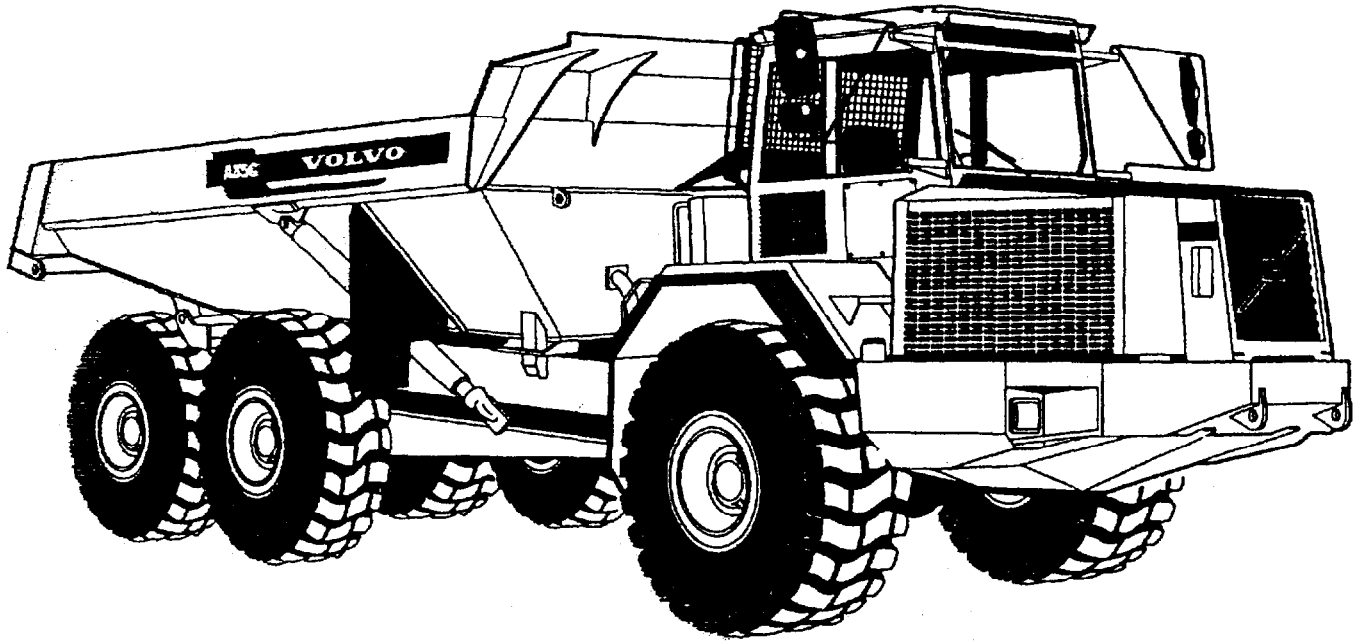


Circuit de refroidissement – bilan thermique



DOSSIER de TRAVAIL

Ce dossier comporte 9 pages
numérotées DW 1/9 à DW 9/9

L'étude comporte trois parties indépendantes:

Dans la partie A on va s'attacher à déterminer la puissance que le système de refroidissement doit dissiper pour le bon fonctionnement du moteur thermique.

La partie B permettra d'estimer la puissance dissipée par le même système de refroidissement au cours des phases de ralentissement utilisant le ralentisseur hydraulique.

La partie C est consacrée à l'étude du circuit hydraulique de commande de l'entraînement du ventilateur du système de refroidissement du moteur thermique

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUEES	Page : DW 1/9
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ème} partie MODELISATION ET ETUDE PREDICTIVE DES SYSTEMES	

Partie A : Etude thermique

1. Description

Le tombereau VOLVO A35C est équipé d'un moteur VOLVO de type TD 122 KME. Il s'agit d'un moteur diesel à six cylindres en ligne, à injection directe, turbocompresseur et refroidissement de l'air de charge.

2. Données

moteur :

Diamètre de l'alésage :	$d = 130 \text{ mm}$
longueur de la course	$c = 150 \text{ mm}$
rapport volumétrique de compression	$\epsilon = 16$
Puissance maxi :	262 kW à 2100 tr/min
Couple maxi :	1585 Nm à 1200 tr/min

caractéristiques de l'air :

pression de l'air atmosphérique :	$p_a = 1 \text{ bar}$
température de l'air atmosphérique:	$t_a = 27 \text{ °C}$
pression de l'air admis dans les cylindres:	$p_c = p_b = 2 \text{ bar}$
température de l'air admis dans les cylindres :	$t_c = 95 \text{ °C}$

caractéristiques du carburant :

réglage stoechiométrique pour le gazole :	15 g d'air pour 1 g de carburant
Pouvoir calorifique du gazole :	$P_c = 44000 \text{ kJ/kg}$

caractéristiques du mélange réalisé dans les cylindres :

richesse :	$R_i = 0,6$
------------	-------------

3. Hypothèses

Pour les études suivantes, on admettra :

- qu'en fin d'admission la masse de gaz frais occupe tout le volume situé au dessus du piston ;
- qu'au cours du cycle thermodynamique la composition du gaz (pour l'essentiel de l'air) varie peu et qu'il peut être considéré comme un gaz parfait de caractéristiques $r = 287 \text{ J/kg.K}$
- La septième partie est indépendante des autres.

4. Etude du moteur

L'objectif est de déterminer la puissance thermique maximale, issue du moteur, que le système de refroidissement doit pouvoir dissiper.

- A.4.1. Déterminer la cylindrée unitaire V_{unitaire} . En déduire les volumes V_1 (piston au PMB) et V_2 (piston au PMH).
- A.4.2. Calculer la masse d'air frais contenue dans chaque cylindre à la fin de chaque admission.
- A.4.3 Calculer la masse de carburant injectée dans chaque cylindre et à chaque cycle thermodynamique. En déduire la quantité de chaleur apportée à la masse de gaz par la combustion complète de cette masse de carburant.
- A.4.4. Calculer le nombre de cycles thermodynamiques réalisés par seconde au régime de puissance maximale. Déterminer, alors le rendement global de ce moteur au régime de puissance maximale.

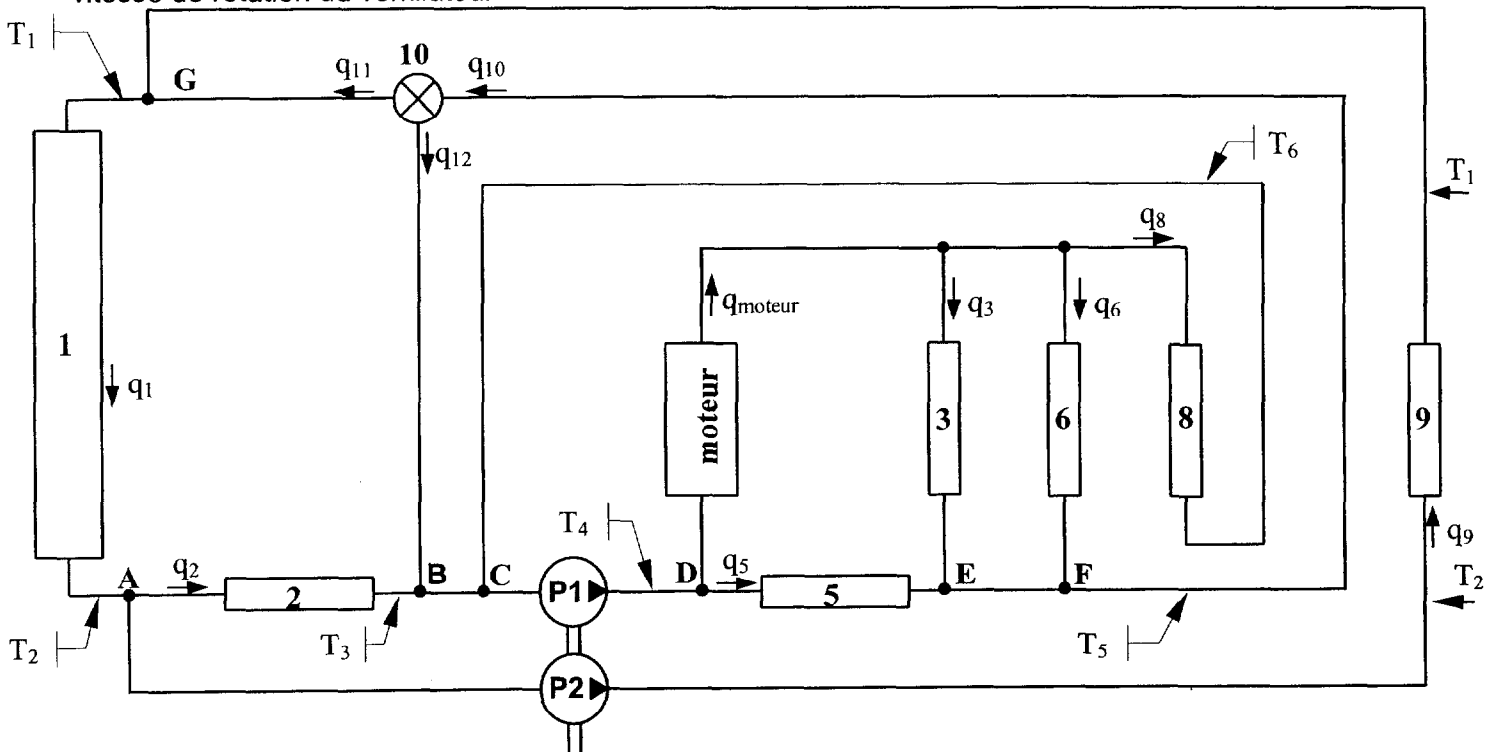
BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUÉES	
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ème} partie MODÉLISATION ET ETUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES	Page : DW 2/9

A.4.5. La fraction de la puissance thermique fournie par la combustion du gazole qui n'est pas transformée en puissance mécanique (récupérée sur l'arbre du moteur) est restituée à l'environnement. Calculer cette puissance.

A.4.6. On admet en général que 55 % de cette puissance est transportée par les gaz d'échappement, le reste devant être évacué par le système de refroidissement. Calculer la puissance que le système de refroidissement doit pouvoir dissiper.

5. Etude du système de refroidissement

L'objectif est de déterminer la quantité de chaleur à évacuer par le radiateur principal et d'en déduire la vitesse de rotation du ventilateur



L'ensemble du système de refroidissement comporte 8 échangeurs thermiques (voir DT 2/14 et DT 3/14). La figure ci-dessus représente le même circuit de refroidissement dans le cas particulier d'un fonctionnement où on n'utilise pas le radiateur de chauffage de la cabine 4 et pour un tombereau non équipé du filtre du liquide de refroidissement 7.

Le fluide qui circule grâce aux pompes P1 et P2 est, pour l'essentiel de l'eau dont la chaleur massique est $C_{eau} = 4185 \text{ J/kg.K}$.

Pour la suite des calculs, on ne tiendra compte que des transferts thermiques qui ont lieu dans les échangeurs de chaleur. Les températures sont donc invariantes le long des canalisations, ainsi qu'à la traversée des pompes et du thermostat. Par ailleurs on fera l'hypothèse que $T_5 = T_1$.

On pose ΔT_i la variation de température à travers l'élément repéré i.

Dans les conditions étudiées, on a constaté :

- l'élévation de température du liquide de refroidissement à la traversée du moteur thermique est :
 $\Delta T_{moteur} = 8 \text{ °C}$.
- la chute de température du liquide de refroidissement à la traversée du radiateur 1 est :
 $\Delta T_1 = T_2 - T_1 = -10 \text{ °C}$.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUEES	Page : DW 3/9
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ème} partie MODELISATION ET ETUDE PREDICTIVE DES SYSTEMES	

A.5.1. Lorsqu'on utilise la puissance maximale du moteur thermique, la puissance que le circuit de refroidissement doit évacuer est $P_{\text{moteur} \rightarrow \text{eau}} = 220 \text{ kW}$. Déterminer, en l/min, le débit q_{moteur} du liquide de refroidissement qui traverse le moteur thermique afin de dissiper cette puissance.

A.5.2. Déterminer le débit q_9 du liquide de refroidissement qui traverse l'échangeur 9. La puissance à dissiper est dans ce cas $P_{\text{air} \rightarrow \text{eau}} = 10,5 \text{ kW}$.

Après quelques minutes de fonctionnement à pleine puissance, on a relevé les informations suivantes concernant le liquide de refroidissement :

échangeurs	liquide de refroidissement	
	débit (en l/min) :	variation de température : $T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}}$ (en °C)
1 : Radiateur principal	q_1	$\Delta T_1 = -16,5$
2 : huile du convertisseur de couple	$q_2 = q_{11}$	$\Delta T_2 = 1,5$
3 : huile du ralentisseur hydraulique	$q_3 = 370$	$\Delta T_3 = 0$
5 : huile de lubrification du moteur	$q_5 = 10$	$\Delta T_5 = 1$
6 : culasse du compresseur	$q_6 = 10$	$\Delta T_6 = 1$
8 : huile de lubrification de la boîte de transfert	$q_8 = 15$	$\Delta T_8 = 1$
9 : air de charge (turbocompresseur)	$q_9 = 15$	$\Delta T_9 = \Delta T_1$
moteur	$q_{\text{moteur}} = 395$	$\Delta T_{\text{moteur}} = 8$

A.5.3. Selon que le thermostat 10 est ouvert, partiellement ouvert ou fermé, le débit qui traverse le radiateur 1 varie. A partir des informations du tableau ci-dessus, déterminer les valeurs minimale et maximale du débit q_1 .

A.5.4. Pour compléter les informations précédentes on mesure la température à l'entrée du moteur thermique : $T_4 = 80 \text{ °C}$. Ecrire la relation de conservation de l'énergie thermique au point F et en déduire la température T_5 .

A.5.5. On pose : $\frac{q_{11}}{q_{10}} = x$ on a alors : $\frac{q_{12}}{q_{10}} = 1 - x$

La relation de conservation de l'énergie thermique au point C puis au point D a permis d'écrire :

$$x = \frac{(q_{\text{moteur}} + q_5) \cdot T_4 - q_{10} \cdot T_5 - q_8 \cdot T_6}{q_{10} \cdot (\Delta T_1 + \Delta T_2)}$$

Calculer x et en déduire q_{11} et q_{12} . Pour cela on prendra $T_5 = 88 \text{ °C}$.

A.5.6. Calculer T_3 et en déduire la vitesse de rotation du ventilateur (voir DT 3/14).

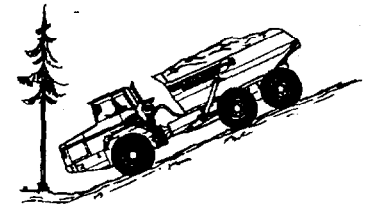
BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUÉES	Page : DW 4/9
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ème} partie MODÉLISATION ET ETUDE PRÉDICTIONNELLE DES SYSTÈMES	

Partie B : Etude du ralentisseur hydraulique

1. Description

Extrait du manuel du constructeur : technique de conduite

Conduite en descente



Avertissement !

N'autorisez pas le moteur à dépasser 40 tr/s (2400 tr/min) durant la conduite en descente.

Choisissez un rapport de vitesses, 1, 2 ou 3, approprié avant le début de la descente et réduisez la vitesse pour que la machine passe au rapport choisi.

De manière générale, tout freinage sera effectué en premier lieu avec le ralentisseur et le frein d'échappement plutôt qu'avec le frein de route et ce afin de réduire l'usure de ce dernier.

Règle : Sélectionnez le même rapport pour la descente que celui utilisé pour la montée.

NOTA ! En cas de verglas ou de terrain glissant, le blocage du différentiel longitudinal devra toujours être branché afin d'assurer un freinage uniforme sur toutes les roues motrices.

Utilisez le rapport approprié en descente conjointement au frein d'échappement et au ralentisseur. Utilisez toute la puissance du ralentisseur avant d'utiliser le frein de route. Si ceci ne fournit pas une puissance de freinage suffisante, le frein de route **AUSSI DOIT** être utilisé.

%	Gears	MAX	
		km/h	mph
40%	1L	2	1
35%	1L	4	2
25%	2L/1H	7	4
20%	3L/1H	9	6
14%	5L/3H	15	9
10%	4L/3H	20	12
7%	6L/4H	30	19
5%	5H	40	25
3%	6H	50	31

2. Commande du ralentisseur hydrocinétique intégré à la boîte de vitesses

Le but est de déterminer la puissance dissipée par le ralentisseur hydraulique et les processus de son activation

Les questions ouvertes font appel aux documents techniques DT6/14 à DT10/14.

B.2.1. Le document ci-dessus est affiché dans la cabine du tombereau : c'est une aide à la conduite en descente. Il donne des indications permettant de choisir le rapport adapté à la pente. A l'aide des courbes de performances du ralentisseur hydraulique (doc DT11/14) et de l'exemple (doc DT12/14) complétez les informations du document réponse (doc DR2/8).

B.2.2. Un tombereau de masse totale 40000 kg descend une pente de 20% à la vitesse de 10 km/h. Le rapport utilisé est celui de 3^{ième} gamme basse. Le conducteur n'utilise que le ralentisseur hydraulique. Indiquer sur le document réponse DR3/8 le point de fonctionnement correspondant : A. Que se passe-t-il si la pente devient égale à 30% ? Que doit faire le conducteur pour maintenir la vitesse de descente constante ? Indiquer sur le document réponse le nouveau point de fonctionnement : B.

B.2.3. Le conducteur peut-il maintenir la vitesse de 10 km/h constante si la pente devient égale à 40% ? Pourquoi ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session : 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUEES	Page : DW 5/9
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ième} partie MODÉLISATION ET ETUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES	

B.2.4. A vitesse constante maxi sur la pente de 40 %, quelle est la puissance dissipée par le ralentisseur hydraulique ?

Pour les questions suivantes : Le conducteur agit sur la pédale de commande du ralentisseur hydraulique, le ralentisseur est alors actif.

B.2.5. Indiquer les données prises en compte par le calculateur (ECU) , ainsi que les informations de sortie qu'il communique aux électrovannes.

B.2.6. Repérer sur le circuit électrique du document réponse **DR4/8** les entrées et les sorties actives du calculateur.

B.2.7. Indiquer, en couleur, sur le document réponse **DR5/8**, les parties du circuit pneumatique qui sont actives uniquement pour la commande du ralentisseur.

B.2.8. Indiquer, en couleur, sur le document réponse **DR6/8**, les parties du circuit hydraulique qui sont actives uniquement pour la commande du ralentisseur.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME		Durée : 6 h
TECHNIQUES APPLIQUEES		Coefficient : 2
Epreuve E4 :	2 ^{ème} partie MODÉLISATION ET ETUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES	Page : DW 6/9

Partie C : Etude du circuit d'alimentation du moteur hydraulique d'entraînement du ventilateur

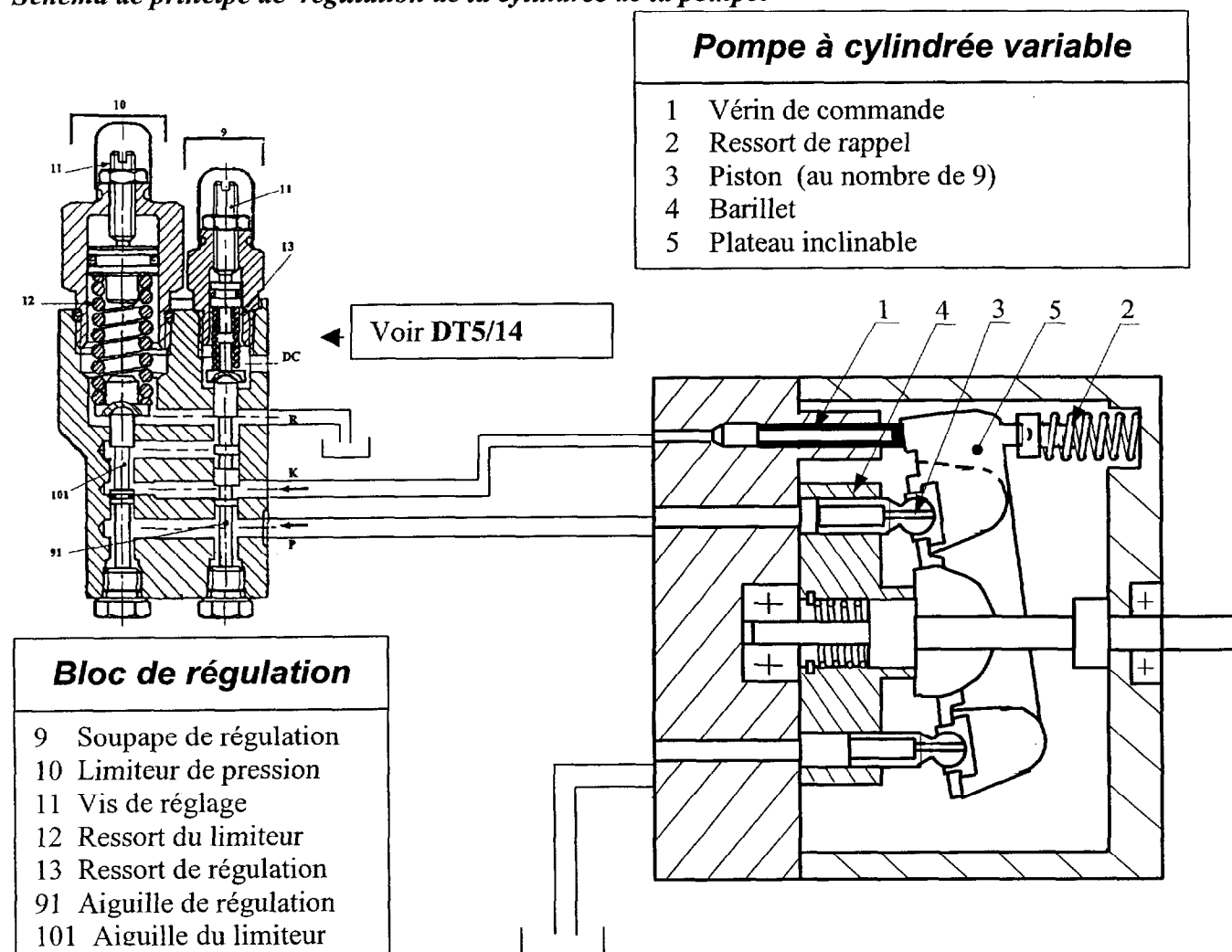
L'étude menée précédemment met en évidence une puissance calorifique à dissiper par le circuit de refroidissement variant suivant l'utilisation de la machine. Pour répondre à ce besoin le concepteur a mis en place une régulation de vitesse de rotation du ventilateur que nous allons étudier dans cette partie.

1. Description

Le moteur du ventilateur a trois plages de vitesse, bas régime, haut régime et régime maxi (voir DT3/14). Dans chacune de ces trois plages, le moteur du ventilateur a une fréquence de rotation constante quelle que soit la fréquence de rotation du moteur thermique. La cylindrée de la pompe hydraulique s'adapte en permanence au régime du moteur thermique, le circuit est nommé LOAD - SENSING.

Les données et notations nécessaires pour cette troisième partie sont situées sur le document DT14/14.

Schéma de principe de régulation de la cylindrée de la pompe:



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME		Durée : 6 h
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUEES	Coefficient : 2
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ème} partie MODELISATION ET ETUDE PREDICTIVE DES SYSTEMES	Page : DW 7/9

2 Etude de la soupape de régulation 9 de la pompe

objectif: déterminer l'évolution de la cylindrée en fonction de la différence de pression entre l'orifice P et l'orifice DC (DT3/14 et DT5/14).

Sur le document technique DT5/14 l'aiguille 91 est dans la position qui permet de bloquer le plateau de la pompe dans une position autre que la cylindrée maxi ou mini

Hypothèses : les liaisons sont considérées comme parfaites et sans frottement ;

le poids des pièces est négligeable.

La différence de pression entre l'orifice P et l'orifice DC (DT3/14 et DT5/14) est : 14 bar.

C.2.1 En étudiant l'équilibre de l'aiguille 91, calculer l'action qu'exerce le ressort 13 sur 91.

C.2.2 En déduire au montage, l'écrasement initial du ressort 13.

C.2.3 Compléter le tableau du document réponse DR7/8

3. Etude du circuit de régulation à bas régime

objectif: déterminer la chute de pression dans le circuit de régulation afin de déterminer la vitesse de rotation du ventilateur.

Le circuit de régulation comprend (voir DT3/14) le limiteur de débit (2), la vanne magnétique MA80 (5) ainsi que la valve thermostatique (6).

Hypothèses : les pertes de charge linéaires sont négligées.

les pertes de charge dans les crépines et les clapets anti-retour le sont également.

La différence de pression entre les orifices P et DC est générée par le limiteur de débit (2).

On donne la relation suivante : $Q = K.S.\sqrt{\Delta P}$ avec $K = \sqrt{\frac{2}{\rho\xi}}$

C.3.1. Calculer le débit traversant le limiteur pour une chute de pression de 14 bar.

C.3.2. Compléter le tableau du document réponse DR7/8.

C.3.3. En utilisant la relation précédente, calculer la chute de pression aux bornes de la valve thermostatique 6, sachant que le débit la traversant est de 9,05 l/min.

C.3.4. En déduire la pression lue en 8. On fera l'hypothèse que le réservoir est à la pression atmosphérique et que la perte de charge aux bornes de MA80 est nulle dans cette configuration. (on rappelle que lors du bas régime, ni la vanne magnétique 5 ni la valve thermostatique ne sont pilotées).

C.3.5. Donner la relation liant le couple moteur et la chute de pression aux bornes du moteur. Calculer le couple sachant que $P_8=27,9$ bar.

C.3.6. Déterminer à l'aide de la courbe caractéristique (voit DT4/14) du ventilateur, la vitesse de rotation de celui-ci.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 :	TECHNIQUES APPLIQUEES	Page : DW 8/9
Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ième} partie MODELISATION ET ETUDE PREDICTIVE DES SYSTEMES	

4. Etude du haut régime

objectif: déterminer la chute de pression aux bornes de la valve magnétique afin d'obtenir une vitesse de rotation du ventilateur de 1400 tr/min.

Le haut régime est obtenu par commande de la vanne magnétique, lorsque la vitesse de rotation du moteur thermique dépasse 1400 tr/min, la vanne magnétique passe en position étranglée. La vitesse de rotation du ventilateur passe alors à 1400 tr/min.

C.4.1. Déterminer la pression lue en 8.(DT3/14)

C.4.2. En déduire la chute de pression aux bornes de la vanne magnétique.

C.4.3. Quelle est la valeur du débit dans le circuit de régulation ?

5. Etude du régime maxi

objectif: déterminer l'élément qui régule la vitesse du ventilateur au régime maximum.

On se place dans le cas où la température détectée par la valve thermostatique est supérieure à 96 °C (valve complètement fermée). Dans ce cas la vitesse de rotation du ventilateur est de 2000 tr/min.

C.5.1. Donner le débit dans le circuit de régulation.

C.5.2. En déduire la position de l'aiguille 91.

C.5.3. Calculer la cylindrée de la pompe dans les 2 cas de régime du moteur thermique :

N = 1400 tr/min

N = 2400 tr/min

C.5.4. Donner la pression lue en 8 dans les 2 cas précédents.

C.5.5. Les calculs précédents mettent en évidence une régulation de vitesse. Quel est l'élément qui permet cette régulation, expliquer son fonctionnement.

6. Conclusion

C.6.1. Remplir le tableau récapitulatif du document réponse DR7/8.

7. Schéma hydraulique

C.7.1. Compléter, sur le document réponse DR8/8, le schéma normalisé du bloc de régulation de la pompe. (limiteur 10 + soupape de régulation 9)

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR M.A.V.E.T.P.M.		Session 2004
MME4ME	Durée : 6 h	Coefficient : 2
Epreuve E4 : Sous-épreuve U.41 :	2 ^{ème} partie MODÉLISATION ET ETUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES	Page : DW 9/9