

CORRECTIONS ET COMMENTAIRES DU JURY

1	CONSEILS AU CANDIDATS	2
2	COMMENTAIRES GÉNÉRAUX POUR CHACUNE DES QUESTIONS.....	2
3	HISTOGRAMME DES NOTES	4
4	SYSTEME D’ALIMENTATION DU MOTEUR DW10 : CORRECTION.....	5
4.1	ANALYSE FONCTIONNELLE.....	5
4.2	FONCTION : INJECTER DU GAZOLE.....	5
4.3	FONCTION : ALIMENTER LA POMPE HAUTE PRESSION	7
4.4	FONCTION : FOURNIR DU GAZOLE SOUS PRESSION.....	7
4.5	ETUDE DU CIRCUIT D’ALIMENTATION EN AIR.....	14
4.6	VALIDATION DES MODELES RETENUS	15
4.7	Validation du MODELE THERMODYNAMIQUE DU MOTEUR DW10	15

SYSTEME D'ALIMENTATION DU MOTEUR DW10 (COMMON RAIL ET EGR)

1 CONSEILS AU CANDIDATS

Le sujet traite du système d'alimentation du moteur DW10. Il comporte trois dossiers (un dossier technique, un dossier travail et un dossier réponses).

L'analyse fonctionnelle préalable à cette étude précise les fonctions techniques étudiées.

-Injecter du gazole à haute pression.

-Alimenter la pompe haute pression.

-Fournir du gazole sous haute pression

L'étude se poursuit par la caractérisation du circuit d'alimentation en air.

Une validation des modèles retenus par des résultats d'une étude expérimentale conclue le sujet.

Le sujet proposé permettait d'évaluer le candidat dans les domaines de l'analyse fonctionnelle, de la dynamique des fluides, de la statique, de la cinématique, de la dynamique, de la thermodynamique.

Le jury constate que certaines copies sont d'un bon niveau. La correction de ces copies met en évidence que les candidats se sont préparés à ce concours. Ils ont su :

- lire le dossier technique,
- exploiter les informations du dossier technique pour comprendre et analyser le fonctionnement du système,
- mettre leurs connaissances scientifiques et technologiques au service du système étudié,

Par contre pour un trop grand nombre de candidats, le jury regrette :

- que la présentation des documents soit médiocre,
- que leurs connaissances scientifiques et techniques se limitent à de vagues souvenirs !

Le jury recommande aux futurs candidats :

De **préparer** cette épreuve en maîtrisant les connaissances dans les domaines de la mécanique, de l'hydraulique, de la mécanique des fluides, de la thermodynamique, de l'automatique.

D'apporter un soin particulier à la présentation et de veiller à l'orthographe

De **mobiliser** leurs connaissances scientifiques et techniques pour analyser le fonctionnement d'un système et valider des performances

De **rechercher** dans le dossier technique les données nécessaires à la résolution du problème posé.

2 COMMENTAIRES GÉNÉRAUX POUR CHACUNE DES QUESTIONS

Question 1 :

Traité par tous les candidats, il s'agissait d'identifier la frontière d'étude pour mener à bien l'analyse fonctionnelle qui suivait.

Question 2 :

Il était impossible de répondre à cette question sans avoir au préalable analysé le fonctionnement du système objet de l'étude.

Question 3 :

Aucune difficulté pour identifier à partir du modèle SADT les supports d'activité. Le seul écueil provient de la méconnaissance du vocabulaire associé à l'analyse fonctionnelle.

Question 4 :

La conservation du débit entre la section S6 et S5 permettait de conclure facilement.

Question 5 :

Simple application numérique, il suffisait de respecter les unités SI

Question 6 :

Peu de candidats isolent convenablement l'aiguille. Le bilan des actions mécaniques est souvent imparfait. Le PFS n'est pas explicite.

Question 7 :

La connaissance de l'expression du débit massique permettait de déterminer le temps d'ouverture de l'injecteur.

Question 8 :

Peu de candidats connaissent l'expression du travail massique en fonction de la puissance. Il fallait ensuite tenir compte des différents rendements pour pondérer le résultat.

Question 9 :

A partir de la connaissance du débit volumique, la vitesse d'écoulement dans la conduite était immédiate.

Question 10 :

L'application numérique permettait de conclure sur la nature de l'écoulement. L'écoulement était donc laminaire.

Question 11 :

Peu de candidats connaissent l'expression de la perte de charge linéaire dans une conduite. Pour l'application numérique les unités doivent être précisées.

Question 12 :

Il suffisait de sommer les pertes de charges linéaires et singulières.

Question 13 :

La connaissance du théorème de BERNOULLI généralisé était nécessaire pour conclure l'étude.

Question 14,15

Cette partie est abordé très partiellement et par peu de candidats. Les connaissances de bases de la mécanique sont trop peu souvent acquises. Manque de rigueur dans l'écriture des théorèmes généraux de la mécanique.

Question 16

Les candidats utilisent trop rarement l'écriture de la fermeture de la chaîne cinématique afin de déterminer r_1 .

La notion de débit instantané n'est pas toujours comprise.

L'écriture vectorielle n'est pas assez maîtrisée. Beaucoup de candidats sont stoppés et ne dérivent pas l'expression de r_1 afin de déterminer l'expression de la vitesse de translation du piston.

Question 18 :

La méthode utilisée afin de déterminer l'irrégularité de débit est souvent approximative. Le rôle d'accumulateur du rail est bien perçu.

Question 19 et 20 :

Manque de rigueur dans l'écriture vectorielle, confusion dans les repères ce qui conduit à des résultats approximatifs (erreurs sur les axes, les signes) pour un problème de base élémentaire.

Question 21 :

La question est souvent mal comprise ce qui conduit à des développements longs et improductifs (étude de l'équilibre dynamique de 14). La notion d'axe central d'un torseur n'est pas souvent acquise.

Question 22 :

Application directe du principe fondamental de la dynamique, bilan des actions extérieures est souvent absent ou incomplet ce qui conduit à des erreurs dans la résolution.

L'évaluation de l'importance des effets dynamiques est souvent mal menée. En effet certains candidats calculent effectivement les efforts dus aux effets dynamiques mais ne les comparent pas de manière explicite avec l'effort dû à l'action du gazole.

Question 24 :

Un manque de rigueur persistant dans les écritures vectorielles ce qui génère de nombreuses erreurs.

Question 26 :

Comme pour la question 22 des bilans souvent inexistantes ou partiels générateurs d'erreurs.
Evaluation trop souvent sommaire des effets dynamiques.

Question 27 :

Les candidats ont trop peu souvent traité cette question. En effet elle ne faisait appel qu'aux résultats fournis à la question précédente.

Les candidats ayant traité cette question se sont souvent compliqué la tâche en manipulant les termes négligeables dans les équations.

Question 28 :

Encore une fois trop peu de candidats ont traité cette question qui ne demandait pas de compétence de mécanicien mais simplement de savoir manipuler des équations.

Question 29 :

L'utilisation des opérateurs d'inertie est acquise par très peu de candidats.

Question 30 :

Beaucoup de candidats compliquent la résolution en conservant les termes négligeables (dus aux effets dynamiques). Ce qui est souvent générateur d'erreurs.

Questions 31 à 43 :

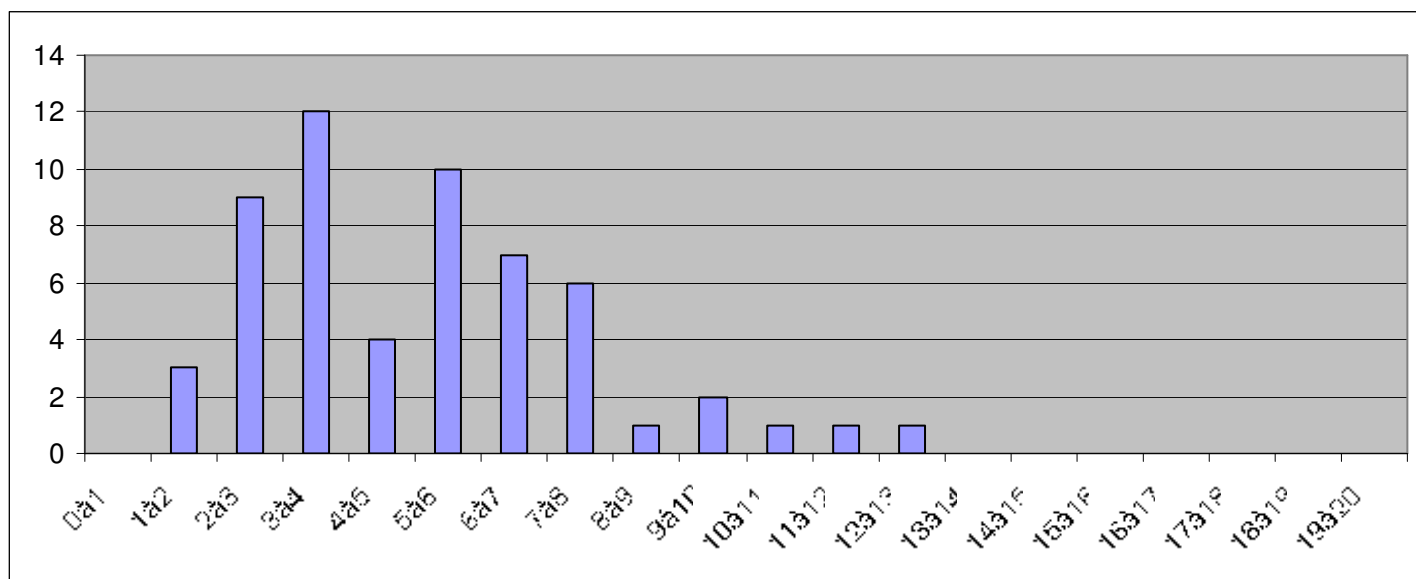
La partie trois, *étude du circuit d'alimentation en air*, et la partie quatre, *validation des modèles retenus*, n'ont été abordées que par une minorité de candidats. Certains ont obtenu des résultats convenables, mais beaucoup trop n'ont que de vagues notions de thermodynamique et ne maîtrisent pas les relations de base (équation caractéristique des gaz parfaits $p.v = r.T$, loi d'évolution dynamique pour une transformation adiabatique $p.v^\gamma = \text{cte}$, notion de rendement isentropique). De plus ils ne connaissent pas les unités légales et se trompent dans la simple application de relations données dans le sujet, les calculatrices ne font pas tout. La majorité éprouve des difficultés pour commenter les résultats des calculs par rapport aux relevés fournis trop de commentaires se résument à : « *il y a une différence entre la théorie et la pratique* ».

3 HISTOGRAMME DES NOTES

Nombre de candidats ayant composés : 55

Moyenne : 6,8/20

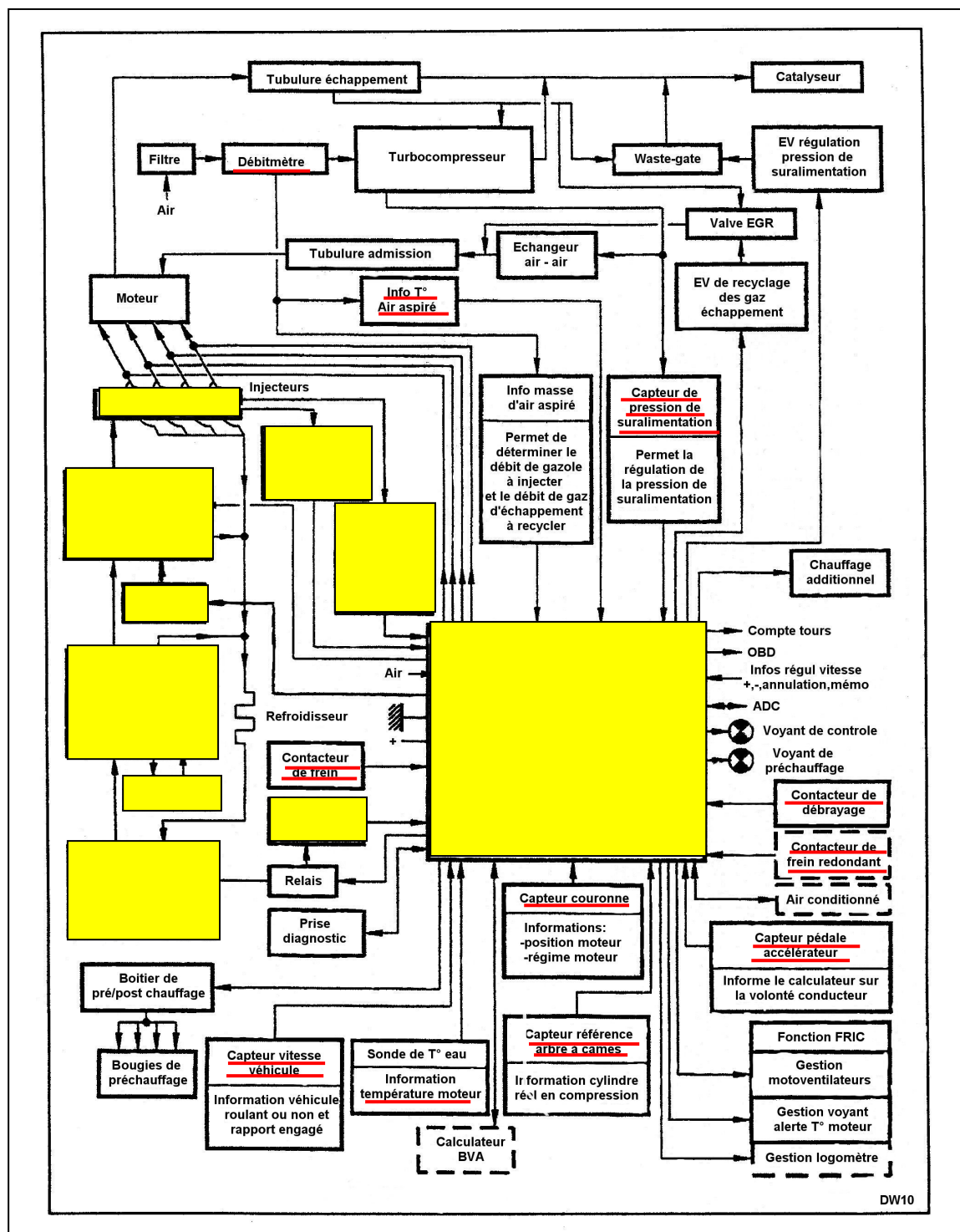
Ecart type : 3,3 points



4 SYSTEME D'ALIMENTATION DU MOTEUR DW10 : CORRECTION

4.1 ANALYSE FONCTIONNELLE

Question n°1



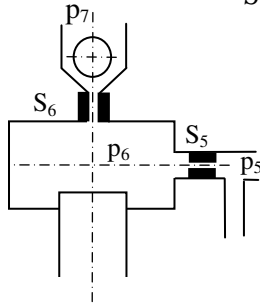
4.2 FONCTION : INJECTER DU GAZOLE

Question n°2 : Contraintes d'exploitations cf. identification en rouge

Question n°3 : Stocker le gazole (le réservoir), Alimenter la pompe haute pression (pompe de gavage), Produire et stocker du gazole à la haute pression (Rail et pompe HP)

Question n°4

Montrons que : $p_6 = p_5 \frac{S_5^2}{S_5^2 + S_6^2}$



Nous appliquons l'équation de débit entre les sections S_5 et S_6 et on remarque que ces débits sont égaux

$$q_v = K \cdot S_5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_5 - p_6)}{\rho}} = K \cdot S_6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_6 - p_7)}{\rho}} \cdot p_7 \quad \text{négligé}$$

$$S_5^2 \cdot (p_5 - p_6) = S_6^2 \cdot p_6 \Rightarrow S_5^2 \cdot p_5 = (S_6^2 + S_5^2) \cdot p_6$$

$$p_6 = p_5 \frac{S_5^2}{(S_6^2 + S_5^2)}$$

Question n°5

Calcul de p_6 et de q_{vf} :

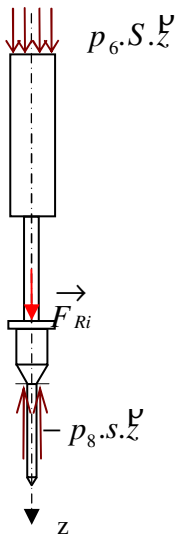
$$p_6 = 1250 \cdot \frac{(0,06)^2}{(0,06)^2 + (0,07)^2} = 529 \text{ bar}$$

$$q_{vf} = 0,8 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 529 \cdot 10^5}{825}} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ Soit } 20 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Question n°6

Montrons que l'injecteur est ouvert

Aiguille isolée, bilan des actions mécaniques en projection sur \vec{z}



Action du gazole contenu dans le volume de commande :

$$p_6 \cdot S_6 \cdot \vec{z} = 529 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot \frac{4,3^2}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \vec{z} = 768 \cdot \vec{z}$$

Action du ressort : $\vec{F}_{Ri} = 50 \cdot \vec{z}$

Action du gazole contenu dans la chambre où règne la pression p_8 :

$$-p_8 \cdot S_8 \cdot \vec{z} = -1250 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot \frac{(3,2^2 - 1^2)}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \vec{z} = -907 \cdot \vec{z}$$

Action du corps d'injecteur : $\vec{F}_{corps} = Z \cdot \vec{z}$

Aiguille en équilibre $\rightarrow 768 + 50 - 907 + Z = 0 \rightarrow Z = 89 \text{ N}$

$Z > 0$ nous indique que l'aiguille est en butée supérieure. C'est-à-dire qu'elle n'est plus en contact sur son siège, donc l'injecteur est ouvert.

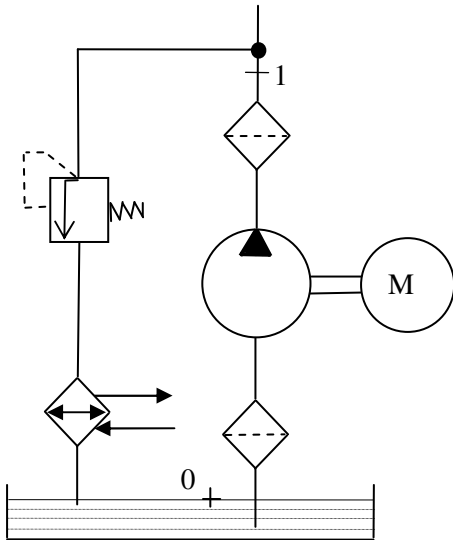
Question n°7

Recherche de l'expression du temps d'ouverture de l'injection t_{inj} . La masse de gazole injectée m_{inj}

est égale à : $m_{inj} = \int_0^{t_{inj}} q_m \cdot dt$. Si le débit massique q_m est constant : $m_{inj} = q_m \cdot \int_0^{t_{inj}} dt = q_m \cdot t_{inj} = \rho \cdot q_v \cdot t_{inj}$

$$\text{avec } q_v = K \cdot S_{inj} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_8 - p_9)}{\rho}} \Rightarrow m_{inj} = K \cdot S_{inj} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_8 - p_9)} \cdot t_{inj} \Rightarrow t_{inj} = \frac{m_{inj}}{K \cdot S_{inj} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_8 - p_9)}} \text{ Cqfd.}$$

4.3 FONCTION : ALIMENTER LA POMPE HAUTE PRESSION



Question°8

Travail massique fourni par la pompe au fluide

$$P_{\text{élect}} \cdot \eta_v \cdot \eta_m = w_{0 \rightarrow 1} \cdot q_m = w_{0 \rightarrow 1} \cdot \rho \cdot q_v \text{ donc}$$

$$w_{0 \rightarrow 1} = P_{\text{élect}} \cdot \eta_v \cdot \eta_m / \rho \cdot q_v$$

$$w_{0 \rightarrow 1} = 32.0,8.0,6.3600 / (150.10^{-3} \cdot 840) = 439 \text{ J/kg}$$

Question°9

Vitesse d'écoulement du gazole

$$q_v = S \cdot V ; V = q_v / S = 150.10^{-3} \cdot 4 / (3600 \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 10^{-6})$$

$$V = 0,83 \text{ m.s}^{-1}$$

Question°10

$$\text{Nombre de Reynolds } R = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} = \frac{840 \cdot 0,83 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 744$$

$R < 2300$ l'écoulement est laminaire.

Question n°11

Perte de charge linéaire dans la conduite : $J_{l,0 \rightarrow 1} = \lambda \cdot \frac{V^2 \cdot L}{2 \cdot d}$

$$\text{Ici } R = 744 < 2300 \text{ donc } \lambda = \frac{64}{R} \text{ et } J_{l,0 \rightarrow 1} = \frac{64 \cdot V^2 \cdot L}{R \cdot 2 \cdot d} = \frac{64 \cdot 0,83^2 \cdot 3,2}{744 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 11,89 \text{ J/kg, soit } J_{l,0 \rightarrow 1} = 12 \text{ J/kg}$$

Question n°12

Pertes de charge linéaires et singulières $J_{0 \rightarrow 1} = J_{l,0 \rightarrow 1} + J_{s,0 \rightarrow 1}$

$$J_{l,0 \rightarrow 1} = 12 \text{ J/kg} ; J_{s,0 \rightarrow 1} = \frac{30000 + 80000}{840} = 131 \text{ J/kg et } J_{0 \rightarrow 1} = 12 + 131 = 143 \text{ J/kg}$$

Question n°13

Calcul de $p_1 - p_0$. On applique l'équation de Bernoulli entre les points 0 et 1 de l'écoulement :

$$\frac{p_1 - p_0}{\rho} + \frac{V_1^2 - V_0^2}{2} + g \cdot (z_1 - z_0) + J_{l,0 \rightarrow 1} = w_{0 \rightarrow 1} \cdot \text{Ici } V_0 = 0, (z_1 - z_0) \text{ est négligé donc}$$

$$\frac{p_1 - p_0}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + J_{l,0 \rightarrow 1} = w_{0 \rightarrow 1} \Rightarrow p_1 - p_0 = \rho \cdot \left(w_{0 \rightarrow 1} - \frac{V_1^2}{2} - J_{l,0 \rightarrow 1} \right) = 840 \cdot \left(440 - \frac{0,83^2}{2} - 143 \right) = 249190 \text{ Pa}$$

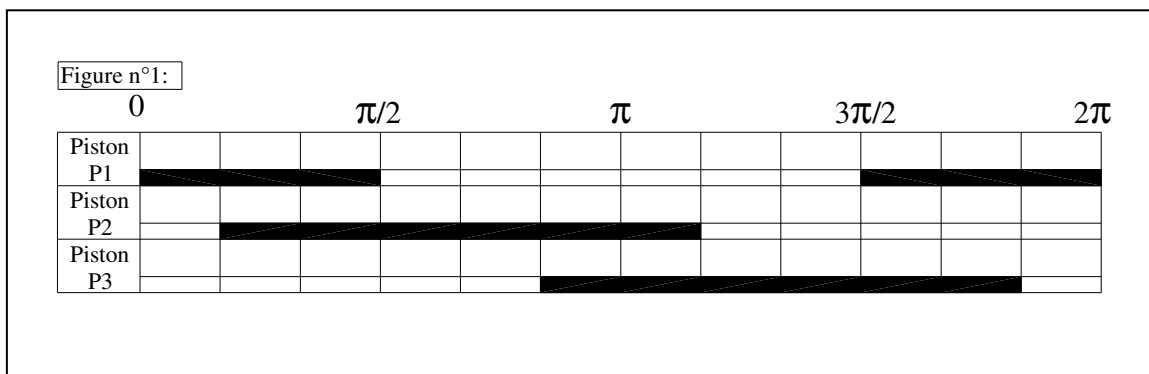
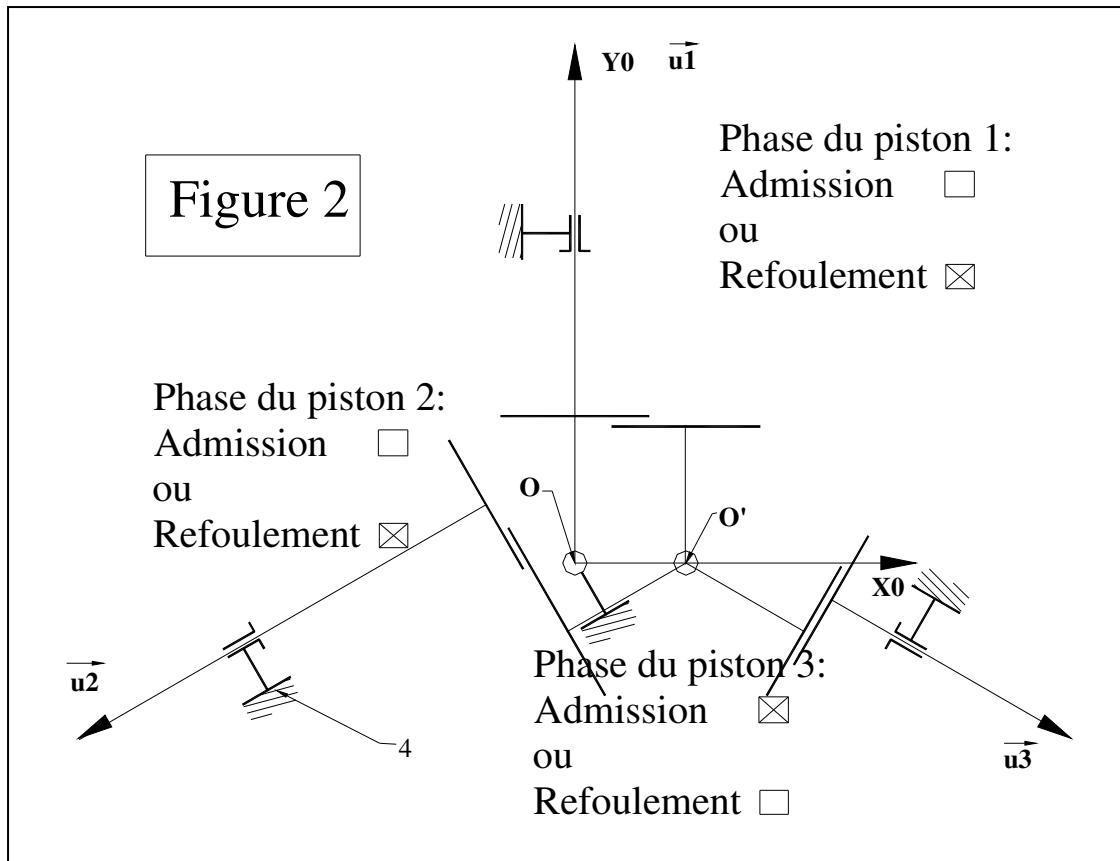
Soit 2,5 Bar.

4.4 FONCTION : FOURNIR DU GAZOLE SOUS PRESSION

Analyse du fonctionnement de la pompe

Question n°14 Voir document réponse DR 2

Question n°15 Voir document réponse DR 3



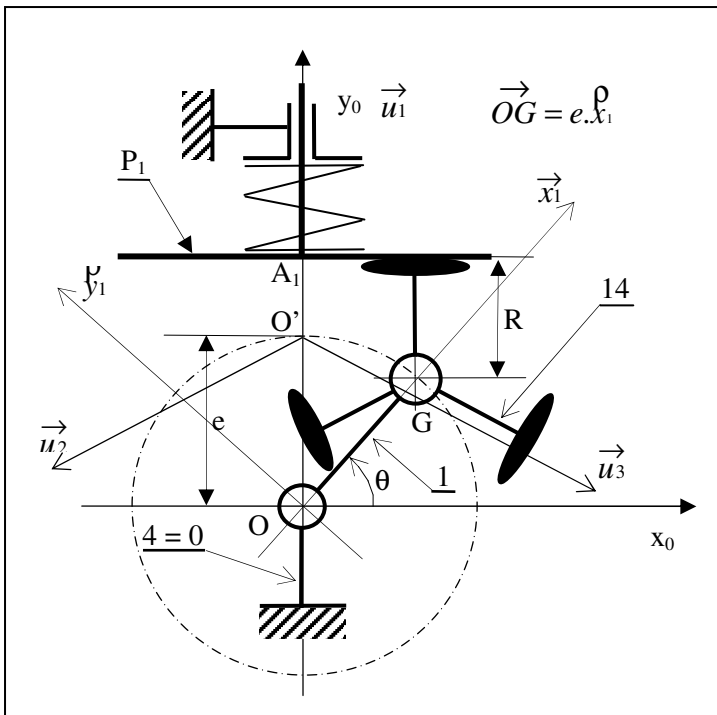
Débit instantané

Question n°16

Recherche de la position r_1 du piston P_1 : $\vec{O'A_1} = r_1 \cdot \vec{u}_1$

$$\vec{O'A_1} = \vec{O'O} + \vec{OG} + \vec{GA_1} = -e \cdot \vec{u}_1 + e \cdot \vec{x}_0 + R \vec{u}_1 = -e \cdot \vec{u}_1 + e \cdot \cos \theta \cdot \vec{x}_0 + e \cdot \sin \theta \cdot \vec{u}_1 + R \vec{u}_1 - e \cdot \cos \theta \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{O'A_1} = -e \cdot \vec{u}_1 + e \cdot \sin \theta \cdot \vec{u}_1 + R \vec{u}_1 = [e \cdot (\sin \theta - 1) + R] \cdot \vec{u}_1 = r_1 \cdot \vec{u}_1 \Rightarrow r_1 = e \cdot (\sin \theta - 1) + R$$



Débit volumique instantané qv_1 de P_1

$$qv_1 = S \cdot r'_1$$

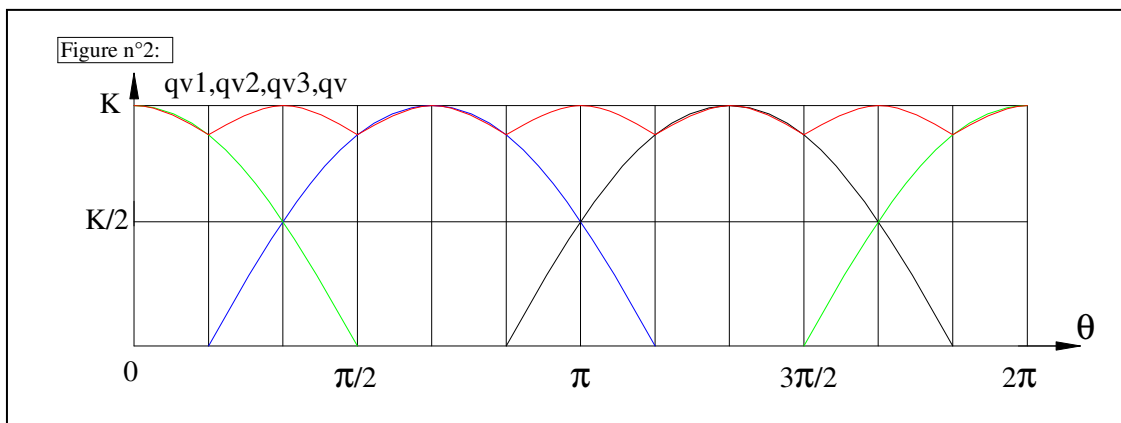
Comme $r_1 = e \cdot (\sin \theta - 1) + R$

$$r'_1 = \frac{dr_1}{dt} = e \cdot \theta' \cdot \cos \theta$$

$$qv_1 = S \cdot e \cdot \theta' \cdot \cos \theta. \text{ Or } K = S \cdot e \cdot \theta'$$

$$\text{donc } qv_1 = K \cdot \cos \theta \text{ pour } -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}.$$

Question n° 17



$$Q_{\text{moyen}} = \text{Cylindrée} \cdot N \text{ avec Cylindrée} = \frac{\pi d^2 \cdot 2e \cdot 3}{4}$$

$$\text{AN : } Q_{\text{moyen}} = 0.9 \text{ l/min}$$

Le rail joue le rôle d'accumulateur, un débit de la pompe supérieur à 360cm³/min permettra de compenser les irrégularités de débit.

$$\text{Irrégularité } \frac{Q_{\text{maxi}} - Q_{\text{mini}}}{Q_{\text{moyen}}} = 13\% =$$

Etude dynamique de la bague à méplats 14

Question n° 19

Vitesse du point G dans le mouvement de 14 par rapport à Ro : $\vec{v}_{G,14/Ro} = e \cdot \theta' \cdot \vec{y}_1 = e \cdot \omega \cdot \vec{y}_1$

Question n° 20

Accélération du point G dans le mouvement de 14 par rapport à Ro : $\vec{a}_{G,14/Ro} = e \cdot \omega' \cdot \vec{y}_1 - e \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}_1$

$$\text{Ici } \omega' = 0 \text{ donc } \vec{a}_{G,14/Ro} = -e \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}_1$$

Question n° 21

Torseur dynamique de 14 dans son mouvement par rapport à Ro : $\mathcal{D}_{14/Ro} = \begin{Bmatrix} m_{14} \cdot \ddot{a}_{G,14/Ro} \\ \delta_{G,14/Ro} \end{Bmatrix}_G$.

$$\delta_{G,14/Ro} = 0 \text{ car } \ddot{\Omega}_{14/Ro} = 0. \text{ Donc : } \mathcal{D}_{14/Ro} = \begin{Bmatrix} -m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot x_1 \\ 0 \end{Bmatrix}_G.$$

Donc l'axe central, des actions mécaniques du piston Pi (Pi au refoulement) sur la bague à méplats 14, passe par G.

Question n° 22

Recherche des actions mécaniques de 1 sur 14 en G

14 isolée, bilan des actions mécaniques

$$\text{Actions des pistons : } \mathcal{F}_{P1/14} = \begin{Bmatrix} -F_1 \cdot \ddot{u}_1 \\ 0 \end{Bmatrix}_G ; \mathcal{F}_{P2/14} = \begin{Bmatrix} -F_2 \cdot \ddot{u}_2 \\ 0 \end{Bmatrix}_G ; \mathcal{F}_{P3/14} = \begin{Bmatrix} -F_3 \cdot \ddot{u}_3 \\ 0 \end{Bmatrix}_G.$$

$$\text{Action de l'arbre excentrique : } \mathcal{F}_{1/14} = \begin{Bmatrix} X_G \cdot \ddot{x}_0 + Y_G \cdot \ddot{y}_0 \\ 0 \end{Bmatrix}_G.$$

Nous avons vu que le torseur dynamique de 14 dans son mouvement par rapport à Ro a pour

$$\text{expression : } \mathcal{D}_{14/Ro} = \begin{Bmatrix} -m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot x_1 \\ 0 \end{Bmatrix}_G.$$

Appliquons le principe fondamental en projection sur Ro.

$$\text{On remarque que : } \ddot{u}_1 = \ddot{y}_0 ; \quad \ddot{u}_2 = -\cos 30^\circ \cdot \ddot{x}_0 - \sin 30^\circ \cdot \ddot{y}_0 = -\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \ddot{x}_0 - \frac{1}{2} \cdot \ddot{y}_0 ;$$

$$\ddot{u}_3 = \cos 30^\circ \cdot \ddot{x}_0 - \sin 30^\circ \cdot \ddot{y}_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \ddot{x}_0 - \frac{1}{2} \cdot \ddot{y}_0 ; \quad \ddot{x}_1 = \cos \theta \cdot \ddot{x}_0 + \sin \theta \cdot \ddot{y}_0.$$

Il vient alors

$$X_G + \frac{\sqrt{3}}{2} F_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} F_3 = -m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos \theta \Rightarrow X_G = -m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos \theta + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (F_3 - F_2).$$

$$Y_G + \frac{F_2}{2} + \frac{F_3}{2} - F_1 = -m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \theta \Rightarrow Y_G = -m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \theta + F_1 - \frac{(F_3 + F_2)}{2}$$

Influence des effets dynamiques ei.

On se place dans le cas le plus défavorable soit $\cos \theta = \pm 1$, soit $\sin \theta = \pm 1$

$ei = m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 = 33 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2000}{30} \right)^2 = 4,3 \text{ N}$. Valeur équivalente à l'action d'un ressort R_i . En effet

$F_{Ri/Pi}$ maximale est égale à $F_{Ri/Pi \max} = 2 + 0,46 = 4,4 \text{ N}$. Mais ces intensités sont négligeables par rapport à l'action du gazole sur un piston $p \cdot S = 1350 \cdot 10^5 \cdot \frac{650 \cdot 10^{-6}}{3,6} = 4875 \text{ N}$.

Effort exercé par le gazole

Question n° 23 voir document réponse DR 3

Etude dynamique du piston Pi

Question n° 24

Accélération du point A1 dans le mouvement du piston P1 par rapport à Ro :

$$\vec{O'A_1} = [e.(\sin \theta - 1) + R] \vec{u_1} ; \vec{a}_{A_1, P_1 / R_o} = \frac{d \vec{O'A_1}}{dt^2} = (e.\theta'' . \cos \theta - e.\theta'^2 . \sin \theta) \vec{u_1}$$

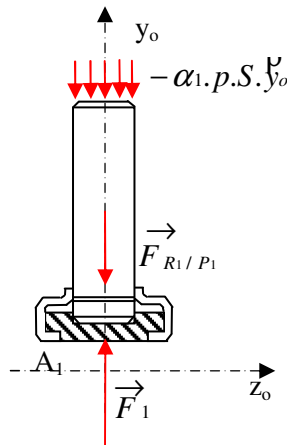
$$\text{Ici } \theta'' = 0 \text{ puisque } \theta' = \omega = \text{constante} \Rightarrow \vec{a}_{A_1, P_1 / R_o} = -e.\theta'^2 . \sin \theta \vec{u_1} = -e.\omega^2 . \sin \theta \vec{u_1}.$$

Question n° 25

$$\text{Expression de } \|\vec{F}_{R_1 / P_1}\| : \|\vec{F}_{R_1 / P_1}\| = F_o + k.\Delta y_{A_1} = F_o + k.e.(\sin \theta + 1)$$

Question n° 26

Recherche de F_1 expression de l'action de la bague à méplats 14 sur le piston P_1 .



Piston P_1 isolé, bilan des actions mécaniques

$$\text{Action du gazole sous pression } p : \mathcal{F}_{g/P_1} = \begin{Bmatrix} -\alpha_1.p.S.y_o \\ 0 \end{Bmatrix}_{A_1}$$

$$\text{Action du ressort } R_1 : \mathcal{F}_{R_1/P_1} = \begin{Bmatrix} -[F_o + K.e.(\sin \theta + 1)].y_o \\ 0 \end{Bmatrix}_{A_1}$$

$$\text{Action de la bague 14 : } \mathcal{F}_{14/P_1} = \begin{Bmatrix} F_1.y_o \\ M_{A_1, z_o} \end{Bmatrix}_{A_1}$$

$$\text{Action du cylindre : } \mathcal{F}_{13/P_1} = \begin{Bmatrix} X.x_o + Z.z_o \\ L.x_o + N.z_o \end{Bmatrix}_{A_1}$$

On applique le théorème de la résultante dynamique en projection sur Oy .

Le mouvement de P_1 par rapport à R_o est un mouvement de translation rectiligne donc

$$\vec{u}_{G_1, P_1 / R_o} = \vec{u}_{A_1, P_1 / R_o}, \text{ comme } \vec{u}_1 = \vec{y}_o \text{ nous avons } \vec{u}_{G_1, P_1 / R_o} = -e.\omega^2 . \sin \theta \vec{y}_o$$

$$-\alpha_1.p.S + F_1 - F_o - k.e.(\sin \theta + 1) = -m_{P_1}.e.\omega^2 . \sin \theta \Rightarrow F_1 = -m_{P_1}.e.\omega^2 . \sin \theta + \alpha_1.p.S + F_o + k.e.(\sin \theta + 1)$$

$$\Rightarrow F_1 = \alpha_1.p.S + F_o + k.e + e.(k - m_{P_1}.\omega^2) . \sin \theta.$$

Influence des effets dynamiques sur $F_1.Ei$

$$Ei = -m_{P_1}.e.\omega^2 . \sin \theta \text{ dans le cas le plus défavorable } \sin \theta = 1$$

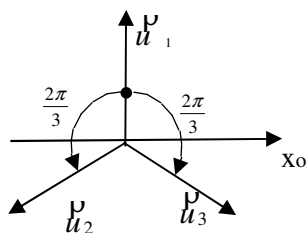
$$Ei = 8.10^{-3} . 3.10^{-3} . \left(\frac{\pi.2000}{30}\right)^2 = 1 \text{ N. Négligeable par rapport à l'action du gazole}$$

$$p.S = 1350.10^5 . \frac{650.10^{-6}}{3.6} = 4875 \text{ N.}$$

Question n°27

Expressions de F_2 et F_3 .

Elles sont déduites de l'expression de F_1 par rotations respectives de $-2.\pi/3$ et de $2.\pi/3$



$$\Rightarrow F_2 = \alpha_2.p.S + F_o + k.e + e.(k - m_{P_1}.\omega^2) . \sin\left(\theta - \frac{2.\pi}{3}\right).$$

$$\Rightarrow F_3 = \alpha_3.p.S + F_o + k.e + e.(k - m_{P_1}.\omega^2) . \sin\left(\theta + \frac{2.\pi}{3}\right).$$

Si on ne néglige pas les effets dynamiques et les actions des ressorts de rappel.

Par contre si on les néglige : $\Rightarrow F_2 = \alpha_2.p.S$ et $F_3 = \alpha_3.p.S$

Actions mécaniques appliquées sur la bague 14

Question n°28

Expression de X_G

$$X_G = -m_{14}.e.\omega^2.\cos\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}.(F_3 - F_2).$$

$$X_G = -m_{14}.e.\omega^2.\cos\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}\left[p.S.(\alpha_3 - \alpha_2) + e.(k - m_p.\omega^2).\left(\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) - \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right)\right)\right]$$

$$X_G = -m_{14}.e.\omega^2.\cos\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}\left[p.S.(\alpha_3 - \alpha_2) + e.(k - m_p.\omega^2).\cos\theta\right]$$

$$X_G = -m_{14}.e.\omega^2.\cos\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}\left[p.S.(\alpha_3 - \alpha_2) + e.(k - m_p.\omega^2).\cos\theta\right]$$

$$X_G = \cos\theta\left(\frac{\sqrt{3}}{2}.e.(k - m_p.\omega^2) - m_{14}.e.\omega^2\right) + \frac{\sqrt{3}}{2}.p.S.(\alpha_3 - \alpha_2)$$

Si on néglige les effets dynamiques ainsi que les actions des ressorts alors : $X_G = \frac{\sqrt{3}}{2}.p.S.(\alpha_3 - \alpha_2)$

Expression de Y_G

$$Y_G = -m_{14}.e.\omega^2.\sin\theta + F_1 - \frac{(F_3 + F_2)}{2}$$

$$Y_G = -m_{14}.e.\omega^2.\sin\theta + p.S.(\alpha_1 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}) + e.(k - m_p.\omega^2)\left(\sin\theta - \frac{\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) + \sin(\theta - \frac{2\pi}{3})}{2}\right)$$

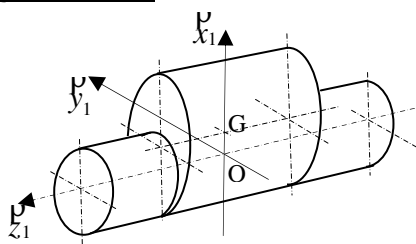
$$Y_G = -m_{14}.e.\omega^2.\sin\theta + p.S.(\alpha_1 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}) + e.(k - m_p.\omega^2).(1 - \sqrt{3})\sin\theta$$

$$Y_G = \sin\theta\left[e.(k - m_p.\omega^2).(1 - \sqrt{3}) - m_{14}.e.\omega^2\right] + p.S.(\alpha_1 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2})$$

Si on néglige les effets dynamiques ainsi que les actions des ressorts alors : $Y_G = p.S.(\alpha_1 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2})$

Influence des effets dynamiques sur l'arbre 1.

Question n°29



Moment cinétique en O de l'arbre excentrique 1 dans son mouvement par rapport à Ro

$$\mathcal{P}_{O,1/O} = [I]_{O,1} \cdot \Omega_{1/O} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & -D \\ 0 & -D & C \end{bmatrix}_{R1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix}_{R1} = \begin{pmatrix} 0 \\ -D.\omega \\ C.\omega \end{pmatrix}_{R1}$$

Calcul du moment dynamique en O de l'arbre excentrique 1 dans son mouvement par rapport à Ro.

$$\dot{\mathcal{P}}_{O,1/O} = \frac{d(\mathcal{P}_{O,1/O})}{dt} = -D.\omega'.\dot{y}_1 - D.\omega.\frac{u}{dt}y_1 + C.\omega'.\dot{z}_1. \text{ Avec } \frac{u}{dt}y_1 = \omega.\dot{z}_1 \wedge \dot{y}_1 = -\omega.\dot{x}_1.$$

$$\text{Donc : } \dot{\mathcal{P}}_{O,1/O} = -D.\omega'.\dot{y}_1 + D.\omega^2.\dot{x}_1 + C.\omega'.\dot{z}_1.$$

Si ω est constante alors $\omega' = 0$ et $\dot{\mathcal{P}}_{O,1/O} = D.\omega^2.\dot{x}_1.$

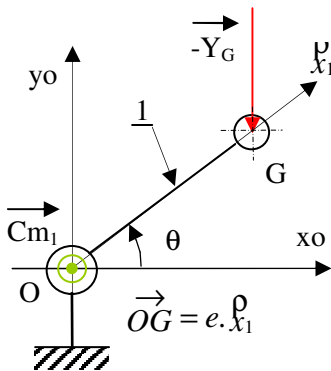
Les effets dynamiques sur l'arbre 1 se traduisent par des actions mécaniques qui doivent être équilibrée par les paliers. Composantes de moments autour de l'axe \dot{y}_1 ($-D.\omega'.\dot{y}_1$) et autour de

l'axe \dot{x}_1 ($D.\omega^2.\dot{x}_1 = 5,6.10^{-6}\left(\frac{\pi.2000}{30}\right)^2.\dot{x}_1 = 0,246.\dot{x}_1$ en Nm. Valeur négligeable

Puissance absorbée par la pompe

Question n°30

Expression de Cm_1



On applique à l'arbre excentrique 1 le théorème du moment dynamique en projection sur oz .

$$Cm_1 + (m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \theta - \alpha_1 \cdot p \cdot S) \cdot e \cdot \cos \theta = C \cdot \omega'$$

$$Cm_1 = (\alpha_1 \cdot p \cdot S - m_{14} \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \theta) \cdot e \cdot \cos \theta + C \cdot \omega'$$

La vitesse de rotation ω de 1/Ro est constante donc $\omega' = 0$ de plus nous avons vu que les effet dynamiques sur 14 sont négligeables donc :

$$Cm_1 = \alpha_1 \cdot p \cdot S \cdot e \cdot \cos \theta.$$

Puissance motrice correspondante Pm_1 : $Pm_1 = \alpha_1 \cdot p \cdot S \cdot e \cdot \omega \cdot \cos \theta$. On pose $K' = p \cdot S \cdot e \cdot \omega$, il vient alors $Pm_1 = \alpha_1 \cdot K' \cdot \cos \theta$.

Voir sur le document DR3 l'allure de Pm_1 .

Question n°31

Expression de Cm_2 et de Cm_3 :

$$Cm_2 = \alpha_2 \cdot p \cdot S \cdot e \cdot \cos(\theta - 2\pi/3),$$

$$Cm_3 = \alpha_3 \cdot p \cdot S \cdot e \cdot \cos(\theta + 2\pi/3).$$

Puissances motrices correspondantes Pm_2 et Pm_3 :

$$Pm_2 = \alpha_2 \cdot K' \cdot \cos(\theta - 2\pi/3),$$

$$Pm_3 = \alpha_3 \cdot K' \cdot \cos(\theta + 2\pi/3).$$

Voir sur le document DR3 l'allure des courbes représentant les puissances Pm_2 et Pm_3

Question n°32

Voir sur le document DR3 l'allure de la courbe représentant la puissance motrice P nécessaire au fonctionnement

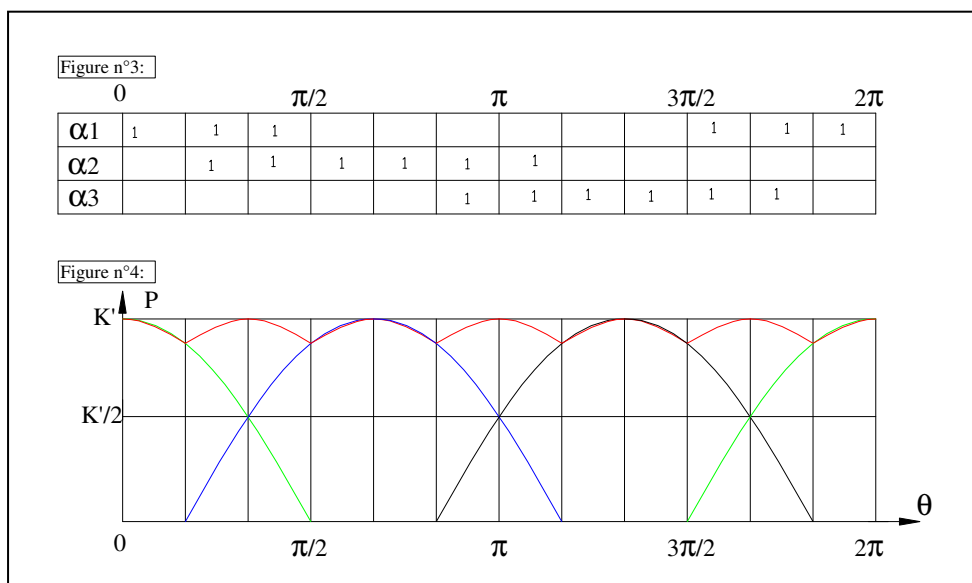
$$\text{Calcul de } P_{\max i} : P_{\max i} = 1350 \cdot 10^5 \cdot \frac{650}{2.3} \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\pi \cdot 2000}{30} = 3063 \text{ w soit } 3,1 \text{ kw}$$

$$\text{Calcul de } P_{\min i} : P_{\min i} = 3063 \cdot \cos \pi/6 = 2653 \text{ W soit } 2,65 \text{ kw.}$$

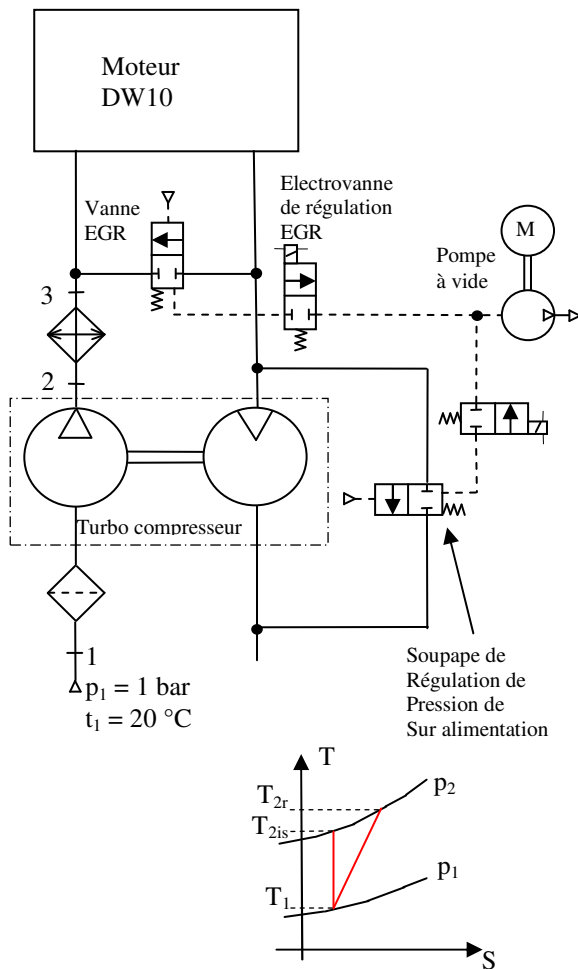
Conclusion : $P_{\max i} < 3.5 \text{ kW}$.

$$P_{\text{moyen}} = \Delta p \cdot q_v = 1350 \cdot 10^5 \cdot 650 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 / 60 = 2925 \text{ w soit } 2,9 \text{ kw.}$$

DR3



4.5 ETUDE DU CIRCUIT D'ALIMENTATION EN AIR.



ETAT DE L'AIR A L'ADMISSION

Question 33.

Calcul de la température réelle de l'air à la sortie du compresseur T_{2r}

$$\frac{T_{2is}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_{2is} = 293.1,93^{\frac{0,4}{1,4}} = 353,5 \text{ K}$$

$$\eta_{IS,c} = \frac{T_{2is} - T_1}{T_{2r} - T_1} \Rightarrow T_{2r} = T_1 + \frac{T_{2is} - T_1}{\eta_{IS,c}}$$

$$T_{2r} = 293 + \frac{353,5 - 293}{0,8} = 369 \text{ K}$$

Calcul de T_3 : $T_3 = 369 - 30 = 339 \text{ K}$

Calcul de ρ_3 :

$$\rho_3 = \frac{p_3}{r \cdot T_3} = \frac{1,93 \cdot 10^5}{287 \cdot 339} = 1,984 \text{ kg/m}^3$$

MASSE DE GAZOLE A INJECTER PAR CYCLE ET PAR CYLINDRE

Question n° 34.

Recherche de V_3 , RFA = 23°.

On lit sur le document DR4 $V_3 = 506 \text{ cm}^3$.

Question n° 35

Masse d'air contenue dans le cylindre en début de compression

$$m_{air} = \rho_3 \cdot V_3 = 1,984 \cdot 506 \cdot 10^{-6} = 1004 \cdot 10^{-6} \text{ kg soit } m_{air} = 1,004 \cdot 10^{-3} \text{ kg. Soit } m_{air} = 1 \text{ g}$$

Question n° 36

$$\text{Masse de gazole à injecter } m_g : R_i = \frac{m_g}{d_s} \Rightarrow m_g = R_i \cdot d_s \cdot m_{air} = \frac{0,7}{15} = 0,0467 \text{ g}$$

$$\text{Volume de gazole à injecter } V_g : V_g = m_g / \rho_g = 4,67 \cdot 10^{-5} / 825 = 5,656 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3. \text{ Soit } 56,56 \text{ mm}^3.$$

TEMPS D'INJECTION Question n° 37.

Recherche de V_9 , A I = 16°. On lit sur le document DR4 $V_9 = 41 \text{ cm}^3$.

Pression p_9 de l'air en fin de compression. L'évolution 3→9 est assimilée à une transformation

$$\text{adiabatique} \Rightarrow p_3 \cdot V_3^\gamma = p_9 \cdot V_9^\gamma \Rightarrow p_9 = p_3 \left(\frac{V_3}{V_9} \right)^\gamma = 1,93 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{506}{41} \right)^{1,4} = 65 \cdot 10^5 \text{ Pa. Soit } 65 \text{ bar}$$

Question n° 38.

Temps d'ouverture de l'injecteur t_{inj}

$$t_{inj} = \frac{m_{inj}}{K \cdot S_{inj} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_8 - p_9)}} = \frac{0,0466 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{0,8 \cdot \pi \cdot 6,015^2 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{2 \cdot 825 \cdot (1250 - 73) \cdot 10^5}} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ s. Soit } 1,25 \text{ ms}$$

Question n° 39.

Temps d'alimentation de l'électrovanne T_i : $T_i = t_{inj} + t_r - t_f = 1,25 + 0,3 - 0,7 = 0,87 \text{ ms}$

4.6 VALIDATION DES MODELES RETENUS

VALIDATION DE LA POMPE

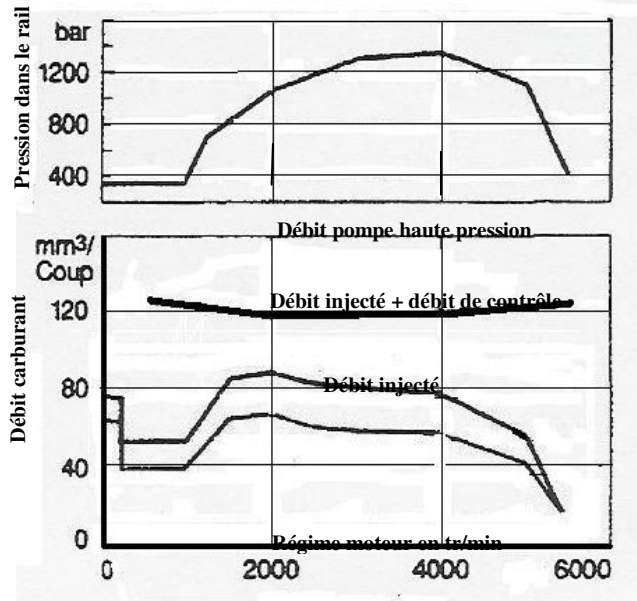


Figure 11 : Débit carburant et pression dans le rail

Question n°40

On relève sur la figure 11 un débit de pompe, pour une pression de 1350 bar et à un régime moteur de 4000 tr/min, de 120 mm³ par coup.

La pompe a une cylindrée de 650 mm³, son régime est égal à la moitié de celui du moteur. Le moteur est à 4 temps et à 4 cylindres. Il y a donc une injection tous les demis tour moteur soit tous les quarts de tour de la pompe. Donc théoriquement le volume refoulé par la pompe par coup devrait être de :

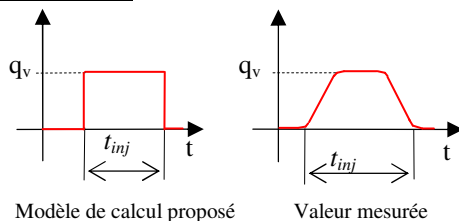
$$650/4 = 162 \text{ mm}^3.$$

La différence entre le volume mesuré et le volume calculé correspond aux pertes dues aux fuites internes. A ce niveau de pression l'étanchéité ne peut être que directe et les fuites internes sont nécessaires à la lubrification.

Le rendement volumique de la pompe peut

être estimé à : $\eta_v = \frac{120}{162} = 0,75$

Question n° 41



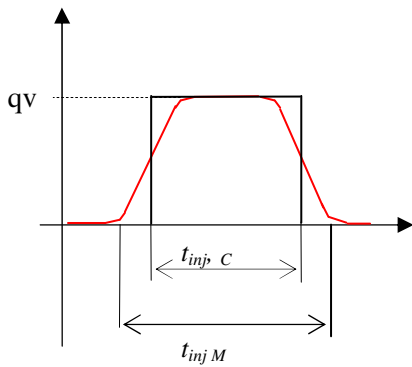
Le modèle de calcul utilisé pour déterminer le temps d'ouverture de l'injecteur est une levée d'aiguille suivant la fonction échelon. Ce modèle ne correspond pas au comportement défini par la courbe relevée. Cette dernière traduit une réponse en forme de rampe et non suivant un front.

4.7 VALIDATION DU MODELE THERMODYNAMIQUE DU MOTEUR DW10

Question n° 42

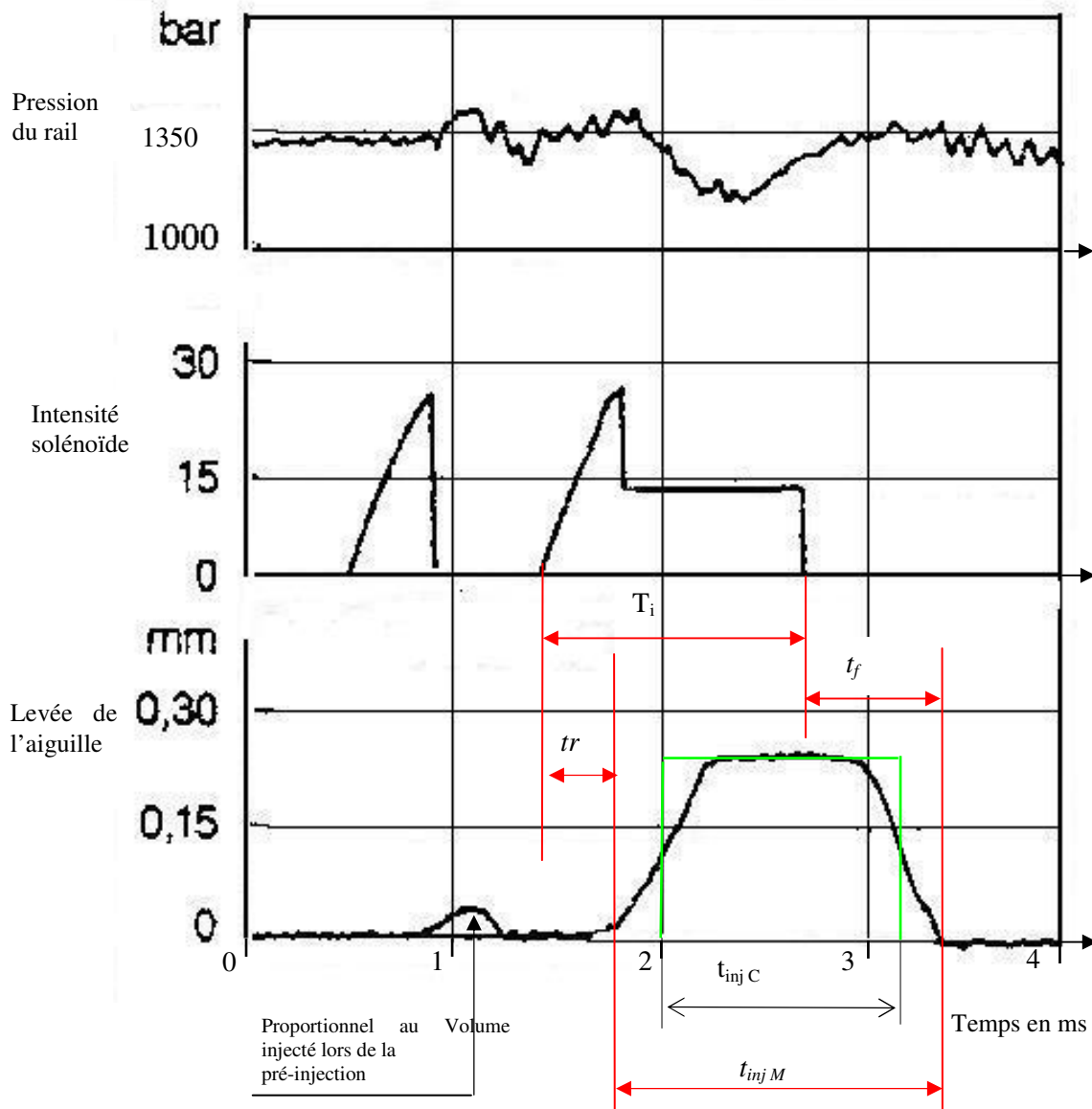
Sur la figure 12 on constate que la surface, comprise entre la courbe, représentant la levée de l'aiguille, et l'axe des temps, est négligeable au niveau de la pré-injection par rapport à celle correspondant à l'injection principale. Ces surfaces sont proportionnelles aux masses de carburant injectées. On peut donc justifier l'hypothèse, faite lors de l'étude précédente, de négliger la masse de gazole injectée durant la phase de pré-injection.

Question n° 43



Si on compare le volume de gazole injecté, par coup mesuré (figure 11), $V_{inj\ M} = 56,4\text{ mm}^3$, à celui calculé $V_g = 56,56\text{ mm}^3$, nous constatons que ces deux valeurs sont très proches. Par contre le temps d'ouverture calculé $t_{inj\ C} = 1,25\text{ ms}$ est plus faible que celui mesuré $t_{inj\ M} = 1,6\text{ ms}$.

Pour tenir compte de la réponse de levée d'aiguille suivant une rampe et non suivant un échelon, le calculateur augmente le temps d'injection. Le volume injecté correspond ainsi à celui qui est nécessaire.



DR 4

Volume V occupé par les gaz en fonction de l'angle de rotation Θ du vilebrequin.

