



Transmission

La transmission du mouvement aux roues s'effectue au moyen d'une transmission hydrostatique autorégulée. La pompe de transmission hydrostatique à cylindrée variable à double sens de flux est directement entraînée par le moteur thermique. Le moteur hydraulique entraîne une boîte de transfert puis les 2 ponts avant et arrière. Le distributeur permet de sélectionner deux sens de marche et de définir la vitesse de déplacement de la nacelle proportionnellement au courant de commande des électrovannes a ou b.

Le rapport de réduction de l'ensemble de la transmission, de la sortie du moteur hydraulique jusqu'aux roues est de 44,66 / 1 et le rayon sous charge de chaque pneu est de 0,51 m.

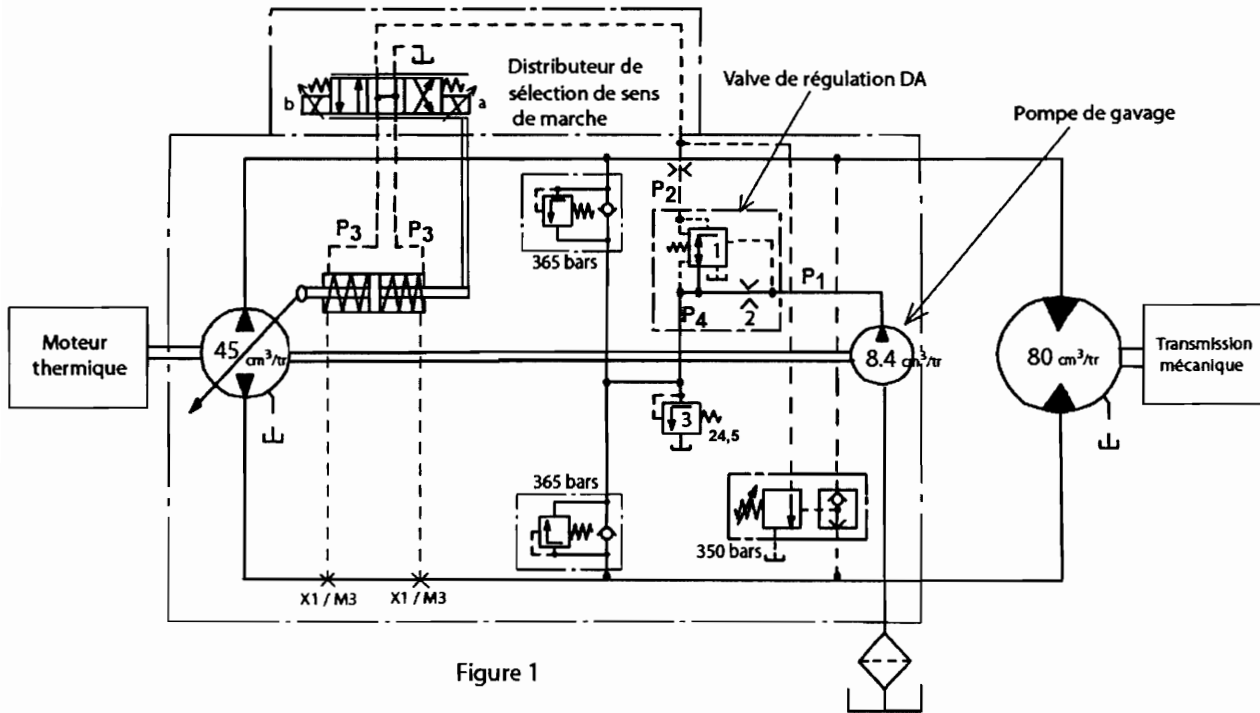
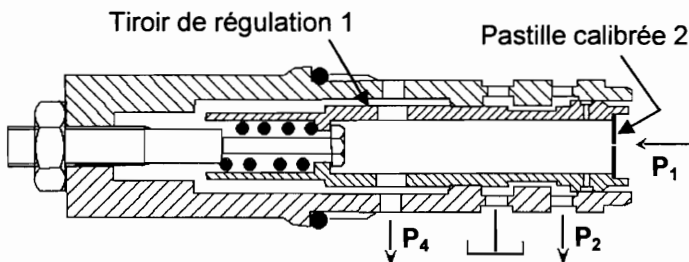


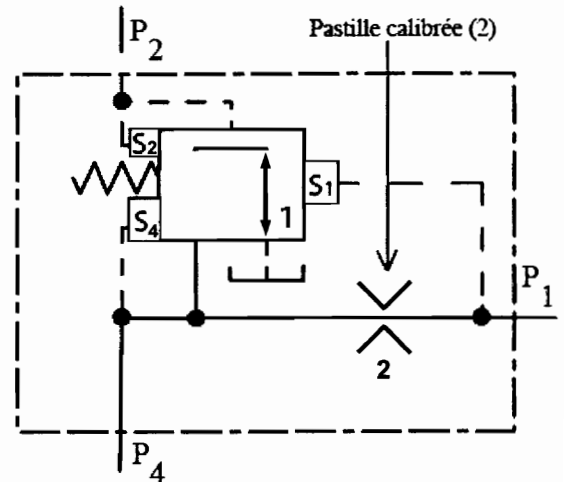
Figure 1

Détail de la valve de régulation DA

Pour cette nacelle, la pastille calibrée a un orifice de 0,009 m et un coefficient de perte de charge $k = 7,7 \cdot 10^{-3}$ (en unités SI) dans les conditions de température d'utilisation et de type d'huile préconisé par le constructeur.



Vue en coupe moteur thermique à l'arrêt - figure: 2



Représentation schématique moteur thermique à l'arrêt - figure: 3

Courbes caractéristiques des différents éléments de régulation

Relation entre les pressions P2, P4 et le régime du régime moteur thermique :

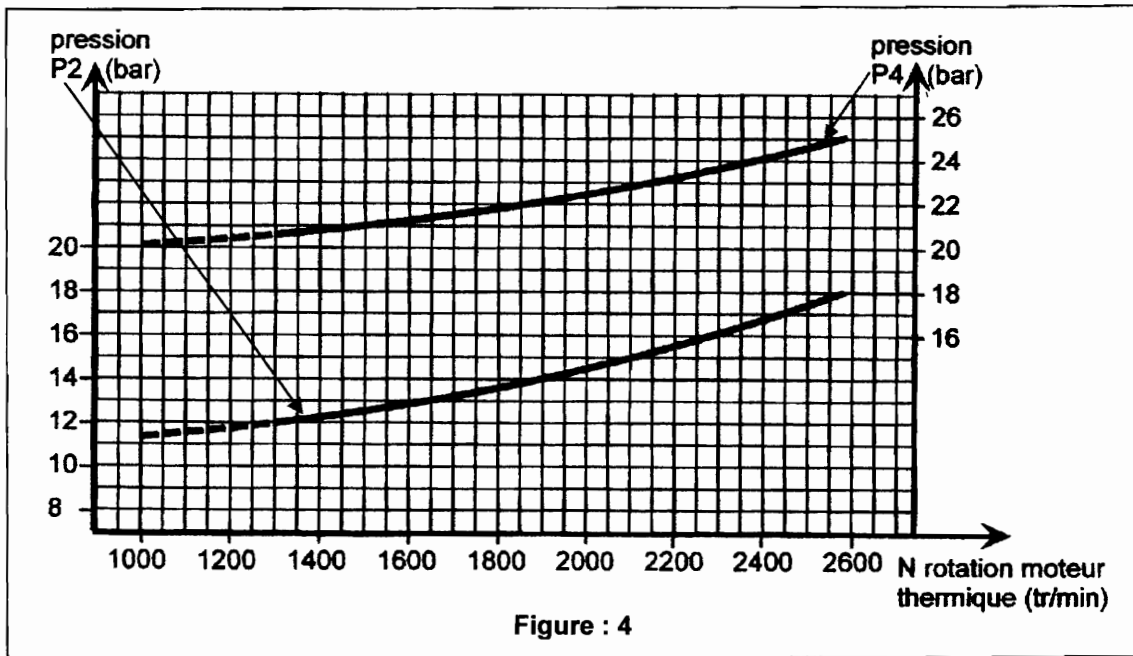


Figure : 4

Relation entre la pression P3 et le courant de commande sur l'électrovanne a ou b suivant le régime du moteur thermique :

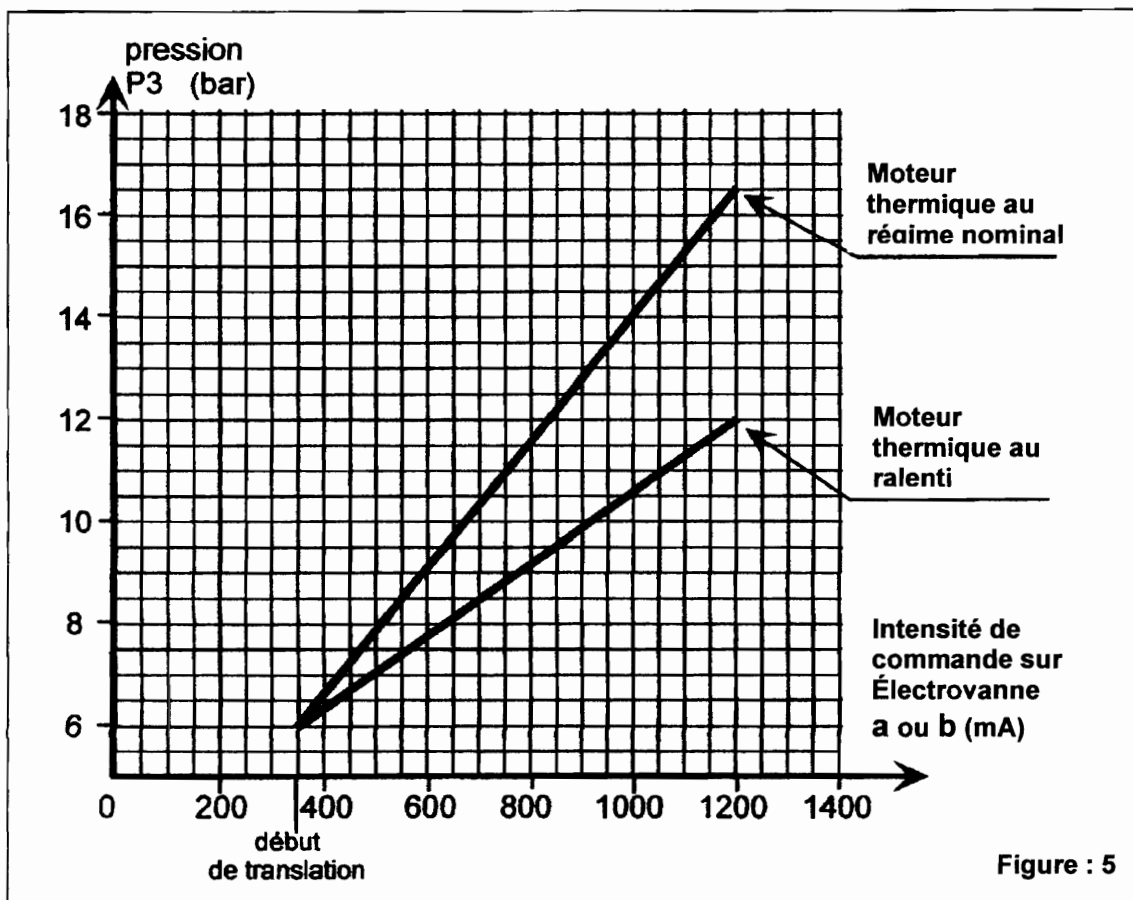
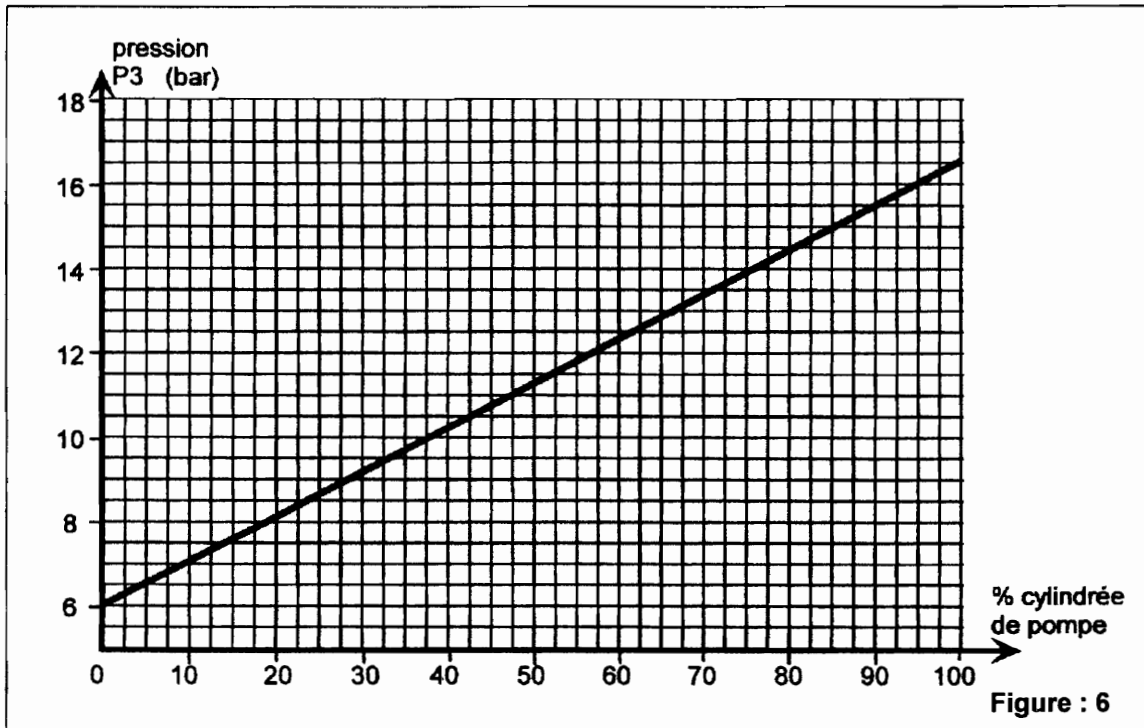
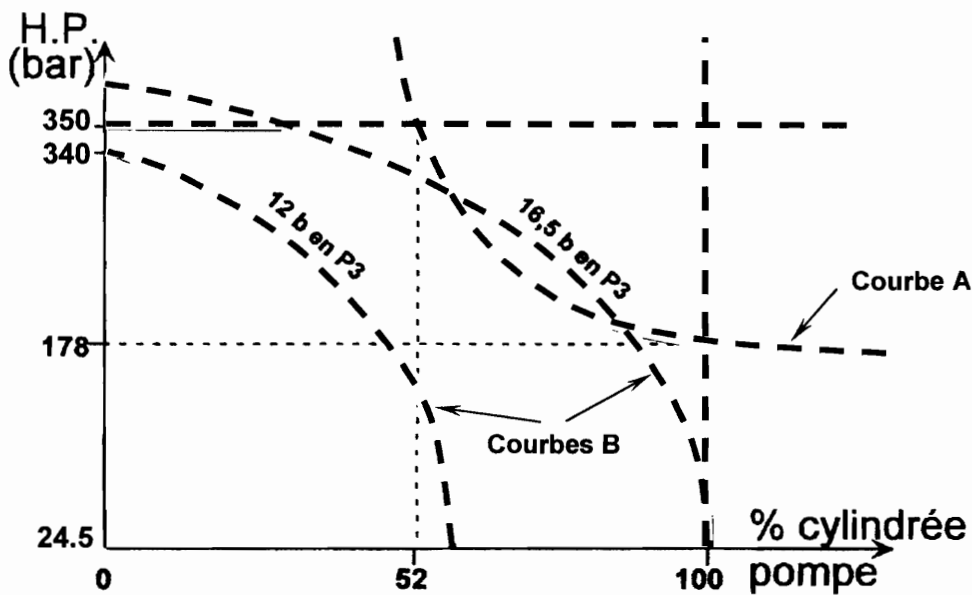


Figure : 5

Relation entre la pression P3 de commande et la cylindrée de pompe de translation pour une pression de refoulement constante.



Relation entre la cylindrée de pompe de transmission et la pression de refoulement (H.P.)



La courbe A ; représente l'iso couple du moteur thermique (couple à ne pas dépasser)

Les courbes B ; représentent la relation théorique entre la cylindrée de pompe et la pression de refoulement (HP) qui provoque un couple de rappel sur le plateau de pompe et s'oppose ainsi à l'action du vérin de maintien de cylindrée par la pression P3. Ici deux courbes théoriques sont représentées pour P3 = 12 bar puis P3 = 16.5 bar.

**BTS MAINTENANCE ET APRÈS-VENTE DES ENGINS DE
TRAVAUX PUBLICS ET DE MANUTENTION**

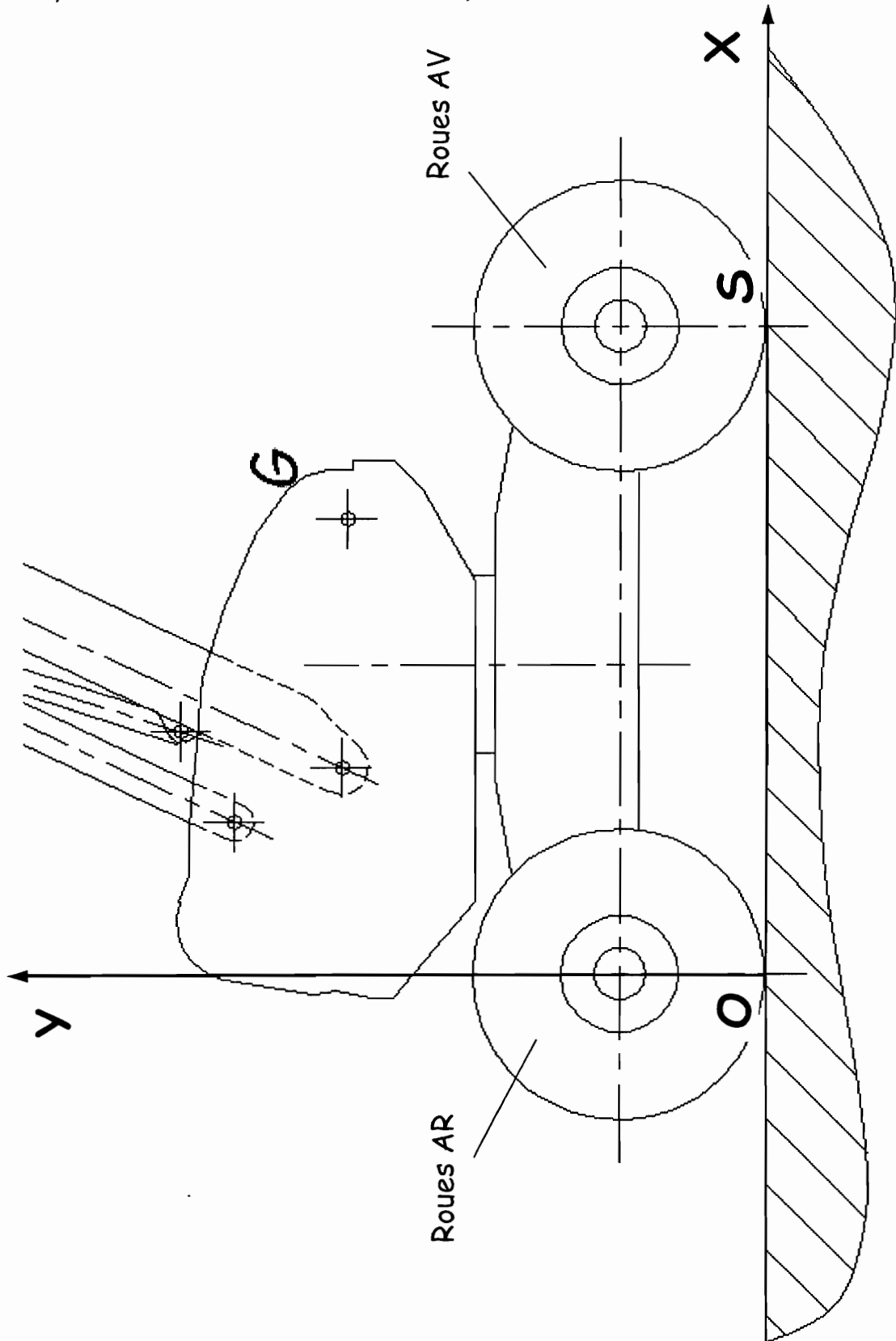
MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

NACELLE ÉLÉVATRICE À BRAS

DOCUMENTS RÉPONSES

Nombre de pages : 5 pages

A-2/ Déterminer dans le cas statique les actions de contact sol / pneumatiques.
Représenter ces efforts sur le document réponse DR1.



Échelle géométrique : 1 / 20

Échelle des forces : 1 cm pour 7 500 N

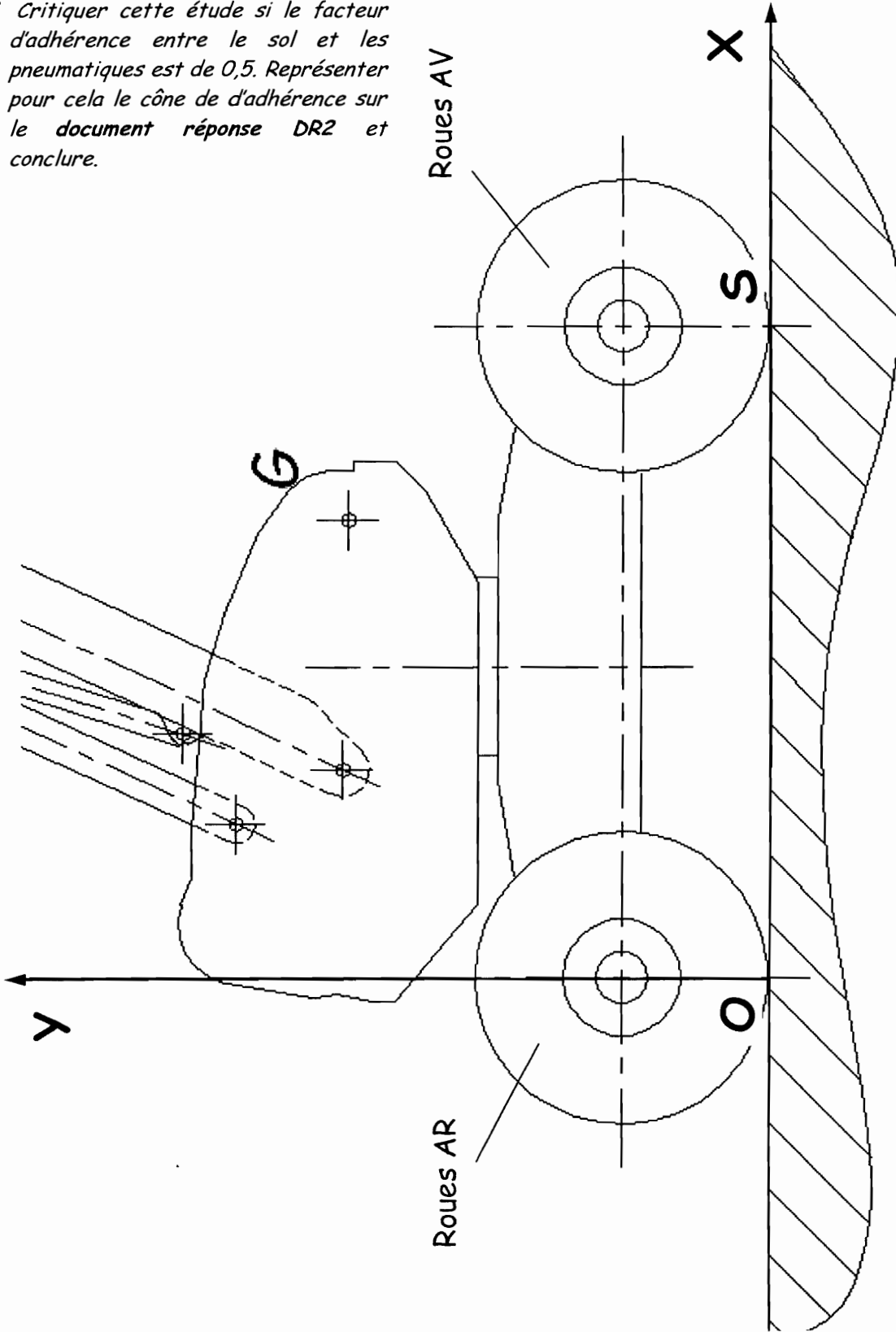
DR2

A-4/ Appliquer le principe fondamental de la dynamique à la nacelle en translation rectiligne, et en déduire les actions de contact sol / pneumatiques.

Représenter ces efforts sur le document réponse DR2.

A-5/ Critiquer cette étude si le facteur d'adhérence entre le sol et les pneumatiques est de 0,5. Représenter pour cela le cône de d'adhérence sur le document réponse DR2 et conclure.

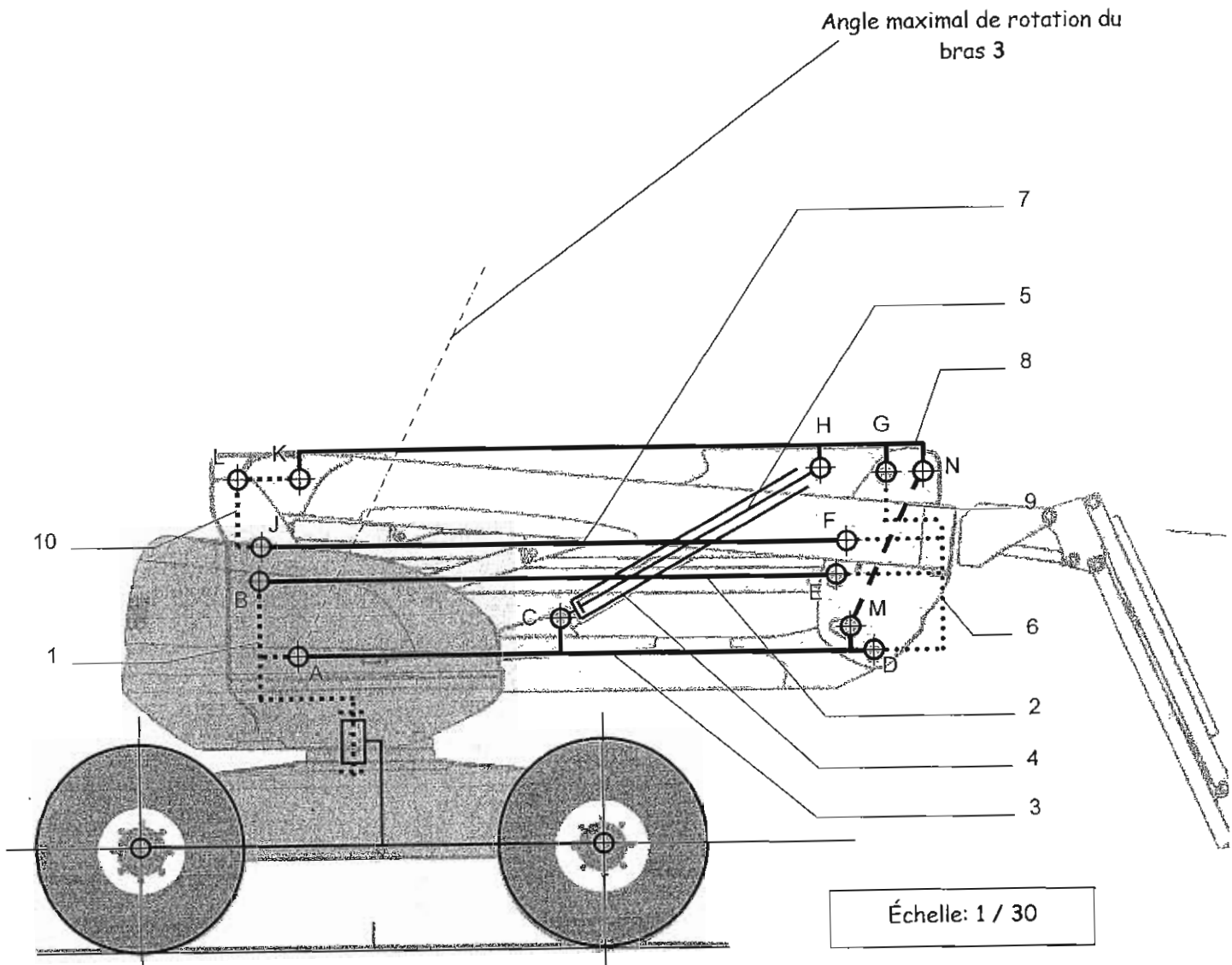
Échelle géométrique : 1 / 20



Échelle des forces : 1 cm pour 7 500 N

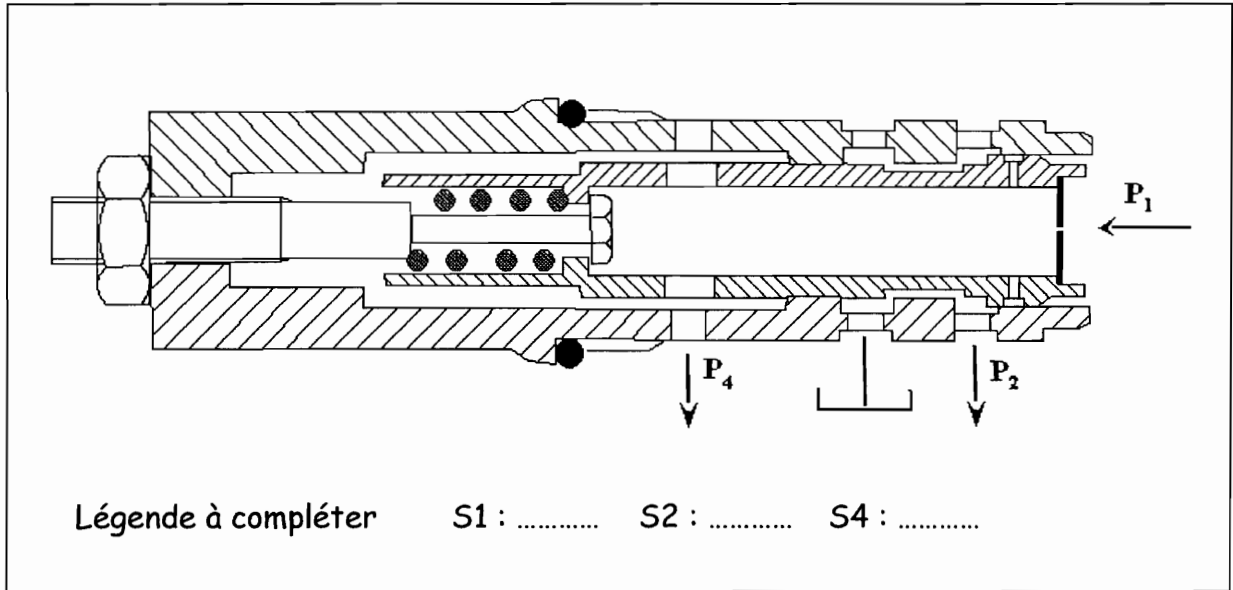
DR3

B-3/ Tracer sur le document réponse DR3 les 10 éléments constituant le bras dans la position d'ouverture maximale.

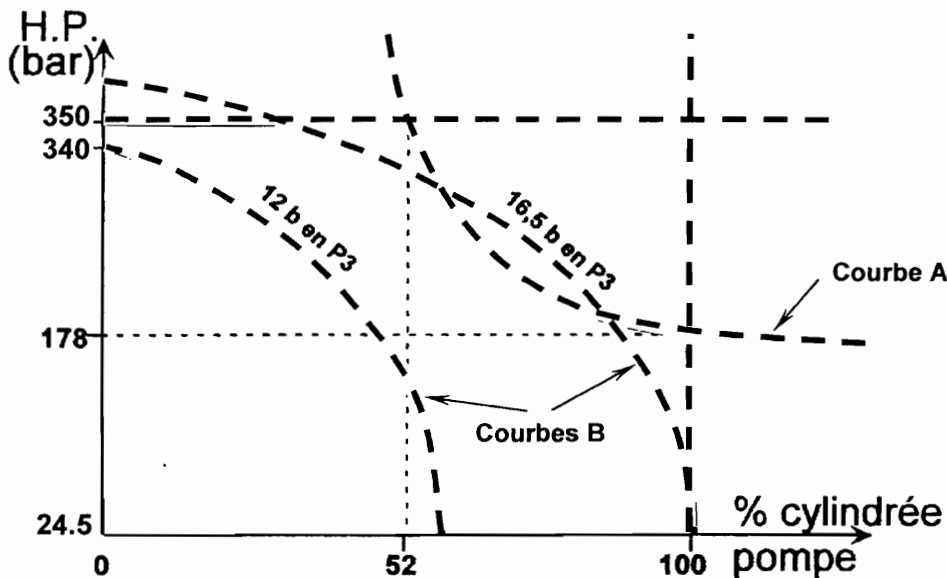


DR4

D-3-1 Identifier par des couleurs sur la vue en coupe du tiroir ci-dessous les sections S1, S2 et S4 indiquées sur le schéma hydraulique figure 3 page 13.



D-4-3 Surligner sur le document DR4 l'évolution de la cylindrée de la pompe lors d'une augmentation de la pression de refoulement de 24,5 bar jusqu'à la pression maximale. On se placera dans une situation initiale d'une cylindrée de 100% et d'une pression de commande $P_3 = 16,5$ bar.



DR5

E-2 Analyse du comportement de la transmission hydrostatique.

Utiliser les schémas hydrauliques et les graphes fournis figure 1 à 7, pages 13 à 15.

Compléter le tableau ci-dessous pour un fonctionnement normal dans chacune des 5 situations de déplacement (la première ligne est donnée à titre d'exemple).

Vitesse sélectionnée	Pression refoulement pompe HP bar	Régime moteur thermique tr/min	Pourcentage/ cylindrée max pompe	Pression P3 bar	Courant de commande électrovanne mA	Pression P2 bar	Pression P4 bar
lièvre	24.5	2480	100	16.5	1200	17.2	24.5
rampe	24.5		33				
tortue	24.5		28				
travail	24.5		13				
lièvre	350						