

# CAPET SESSION 2005

## Section : GENIE MECANIQUE

**Option : MAINTENANCE**

<b>SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES</b>
---

DURÉE : 6 HEURES

\_\_\_\_\_

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISÉ

*Le matériel autorisé comprend 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, conformément à la circulaire n°99-181 du 16 novembre 1999.*

*En aucune façon, la calculatrice ne pourra posséder de données scientifiques et techniques propres au génie mécanique.*

<b>SYSTEME D'ALIMENTATION DU MOTEUR DW10 (COMMON RAIL et EGR)</b>
---

**COMPOSITION DU SUJET :**

- UN DOSSIER « TEXTE DU SUJET » DE 18 PAGES NUMÉROTÉES DE 1 A 18
- UN DOSSIER « DOSSIER TECHNIQUE » DE 4 PAGES NUMÉROTÉES DE DT1 À DT4
- UN DOSSIER « DOSSIER RÉPONSE » DE 4 PAGES NUMÉROTÉES DE DR1 A DR4

**CONSEILS AUX CANDIDATS :**

- Une lecture préalable complète du sujet est fortement recommandée.
- Les différentes parties de l'étude sont indépendantes, certaines questions peuvent être traitées séparément.

# SOMMAIRE DU SUJET

1	AVANT PROPOS .....	3
2	L'INJECTION DIRECTE COMMON RAIL .....	3
2.1	Principe.....	4
2.2	Description de la partie hydraulique (cf. figures 2 et 3).....	4
2.3	Analyse fonctionnelle du système d'injection directe common rail selon le modèle SADT .....	6
2.4	Etude de la fonction : injecter du gazole à haute pression.....	8
2.5	Etude de la fonction : alimenter la pompe haute pression .....	9
2.5.1	Travail massique de transvasement fourni par la pompe au gazole.....	9
2.5.2	Estimation des pertes de charge linéaires. ....	9
2.6	Etude de la fonction : fournir du gazole sous haute pression .....	10
2.6.1	Paramétrage et modélisation.....	10
2.6.2	Analyse du fonctionnement de la pompe.....	11
2.6.3	Détermination du débit instantané .....	11
2.6.4	Détermination de la puissance absorbée par la pompe .....	12
2.6.4.1	Convention d'écriture et hypothèses d'étude .....	12
2.6.4.2	Etude dynamique de la bague à méplats 14.....	12
2.6.4.3	Etude dynamique des pistons $P_1$ .....	13
2.6.4.4	Puissance absorbée par la pompe .....	14
3	ETUDE DU CIRCUIT D'ALIMENTATION EN AIR.....	16
3.1	Etat de l'air à l'admission .....	17
3.2	Masse de gazole à injecter par cylindre et par cycle .....	17
3.3	Temps d'injection.....	17
4	VALIDATION PAR UNE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES MODÈLES RETENUS .....	18
4.1	Validation du modèle cinématique de la pompe.....	18
4.2	Validation du comportement dynamique de l'injecteur .....	18
4.3	Validation du modèle thermodynamique du moteur DW10.....	18

## 1 SYSTEME D'ALIMENTATION DU MOTEUR DW10 (COMMON RAIL ET EGR) AVANT PROPOS

Les exigences en matière d'augmentation des performances et de réduction du bruit, de la pollution et de la consommation demandée aujourd'hui aux moteurs DIESEL ont conduit à rechercher des solutions dans l'injection directe et le recyclage des gaz brûlés

Ces objectifs sont atteints à l'aide des systèmes suivants :

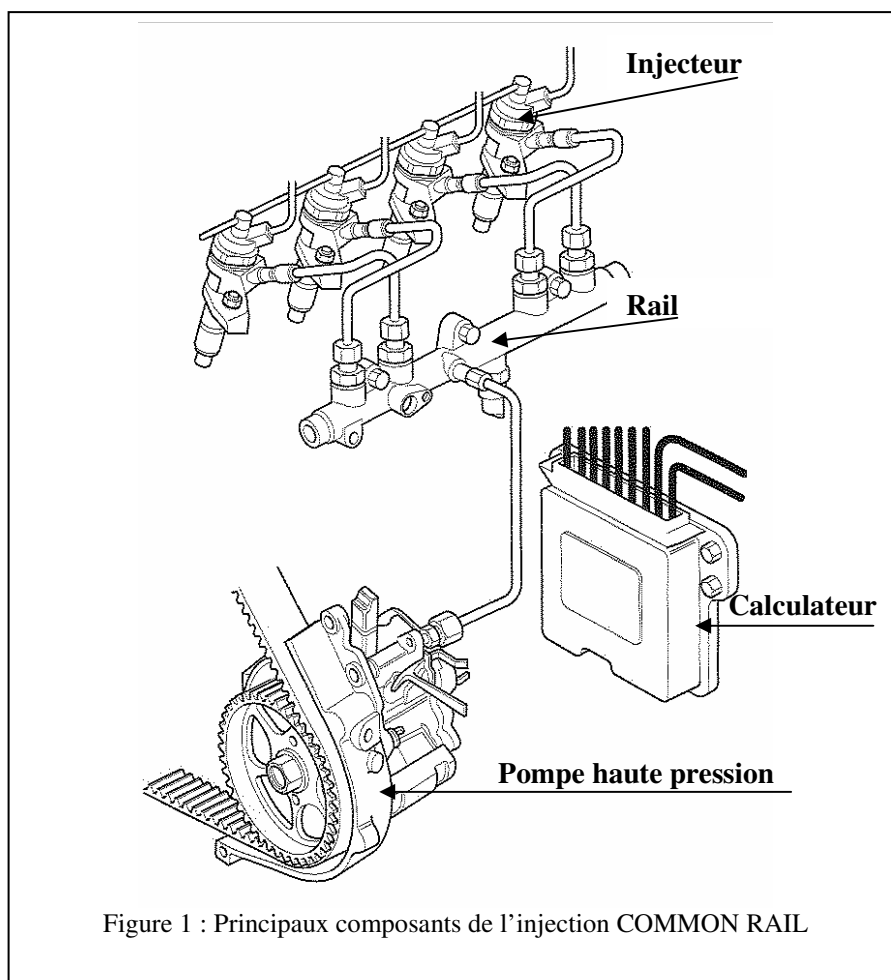
Le système de gestion de l'injection appelé «**Common Rail**», dont le principe rappelle celui de l'injection séquentielle des moteurs à essence, mais qui utilise la très haute pression commandée électroniquement.

Ce système apporte une diminution de la consommation par rapport aux réalisations précédentes, tout en améliorant l'agrément de conduite grâce à une augmentation du couple et une réduction significative des vibrations et des bruits.

Le **système EGR**. (Exhausted Gas Recirculation, recirculation des gaz brûlés) permet de limiter la quantité d'air frais admise en y mélangeant une fraction des gaz brûlés prélevés à l'échappement : la concentration de NOx rejetés dans l'atmosphère s'en trouve diminuée car la température de combustion est modifiée.

En effet l'émission des particules toxiques NOx est augmentée sur les moteurs Diesel quand ceux-ci fonctionnent à faible charge, c'est à dire avec excès d'air.

## 2 L'INJECTION DIRECTE COMMON RAIL



## 2.1 PRINCIPE

Sur ce système, la génération de la haute pression et la commande du débit d'injection sont deux fonctions indépendantes l'une de l'autre.

Une pompe haute pression (cf. figure 1), entraînée par le moteur, alimente en permanence une réserve de gazole sous haute pression : le "Rail" ou rampe d'alimentation.

La rampe est reliée par des tubes à tous les injecteurs.

L'ouverture de chaque injecteur est commandée par une électrovanne 2/2 intégrée.

Un calculateur gère en fonction des paramètres du moteur :

- la pression dans la rampe,
- le débit de la pompe,
- le temps d'ouverture et le phasage (avance injection) de chaque injecteur.

Le système «Common Rail» permet, pour chaque injecteur, plusieurs injections sur un cycle moteur :

- une injection pilote ou pré-injection,
- une injection principale,
- une post-injection.

La pré-injection préconditionne la chambre de combustion pour l'injection principale en ce qui concerne la pression et la température. Les conséquences de la pré-injection sont un délai d'inflammation raccourci pour l'injection principale, une réduction de la pointe de pression à la combustion (niveau sonore réduit) et une combustion optimale.

L'injection principale doit permettre le développement d'un couple moteur élevé, une faible consommation de carburant, de faibles émissions polluantes et un faible niveau de bruit.

La post-injection assure la réduction des NOx et l'injection d'une quantité définie de carburant pendant l'échappement.

## 2.2 DESCRIPTION DE LA PARTIE HYDRAULIQUE (cf. figures 2 et 3)

### La pompe de gavage (3)

Elle est intégrée au module de puisage placé dans le réservoir, elle aspire au travers d'un préfiltre (seuil de filtration de 300 µm).

Son débit volumique est de 150 litres/heure sous une pression maxi de 2,5 bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa).

### Le filtre principal (4)

Il participe activement à la protection du système (seuil de filtration : 5 µm et décantation de l'eau). Il est muni, à son entrée d'un élément thermostatique qui dérive, à froid, une fraction du carburant provenant de la pompe de gavage vers le réchauffeur et à sa sortie d'un limiteur de pression taré à 2,5 bar.

### Le réchauffeur de gazole (5)

Il réchauffe la fraction de gazole que l'élément thermostatique du filtre laisse circuler.

### Le refroidisseur de gazole (6)

Les pertes de charge dans les différents circuits hydrauliques provoquent un fort échauffement du carburant, ce qui influe sur sa viscosité.

### La pompe haute pression (7) (cf. figure 3)

La pompe haute pression est entraînée par la courroie de distribution avec un rapport de transmission  $r_p$ .

Soit :  $r_p = \frac{N_{pompe}}{N_{vilebrequin}} = 0,5$ .

Elle possède trois pistons radiaux. La haute pression de service varie entre 200 et 1350 bar. La puissance maximale absorbée pour entraîner la pompe est de 4,5 kW.

## Nomenclature

- 1 - Calculateur de contrôle moteur.
- 2 - Préfiltre.
- 3 - Pompe de gavage basse pression.
- 4 - Filtre principal avec décanteur d'eau.
- 5 - Réchauffeur.
- 6 - Refroidisseur.
- 7 - Pompe haute pression à trois pistons radiaux.
- 8 - Commande de désactivation du troisième piston.
- 9 - Régulateur de pression.
- 10 - Rampe d'alimentation (ou Rail).
- 11 - Capteur de pression.
- 12 - Capteur de température gazole.
- 13 - Injecteurs à commande électrique.
- 14 - Capteur de position de pédale d'accélérateur.
- 15 - Capteur de régime.
- 16 - Capteur de référence cylindre.
- 17 - Informations provenant de différents capteurs.
- 18 - Commande des actionneurs, systèmes annexes et interfaces avec d'autres systèmes.

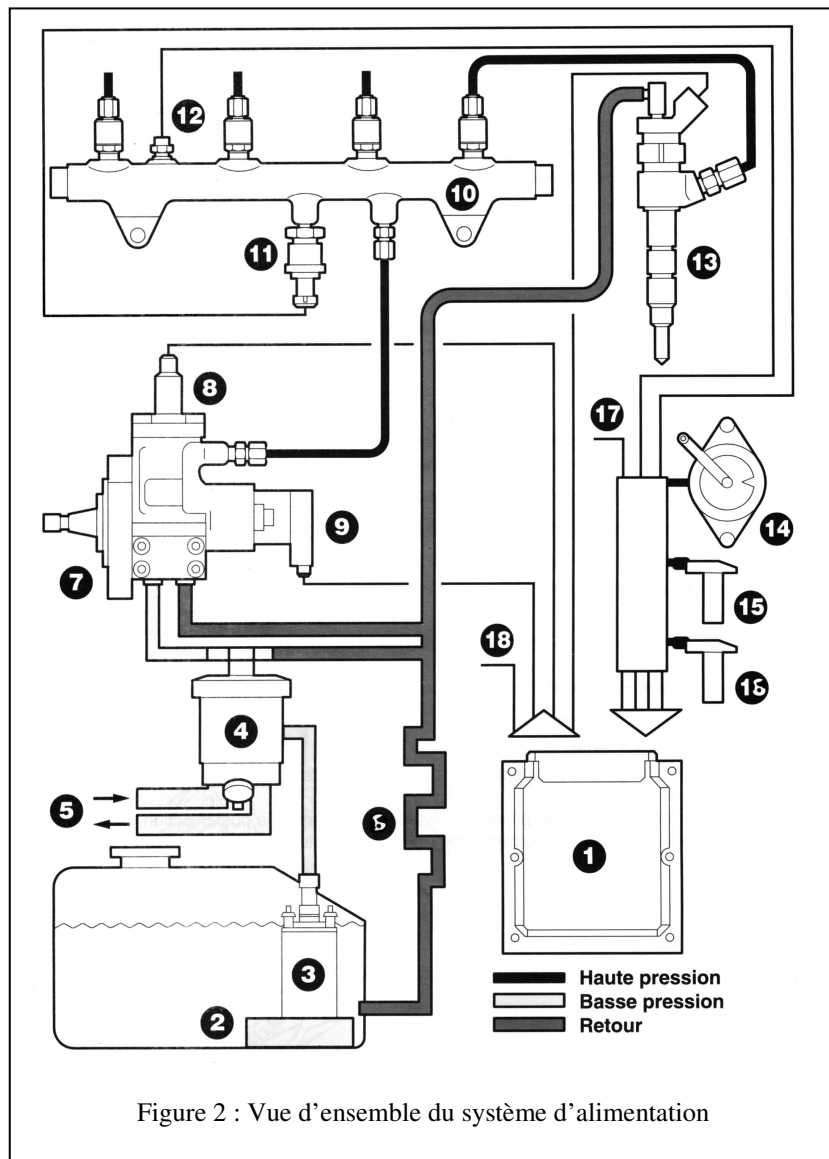


Figure 2 : Vue d'ensemble du système d'alimentation

### Circuits empruntés par le gazole :

Le gazole pénètre dans la pompe par l'entrée « A » et traverse le clapet de sécurité « B » qui régule l'alimentation de la pompe haute pression HP. Si la basse pression est faible, le flux de carburant traverse le tiroir 1 percé d'un ajutage (petit orifice) et sert en priorité à la lubrification et au refroidissement de la pompe. Lorsque la différence de pression entre l'entrée et le retour de la pompe au réservoir devient supérieure à 0,8 bar, le tiroir se déplace et découvre le trou d'alimentation des éléments de pompage. Les chambres « C » s'emplissent, le flux réservé à la lubrification reste maintenu.

Pour diminuer la puissance absorbée par la pompe en faible charge, à un moment où il n'est pas nécessaire de disposer d'un fort débit, la pompe comporte un système électrique de désactivation du 3<sup>ème</sup> piston « D ». Un solénoïde, monté sur la tête du 3<sup>ème</sup> cylindre, déplace une tige de commande 2 qui maintient ouvert le clapet d'alimentation. La désactivation du troisième piston est également mise en œuvre par le calculateur pour limiter volontairement le débit en cas d'incident (surchauffe gazole, par exemple).

Le gazole sous haute pression se dirige vers la sortie « E » (cf. figure 3) qui est reliée à la rampe d'alimentation des injecteurs.

En parallèle sur la sortie « E » se trouve le régulateur de pression « F » à commande RCO (rapport cyclique d'ouverture) commandé par le calculateur. Le régulateur crée une fuite contrôlée. La durée variable des cycles d'ouverture et de fermeture règle la pression de gazole dans la rampe. Le gazole libéré retourne au réservoir par la sortie G.

### Principales caractéristiques de la pompe :

- Pression maxi : 1350 bar.
- Variation de pression maxi : 3% à 1000 bar pour un volume de rampe de 30 cm<sup>3</sup> (sans coupure de l'élément de pompage).
- Débit de refoulement : 0,65 cm<sup>3</sup>/tour.
- Plage des taux de rotation : 375 à 3000 tr/min.
- Rendement mécanique : 0,9.
- Rendement volumétrique à 1000 tr/min : 0,7 à 0,8.

### Nomenclature :

- A - Entrée basse pression.  
 B - Clapet de sécurité.  
 C - Chambre.  
 D - Désactivateur 3<sup>ième</sup> piston.  
 E - Sortie haute pression.  
 F - Régulateur de pression.  
 G - Retour vers le réservoir.

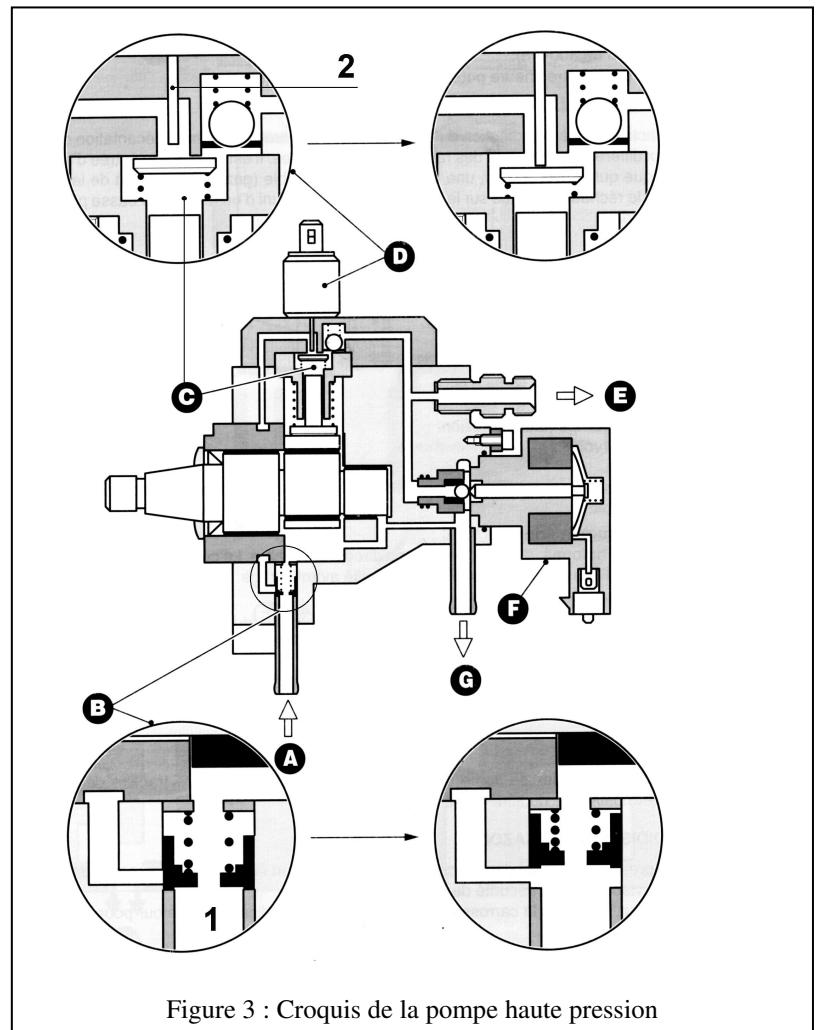


Figure 3 : Croquis de la pompe haute pression

### 2.3 ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME D'INJECTION DIRECTE COMMOM RAIL SELON LE MODÈLE SADT

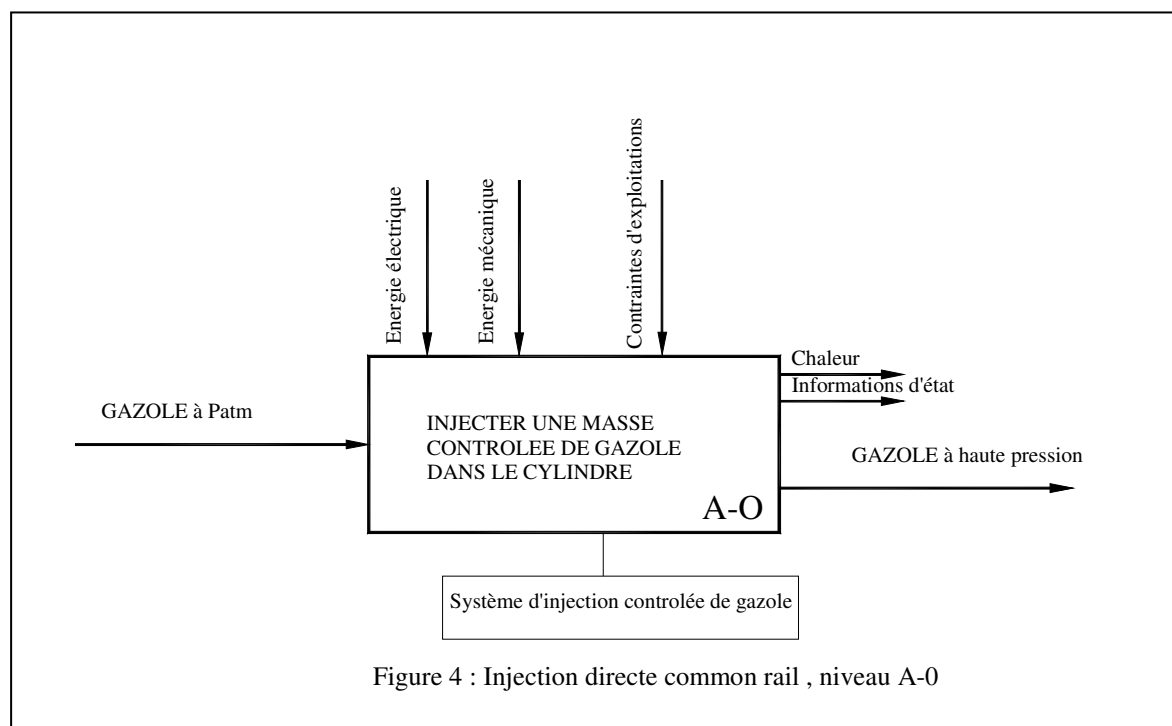
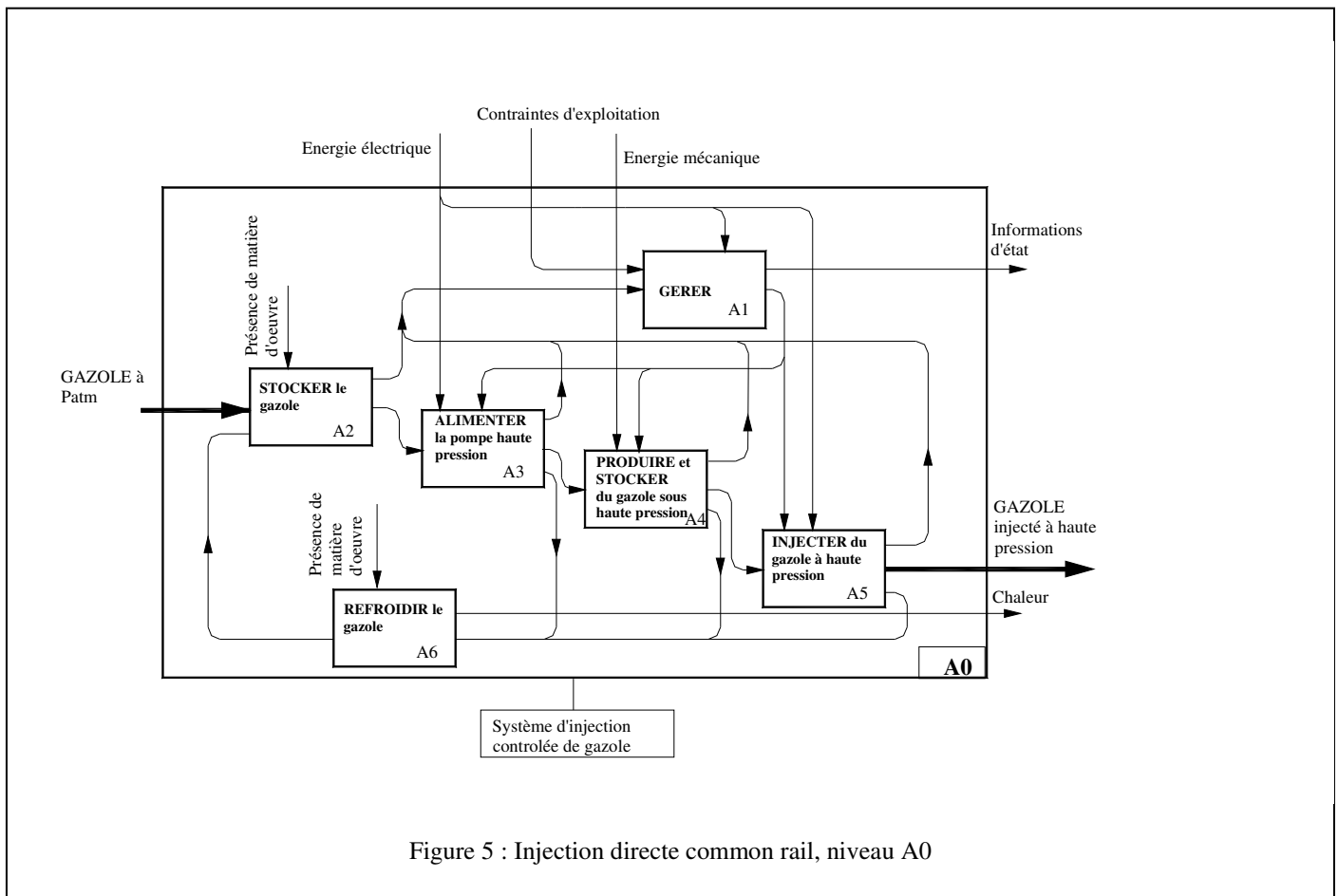


Figure 4 : Injection directe common rail , niveau A-0



Question n°1 :

Les niveaux A0 et A-0 ci-dessus proposent une analyse fonctionnelle du système d'injection directe Common Rail selon le modèle SADT.

- ☞ Sur le document réponse DR1 **indiquer** par un coloriage les composants situés à l'intérieur de la frontière d'étude.

Question n°2 :

- ☞ A partir du document technique DT4 et de l'analyse fonctionnelle selon le modèle SADT, **indiquer** les différentes contraintes d'exploitation.

Question n°3 :

- ☞ A partir des deux niveaux A-0 et A0 d'analyse fonctionnelle selon le modèle SADT, du document technique DT4 **indiquer** les *supports d'activités* associés aux fonctions :
- Stocker le gazole.
  - Alimenter le pompe haute pression.
  - Produire et stocker du gazole sous haute pression.

## 2.4 ETUDE DE LA FONCTION : INJECTER DU GAZOLE À HAUTE PRESSION

L'étude se propose de **déterminer** les conditions d'ouverture de l'injecteur et le temps d'injection

Nota :

Le fonctionnement de l'injecteur est décrit sur le document DT3

Données :

- $q_{vf}$  : débit de fuite provoqué par l'ouverture de l'électrovanne de commande.
- $p_7$  : pression relative de retour au réservoir ( $p_7 = 0,7$  bar) est négligeable devant la haute pression.
- $S_5$  : section de l'ajutage situé entre les points (5) et (6).  $S_5 = 0,06 \text{ mm}^2$
- $S_6$  : section de l'ajutage situé entre les points (6) et (7).  $S_6 = 0,07 \text{ mm}^2$

Rappel :

L'équation de débit à travers un ajutage est donnée par la relation :  $q_v = K.S.\sqrt{\frac{2.\Delta p}{\rho_g}}$

Avec :

- $q_v$  : débit volumique.
- $K$  : coefficient de débit.
- $S$  : section de passage.
- $\Delta p$  : différence de pression entre l'entrée et la sortie de l'ajutage.
- $\rho_g$  : masse volumique du gazole  $\rho_g = 825 \text{ kg/m}^3$  à  $60^\circ\text{C}$ .

Hypothèses :

- Les pressions  $p_3, p_4, p_5$  et  $p_8$  sont égales à 1250 bar.
- Le coefficient de débit  $K$  est le même entre les points (5) et (6) et entre les points (6) et (7) cf. DT3.

Question n°4 :

☞ Montrer que :  $p_6 = p_5 \cdot \frac{S_5^2}{S_6^2 + S_5^2}$

Question n°5 :

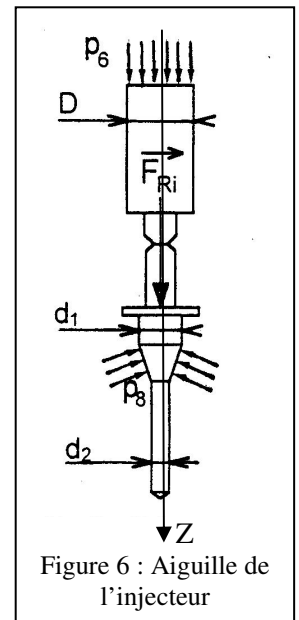
☞ **Déterminer** la valeur de la pression  $p_6$  et du débit de fuite  $q_{vf}$  si le coefficient de débit  $K = 0,8$ .

Question n°6 :

Données :

$F_{Ri} = 50 \text{ N}$	$D = 4,3 \text{ mm}$	$d_1 = 3,2 \text{ mm}$	$d_2 = 1 \text{ mm}$
-------------------------	----------------------	------------------------	----------------------

☞ **Montrer** à l'aide une étude statique que dans ces conditions l'injecteur est ouvert.



Question n°7 :

☞ Soit  $S_{inj}$  : la section de passage du gazole au travers de l'injecteur et  $m_{inj}$  la masse de gazole à injecter. Après avoir appliqué l'équation du débit volumique à travers l'ajutage situé entre les points (8) et (9) cf. DT3, **montrer** que l'expression du temps d'ouverture de l'injecteur

$t_{inj}$  est de la forme :  $t_{inj} = \frac{m_{inj}}{K.S_{inj}\sqrt{2(p_8 - p_9).\rho_g}}$



## 2.5 ETUDE DE LA FONCTION : ALIMENTER LA POMPE HAUTE PRESSION

L'étude se propose de **déterminer** numériquement la valeur de la pression de gavage  $p_1$ .

Le circuit basse pression comprend :

- Un pré-filtre à carburant  
La perte de charge en terme de pression, par le pré-filtre est de 0,3 bar .
- Une pompe hydraulique de pré-alimentation entraînée par un moteur électrique :  
puissance électrique :  $P_{\text{élect}} = 32 \text{ W}$   
rendement mécanique  $\eta_m = 0,8$   
rendement volumétrique  $\eta_v = 0,6$   
débit volumique :  $q_v = 150 \text{ l/h}$
- Un filtre à carburant avec séparateur d'eau.  
La perte de charge en terme de pression par le filtre est de 0,8 bar .
- Un régulateur basse pression.

### Données

Masse volumique du gazole.

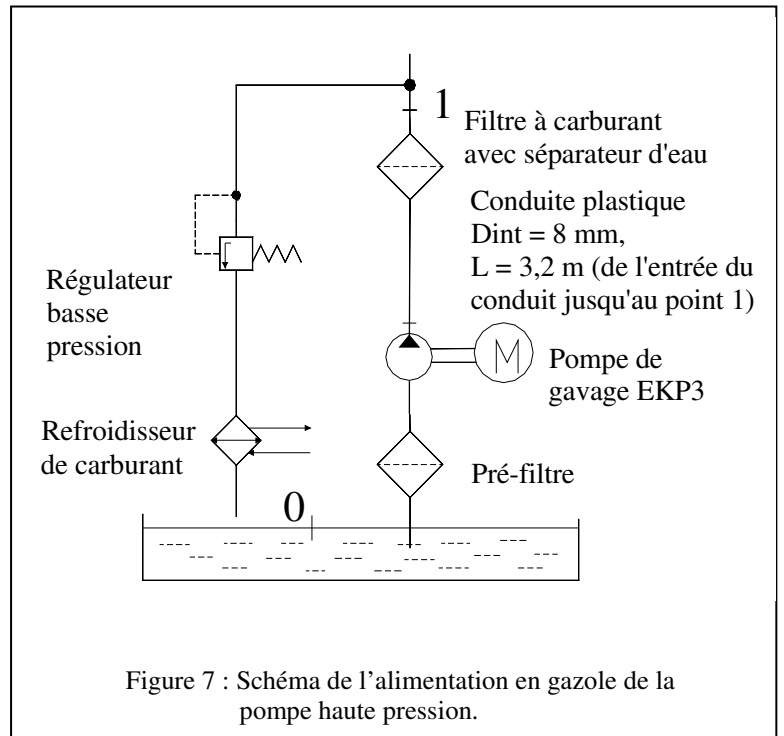
$\rho_g = 840 \text{ kg/m}^3$  à  $20^\circ$  (circuit basse pression)

$\rho_g = 825 \text{ kg/m}^3$  à  $60^\circ$  (circuit haute pression)

Viscosité dynamique du gazole

$\mu_1 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$  à  $20^\circ$  (circuit basse pression)

$\mu_2 = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$  à  $60^\circ$  (circuit basse pression)



2.5.1 Travail massique de transvasement fourni par la pompe au gazole.

### Question n°8 :

- ☞ À partir de la puissance du moteur électrique et du débit volumique de la pompe, **déterminer** le travail massique fourni par la pompe au fluide.

2.5.2 Estimation des pertes de charge linéaires.

### Question n°9 :

- ☞ **Calculer** la vitesse d'écoulement du gazole dans la conduite.

### Question n°10 :

- ☞ **Calculer** le nombre de Reynolds et **déterminer** la nature de l'écoulement du carburant dans la conduite.

Rappel :  $Re = \frac{\rho V d}{\mu}$

Question n°11 :

☞ **Calculer** la perte de charge linéaire dans cette conduite.

On donne :

- Pour  $Re < 2300$  :  $\lambda = \frac{64}{Re}$
- Pour  $2300 < Re < 10^5$  :  $\lambda = 0,316 \frac{1}{Re^{0,25}}$
- Pour  $Re > 10^5$  :  $\lambda = 0,79 \sqrt{\frac{\varepsilon}{d}}$  avec pour rugosité  $\varepsilon = 0,01mm$

Pour la suite de l'étude on prendra  $J_{conduite} = 12 \text{ J/kg}$ .

Question n°12 :

☞ **Calculer** la somme des pertes de charge singulières et régulières.

Question n°13 :

☞ Dans le cas où le travail de transvasement de la pompe vaut  $440 \text{ J/kg}$  et la somme des pertes de charge  $143 \text{ J/kg}$ , **déterminer** la pression  $p_1 - p_0$ . (Ne pas tenir compte des différences de hauteur).

## 2.6 ETUDE DE LA FONCTION : FOURNIR DU GAZOLE SOUS HAUTE PRESSION

Cette étude se propose de **valider** le comportement de la pompe en terme de débit instantané et de puissance absorbée.

### 2.6.1 Paramétrage et modélisation

Le dessin de la pompe haute pression est donné sur le document technique DT1.

La figure 8 indique la modélisation retenue.

- **Le corps de pompe 4**

Il est considéré comme fixe et le repère  $R_0(O, x_0, y_0, z_0)$  qui lui est associé est galiléen.

- **L'arbre excentrique 1**

Il est en liaison pivot d'axe  $(O, z_0)$  avec le corps 4.

Dans toute l'étude le taux de rotation de l'arbre excentrique 1 par rapport à 4,  $\omega_{1/4}$  est constant :

$$\overset{P}{\Omega}_{1/4} = \overset{P}{\Omega}_z \text{ avec } \overset{P}{\Omega}_z = \omega_{1/4} = cte$$

- **La bague à méplats 14**

Son centre d'inertie G est aussi le centre de la liaison pivot de 14 avec 1. Sa masse est notée  $m_{14}$

Elle possède trois méplats où les pistons P1, P2 et P3 sont en contact plan sur plan.

Une étude cinématique préalable a permis de montrer que la bague 14 est animée d'un mouvement de translation circulaire par rapport au corps 4, donc  $\overset{P}{\Omega}_{14/4} = \overset{P}{\Omega}_z$ .

- **Les pistons Pi (P1, P2, P3)**

La position d'un piston  $P_i$  est repérée par  $r_i(\theta) = r_i = O'A_i$ . La section droite d'un piston en contact avec le gazole est notée S, sa masse  $m_p$ .

Un piston  $P_i$  est en contact plan sur plan sans frottement avec la bague à méplats 14.

- **Les trois ressorts Ri**

Les trois ressorts  $R_i$  sont identiques : leur précharge est notée  $F_0$ , leur raideur k.

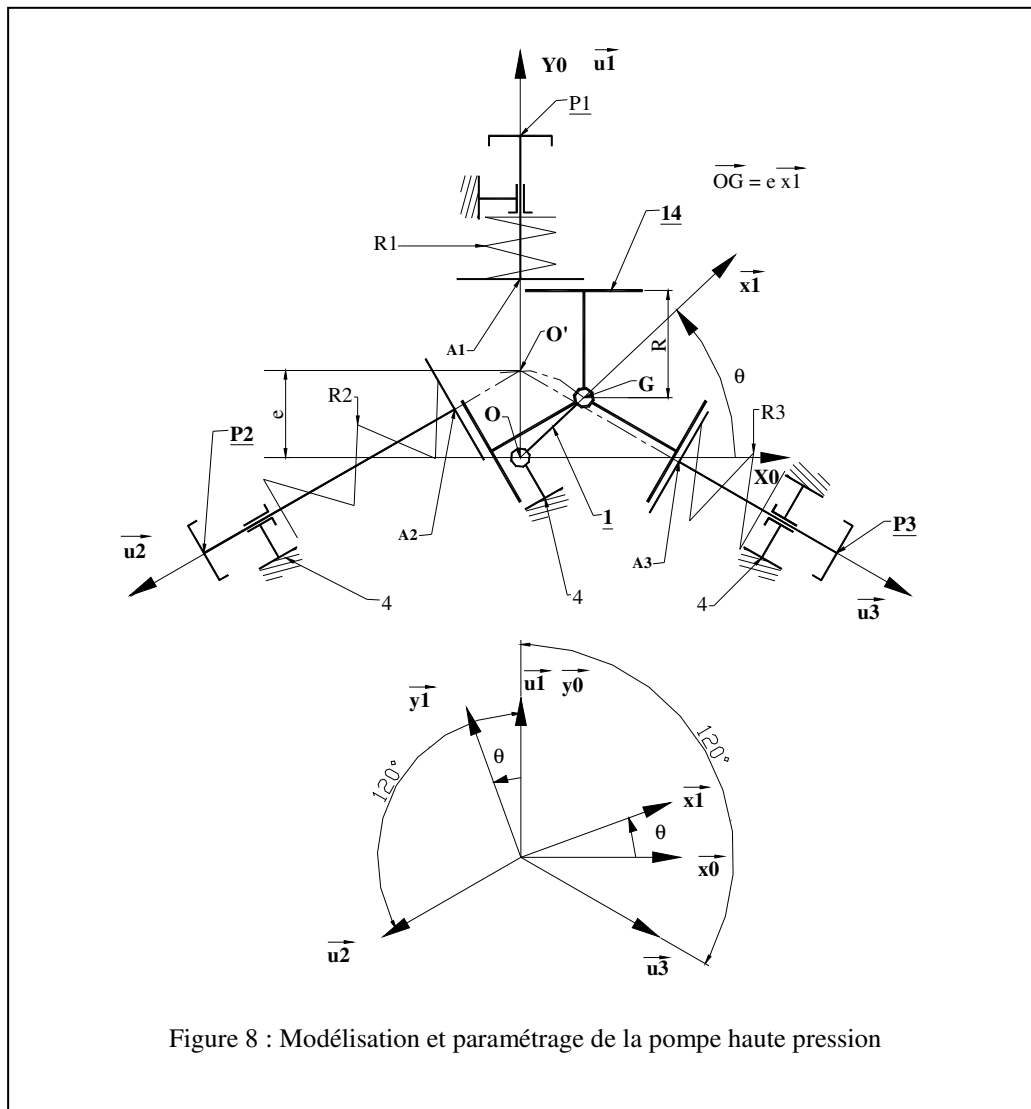


Figure 8 : Modélisation et paramétrage de la pompe haute pression

## 2.6.2 Analyse du fonctionnement de la pompe

### Question n° 14:

La figure 1 du document réponse DR2 représente le mécanisme pour l'angle  $\theta = \pi/2$ .

- ☞ **Représenter** sur la figure 2 le mécanisme pour l'angle  $\theta = 0$ , **indiquer** par une croix la situation de chaque piston : admission ou refoulement.

### Question n° 15:

- ☞ **Déterminer** les intervalles de  $\theta$  pour lesquels le piston P1 est en phase de refoulement. Ces intervalles seront identifiés sur la figure 1 du document réponse DR3 en coloriant les pavés correspondant.

## 2.6.3 Détermination du débit instantané

### Question n° 16:

Notation et paramétrage géométrique :  $\vec{OA}_1 = r_1 \vec{u}_1$ ,  $\vec{GA}_1 \cdot \vec{u}_1 = R$ ,  $\vec{OO}' = e \vec{y}_0$ ,  $\vec{OG} = e \cdot \vec{x}_1$ ,  $K = S \cdot e \cdot \omega$ .

- ☞ **Déterminer** la position  $r_1$  du piston P1 en fonction de  $R$ ,  $e$  et  $\theta$ . En **déduire** le débit volumique instantané  $q_{v1}$  du piston P1 en fonction de  $K$  et  $\theta$ . **Représenter** en vert sur le document réponse DR3 pour  $\theta \in [0; 2\pi]$  le débit volumique instantané  $q_{v1}$ .

Question n° 17:

- ☞ Sur le document DR3, **représenter** respectivement en bleu et noir les débits volumiques  $q_{v2}$  et  $q_{v3}$  des pistons  $P_2$  et  $P_3$ . En **déduire** l'allure de la courbe du débit volumique instantané  $q_v$  de la pompe, **représenter**  $q_v$  en rouge.

Question n° 18:

- ☞ **Déterminer** l'irrégularité du débit en pourcentage.  
**Evaluer** l'influence de cette irrégularité sur l'injection de gazole à haute pression.  
 La pompe répond-elle à l'exigence d'un débit injecté et contrôlé de gazole de  $360 \text{ cm}^3/\text{min}$  pour un régime moteur à  $2000 \text{ tr/min}$  ? **Justifier** votre réponse.

## 2.6.4 Détermination de la puissance absorbée par la pompe

### 2.6.4.1 Convention d'écriture et hypothèses d'étude

Dans tout le problème les chargements et les symétries géométriques du mécanisme permettent de se ramener à une étude plane.

Le torseur des actions mécaniques de la bague à méplats 14 sur le piston  $P_i$  sera noté :  $\mathcal{T}_{14/P_i} = \left\{ \begin{matrix} F_{14/P_i} = F_{P_i/14} \\ M_{Ai} \end{matrix} \right\}_{Ai}$

Dans cette condition le torseur des actions mécaniques de l'arbre excentrique 1 sur la bague à méplats 14 sera noté :  $\mathcal{T}_{1/14} = \left\{ \begin{matrix} F_{1/14} = X_G \mathbf{e}_0 + Y_G \mathbf{e}_0 \\ 0 \end{matrix} \right\}_G$

- Le taux de rotation de l'arbre excentrique 1 est constant :  $\Omega_{1/4} = \Omega_{1/4}^0$  avec  $\Omega_{1/4} = \omega_{1/4} = \text{cte}$ .
- Le poids des pièces est négligé devant les efforts mis en jeu.
- Les liaisons mécaniques sont parfaites.

### 2.6.4.2 Etude dynamique de la bague à méplats 14

Question n° 19

- ☞ **Exprimer** littéralement la vitesse du point G dans le mouvement de 14 par rapport au repère galiléen  $R_0$   $\mathbf{V}_{G,14/R_0}$  en fonction de  $e$  et  $\omega$ .

Question n° 20

- ☞ En **déduire** littéralement l'accélération du point G dans le mouvement de 14 par rapport au repère galiléen  $R_0$   $\mathbf{a}_{G,14/R_0}$  en fonction de  $e$  et  $\omega$ .

Question n° 21:

- ☞ **Ecrire** le torseur dynamique de 14 dans son mouvement par rapport au repère galiléen :

$$\mathcal{D}_{14/R_0} = \left\{ \begin{matrix} m_{14} \mathbf{a}_{G,14/R_0} \\ \delta_{G,14/R_0} \end{matrix} \right\}_G$$

- ☞ **Conclure** sur la position de l'axe central du torseur des actions mécaniques du piston  $P_i$  sur la bague à méplats 14 avec l'hypothèse où seul  $P_i$  est au refoulement et que les actions mécaniques des deux autres pistons sont totalement négligeables.

Question n° 22:

☞ En appliquant le théorème de la résultante dynamique à la bague 14, **montrer** que :

$$\begin{cases} X_G = -m_{14}.e.\omega^2.\cos\theta + \frac{\sqrt{3}(F_3 - F_2)}{2} \\ Y_G = -m_{14}.e.\omega^2.\sin\theta + F_1 - \frac{F_2 + F_3}{2} \end{cases}$$

Soit :

- $m_{14}$  la masse de la bague à méplats  $m_{14} = 33\text{g}$
- $e$  excentricité de l'arbre excentrique  $e = 3\text{ mm}$

☞ Pour un régime moteur de 4000 tr/min. **Evaluer** numériquement l'influence des effets dynamiques sur  $X_G$  et  $Y_G$ . **Conclure**.

2.6.4.3 Etude dynamique des pistons  $P_i$

2.6.4.3.1 Effort exercé par le gazole.

La force de pression due au gazole sur un piston  $P_i$  est soit faible (considérée comme nulle en phase d'admission) soit constante (de niveau  $p.S$ ) en phase de refoulement. Afin d'établir une relation générale, on considère que le gazole exerce *toujours* sur un piston  $P_i$  une action mécanique notée  $\|F_{\text{gazole}/P_i}^p\| = \alpha_i.p.S$  avec  $\alpha_i$ , coefficient relatif au piston  $P_i$ , ne pouvant prendre que deux valeurs : 0 ou 1.

- .  $\alpha_i = 0 \Rightarrow F_{\text{gazole} \rightarrow P_i} = 0$  : le piston est en phase d'admission.
- .  $\alpha_i = 1 \Rightarrow F_{\text{gazole} \rightarrow P_i} = p.S$  : le piston refoule le gazole à la pression  $p$ .

Question n° 23:

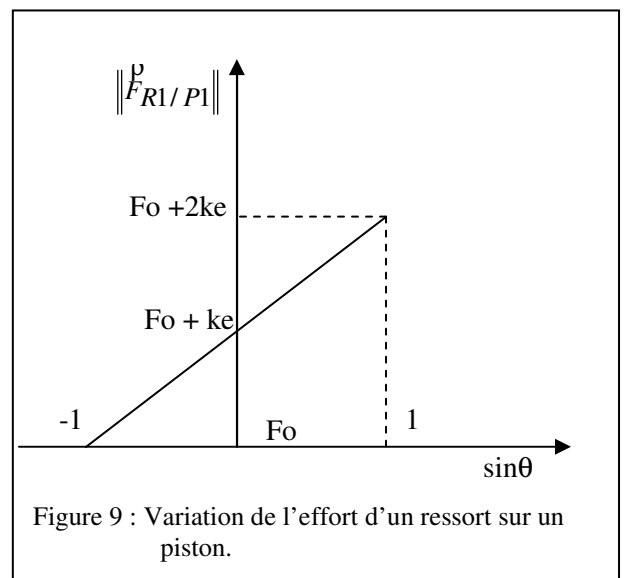
☞ Sur la figure 3 du document réponse DR3 donner les valeurs (0 ou 1) que prennent les coefficients  $\alpha_i$  en fonction de  $\theta$ .

2.6.4.3.2 Etude dynamique du piston  $P_1$

Question 24 :

Paramétrage géométrique :  $\vec{OG} = e.\vec{x}_1$ ,  $\vec{GA_1} \cdot \vec{u}_1 = R$

☞ Exprimer littéralement l'accélération du point  $A_1$  dans le mouvement du piston  $P_1$  par rapport au repère galiléen  $\mathcal{R}_{A_1, P_1/R_0}$  en fonction de  $e$ ,  $\theta$  et  $\omega$



Question n° 25 :

La norme de l'action mécanique qu'exerce le ressort  $R_1$  sur le piston  $P_1$  est représentée par le graphe figure 9.

☞ **Exprimer** littéralement  $\|F_{R1/P1}^p\|$  en fonction de  $e$ ,  $R$ ,  $\theta$ . **Justifier** la relation au regard du fonctionnement de la pompe.

Question n° 26:

☞ En appliquant le théorème de la résultante dynamique au piston P<sub>1</sub> **montrer** que :  
$$F_1 = \alpha \cdot p \cdot S + F_0 + k \cdot e + e \cdot (k - m_p \cdot \omega^2) \cdot \sin \theta .$$

Soit :

- m<sub>p</sub> la masse du piston P<sub>1</sub> m<sub>p</sub> = 8 g
- e excentration de l'arbre excentrique e = 3 mm
- k raideur du ressort de rappel du piston k = 0,4 N/ mm
- F<sub>0</sub> précharge du ressort F<sub>0</sub> = 2 N.
- Pression de refoulement 1350 bar.

☞ Pour un régime moteur de 4000 tr/min. **Evaluer** numériquement l'influence des effets dynamiques sur F<sub>1</sub>. **Conclure**.

2.6.4.3.3 Actions mécaniques appliquées sur la bague à méplats 14

Question n° 27:

☞ **Déduire** de la question précédente les expressions de F<sub>2</sub> et F<sub>3</sub>.

Question n° 28:

☞ **Déterminer** alors X<sub>G</sub> et Y<sub>G</sub>.

2.6.4.4 Puissance absorbée par la pompe

2.6.4.4.1 Influence des effets dynamiques sur l'arbre 1

Question n° 29:

On donne l'opérateur d'inertie au point O de l'arbre 1, exprimé dans  $R_1 = (O, \overset{P}{X}_1, \overset{P}{Y}_1, \overset{P}{Z}_1)$

$$[I]_{O,1} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & -D \\ 0 & -D & C \end{bmatrix}_{R1}$$

avec A = 237,4 kg .mm<sup>2</sup>, B = 236,5 kg .mm<sup>2</sup>, C = 17,6 kg .mm<sup>2</sup> et D = 5,6 kg .mm<sup>2</sup>

☞ **Exprimer** le moment cinétique de l'arbre excentrique 1 dans le mouvement par rapport au repère galiléen :  $\overset{P}{\delta}_{O,1/O}$ .

☞ En **déduire** le moment dynamique de l'arbre excentrique 1 dans le mouvement par rapport au repère Galiléen :  $\overset{P}{\delta}_{O,1/O}$ . **Conclure** sur l'influence des effets dynamiques sur l'arbre 1.

2.6.4.4.2 Puissance absorbée par la pompe due uniquement à l'action du piston P1

Hypothèse : dans cette étude les effets dynamiques sur les piston P<sub>i</sub>, sur la bague à excentrique 14 ainsi que l'action des ressorts seront négligés devant les actions mécaniques dues à la pression du gazole.

Question n° 30:

☞ **Exprimer** littéralement dans ce cas C<sub>m1</sub> le couple moteur nécessaire au fonctionnement. En **déduire** l'expression de la puissance motrice correspondante P<sub>m1</sub> en fonction de K' = p.K et θ.

**Représenter** en vert l'allure de P<sub>m1</sub> sur la figure 4 du document DR3

#### 2.6.4.4.3 Puissance absorbée par la pompe

##### Question n° 31:

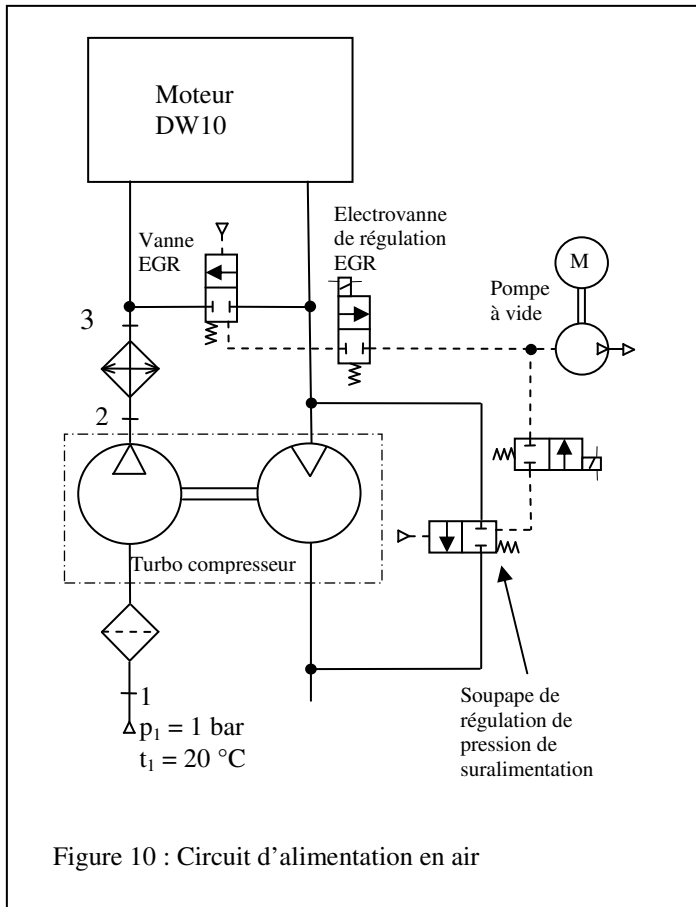
- ☞ **Exprimer** littéralement  $C_{m2}$  et  $C_{m3}$  couples moteurs nécessaires au fonctionnement de  $P_2$  et  $P_3$ .  
En **déduire** l'expression des puissances motrices correspondantes  $P_{m2}$  et  $P_{m3}$  fonction de  $K' = p.K$  et  $\theta$ .  
**Représenter** respectivement en bleu et noir l'allure de  $P_{m2}$  et de  $P_{m3}$  sur la figure 4 du document DR3.

##### Question n° 32:

- ☞ **Représenter** en rouge sur la figure 4 du document DR3 l'allure de la courbe représentant la puissance motrice nécessaire au fonctionnement.
- ☞ **Calculer** les valeurs mini et maxi de la puissance  $P$ ,  $P_{\text{mini}}$  et  $P_{\text{maxi}}$ , pour un fonctionnement nominal permettant d'obtenir une pression  $p = 1350$  bar et un régime moteur de 4000 tr/min.  
**Conclure.**

### 3 ETUDE DU CIRCUIT D'ALIMENTATION EN AIR

L'étude se propose de **déterminer** la masse de gazole à injecter et la pression d'air dans le cylindre à l'instant de l'injection, pour en **déduire** le temps d'injection.



#### Données :

##### Caractéristiques du moteur DW10

Cylindrée : 1997 cm<sup>3</sup>  
 Nombre de cylindres : 4  
 Alésage/course : 85/88  
 Rapport volumétrique :  $\varepsilon = 17,6$   
 Puissance ISO : 81 kW à 4000 tr/min  
 Couple ISO ou CEE : 25 Nm à 1750 tr/min  
 Régime maxi : 5300 tr/min.

##### Conditions d'étude

L'air est assimilé à un gaz parfait :  
 $\gamma = 1,4$ ,  $r = 287 \text{ J/kg.K}$   
 Température extérieure de l'air :  $t_1 = 20 \text{ °C}$   
 Pression atmosphérique :  $p_1 = 1 \text{ bar}$   
 Régime de puissance maximale :  $N = 4000 \text{ tr/min}$   
 Dosage stoechiométrique :  $ds = 1/15$   
 Pouvoir calorifique inférieur du gazole :  
 $P_{ci} = 44500 \text{ kJ/kg}$   
 Richesse à 4000 tr/min :  $R_i = 0,7$   
 Masse volumique du gazole à  $60 \text{ °C}$  :  $\rho_g = 825 \text{ kg/m}^3$   
 La masse de gazole lors de la pré-injection est négligée.

Les électrovannes de recyclage EGR et de régulation de pression de suralimentation ne sont pas alimentées

#### Caractéristiques du turbo compresseur

Le turbo compresseur est du type KKK03. Il est composé d'un compresseur centrifuge et d'une turbine d'entraînement.

Pour une fréquence de rotation du moteur de 4000 tr/min on a:

Pour le compresseur :  
 rendement isentropique  $\eta_{is} = 0,8$   
 rendement volumétrique  $\eta_{vol} = 0,9$   
 rendement mécanique  $\eta_{méca} = 0,95$   
 taux de compression  $\tau = 1,93 = p_2/p_1$

Pour la turbine :  
 rendement isentropique  $\eta_{is} = 0,8$   
 rendement volumétrique  $\eta_{vol} = 0,85$   
 rendement mécanique  $\eta_{méca} = 0,95$

#### Caractéristiques de l'échangeur thermique air-air

L'échangeur thermique permet de baisser la température de l'air de  $30 \text{ °C}$



### 3.1 ETAT DE L'AIR À L'ADMISSION

#### Question n°33:

- ☞ **Calculer** la température réelle de l'air à la sortie du compresseur  $T_{2r}$  puis **déterminer** la température à la sortie de l'échangeur  $T_3$ . En **déduire** la masse volumique  $\rho_3$  de l'air à l'admission.

### 3.2 MASSE DE GAZOLE À INJECTER PAR CYLINDRE ET PAR CYCLE

#### Question n°34:

Le document réponse DR4 représente l'évolution du volume occupé par les gaz en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin.

- ☞ Sachant que le retard à l'admission est de  $23^\circ$ , **relever** la valeur du volume  $V_3$  de l'air contenu dans le cylindre en début de compression.

#### Question n°35:

- ☞ **Calculer** la masse d'air  $m_{air}$  contenue dans le cylindre à la fermeture de la soupape d'admission si on admet que la masse volumique de l'air est égale à  $\rho_3$ .

#### Question n°36:

- ☞ Quel que soit le résultat de la question précédente prendre  $m_{air} = 1 \text{ g/cylindre/cycle}$ , **calculer** la masse de gazole à injecter et en **déduire** le volume injecté.

### 3.3 TEMPS D'INJECTION

#### Question n°37:

L'injection a lieu  $16^\circ$  avant le point mort haut.

- ☞ **Relever** sur le document réponse DR4 le volume  $V_9$  occupé par l'air au moment de l'injection du gazole. Puis **calculer** la pression de l'air  $p_9$  au moment de l'injection si on admet que la compression est une transformation adiabatique.

#### Question n°38:

##### **Données**

La pression  $p_9$  dans le cylindre reste constante pendant l'injection du gazole:  $p_9 = 73 \text{ bar}$

$p_8 = 1250 \text{ bar}$

$K = 0,8$

$\rho_g = 825 \text{ kg/m}^3$

chaque injecteur comprend 6 trous de diamètre  $\varnothing = 0,15 \text{ mm}$ .

- ☞ A partir de l'expression déterminée à la question 7, **calculer** le temps d'ouverture de l'injecteur.

#### Question n°39:

L'injecteur s'ouvre  $0,3 \text{ ms}$  après l'excitation de l'électrovanne et se referme  $0,7 \text{ ms}$  après la fin de son alimentation

- ☞ **Déterminer** la valeur du temps d'alimentation de l'électrovanne  $T_i$ .

#### 4 VALIDATION PAR UNE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES MODÈLES RETENUS

La figure 11 indique la mesure de la pression dans le rail corrélée à la mesure du volume de gazole transvasé pendant l'injection par un injecteur.

La figure 12 indique pour un régime moteur à 4000 tr/min la mesure du temps de levée de l'aiguille d'injection corrélée à l'intensité du courant qui traverse le solénoïde et à la mesure de la pression d'injection  $p_8$ .

**Nota :**

La courbe représentant la levée de l'aiguille en fonction du temps est l'image du débit de gazole à travers les trous de l'injecteur.

##### 4.1 VALIDATION DU MODÈLE CINÉMATIQUE DE LA

###### Question n° 40

Sur la figure 11, à 1350 bar, **relever** le débit volumique de la pompe haute pression. En **déduire** le rendement volumétrique.

**Conclure**

##### 4.2 VALIDATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DE L'INJECTEUR

###### Question n° 41

Le modèle en terme de déplacement d'aiguille proposé à la question 39 vous semble-t-il conforme à la levée mesurée de l'aiguille figure 12 ? **Justifier** votre réponse.

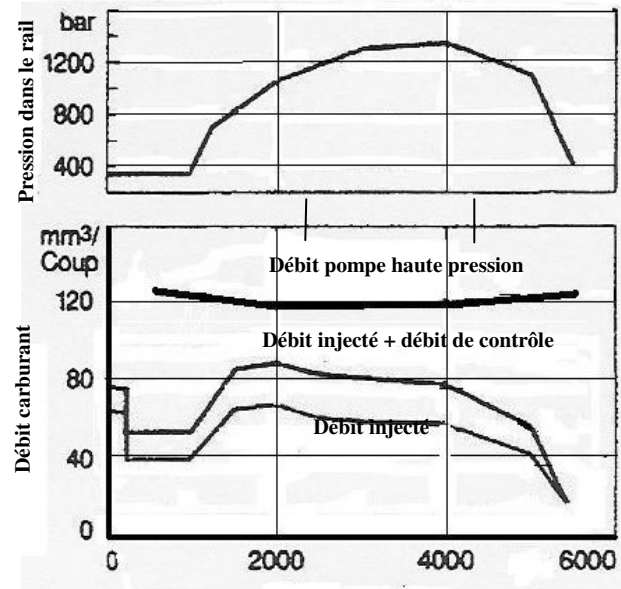


Figure 11 : Débit carburant et pression dans le rail

##### 4.3 VALIDATION DU MODÈLE THERMODYNAMIQUE DU MOTEUR DW10

###### Question n° 42

Lors de l'étude précédente, la masse de gazole pré-injectée est négligée. **Justifier** cette hypothèse.

###### Question n° 43

**Confronter** les résultats des calculs en terme de temps d'injection et de volume injecté à ceux de la mesure. **Conclure**.

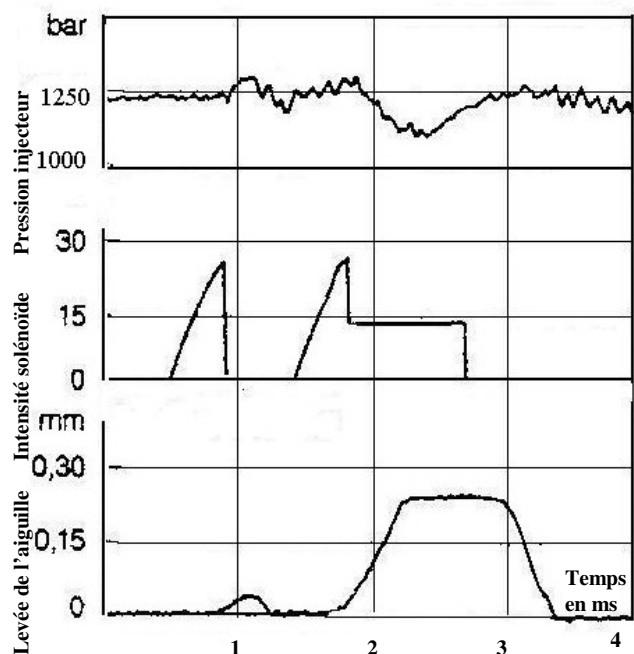


Figure 12 : Levée de l'aiguille