Concours National Commun (CNC), Maroc

Session 2008, filière TSI

Technologies et sciences industrielles : génie mécanique

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Partie A : analyse fonctionnelle
- Partie B : modélisation de la pompe haute pression HDi
- Partie C : analyse mécanique de la pompe haute pression HDi
- Partie D : démarche de réalisation et de qualification
- Partie E : étude de la résistance mécanique

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Cette copie du projet mécanique diffère sur quelques points du fascicule officiel de la session (rapport de la pompe 0,5 au lieu de 1, question 2 limitée à l'hyperstatisme, K défini autrement). L'énoncé officiel se lit dans le sujet de génie électrique 2008, pages 3 à 17.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/cnc/tsi/2008/genie-mecanique

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Projet mécanique (Temps conseillé : 3h)

L'épreuve se compose de cinq parties qui peuvent être traités de façons indépendantes.

- **PARTIE A** : ANALYSE FONCTIONNELLE
- **PARTIE B :** MODELISATION DE LA POMPE HDi
- **PARTIE C :** ANALYSE MECANIQUE DE LA POMPE HDi
- **PARTIE D :** DEMARCHE DE REALISATION ET DE QUALIFICATION
- **PARTIE E :** ETUDE DE LA RESISTANCE MECANIQUE

L'INJECTION DIRECTE COMMON RAIL (voir DT3 page 9 et DT4 page 10)

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 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.

2-Fonctionnement de la pompe HDi: (voir DT 1, DT2, DT3 et DT4)

Le dessin de la pompe haute pression est donné sur le document technique **DT1** page8 .

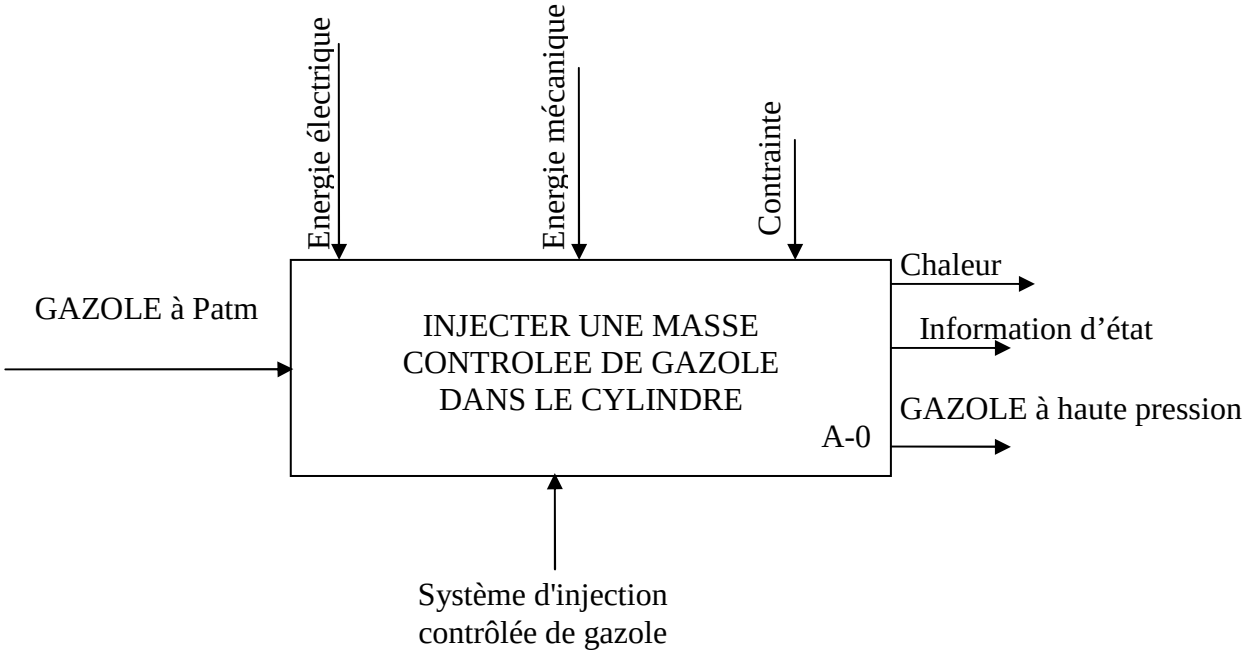
Le document **DT4** page10 indique la modélisation retenue.

La pompe haute pression possède trois pistons radiaux décalés de 120 degrés. Ils sont commandés par un excentrique **(1)** via un pignon intermédiaire entraîné par la courroie de distribution avec un rapport de transmission : $r_p = \frac{N\ pompe}{N\ vilebrequin} = 0.5$.

La pompe haute pression alimente la rampe commune, le débit est bien sur lié à la vitesse du moteur, toute la haute pression sera dirigée vers la rampe commune, elle sera ensuite régulée par un régulateur de pression intégré en bout de rampe.

Partie A : ANALYSE FONCTIONNELLE

L'objectif de cette partie est de proposer une analyse fonctionnelle du système selon le modèle SADT.
Le niveau A-0 ci-dessous propose une analyse fonctionnelle du système d'injection directe Common Rail selon le modèle SADT.

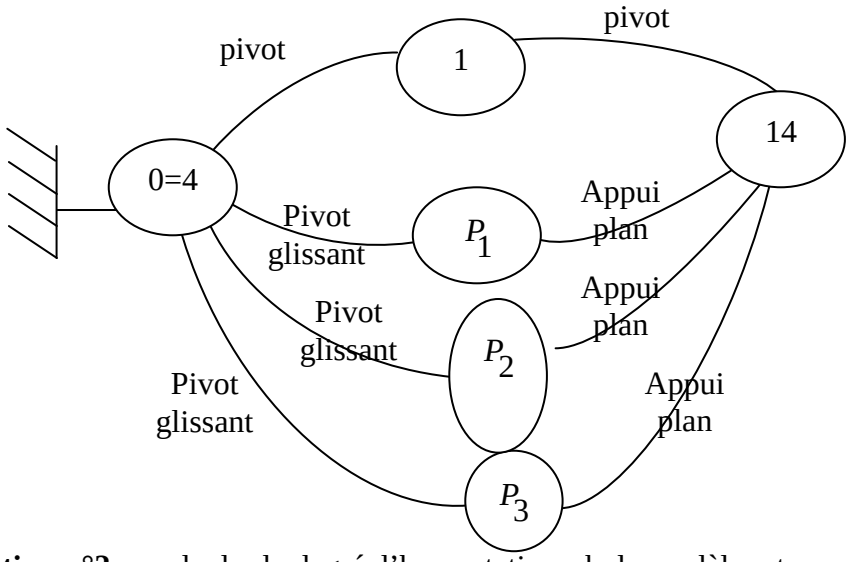


Question n°1: Sur le document réponse **N°1** page 12, Compléter le diagramme A0 du système d'injection directe Common Rail.

Partie B : MODELISATION DE LA POMPE HAUTE PRESSION HDi (voir DT4 page10)

L'objectif de cette partie est déterminer l'isostaticité du modèle.

On travail avec la modélisation de la pompe HDi représentée sur le document DT4 page 10.
On donne ci-contre le graphe de structure du modèle :



Question n°2: calculer le degré d'hyperstatisme h du modèle retenu.

Partie C : ANALYSE MECANIQUE DE LA POMPE HAUTE PRESSION HDi

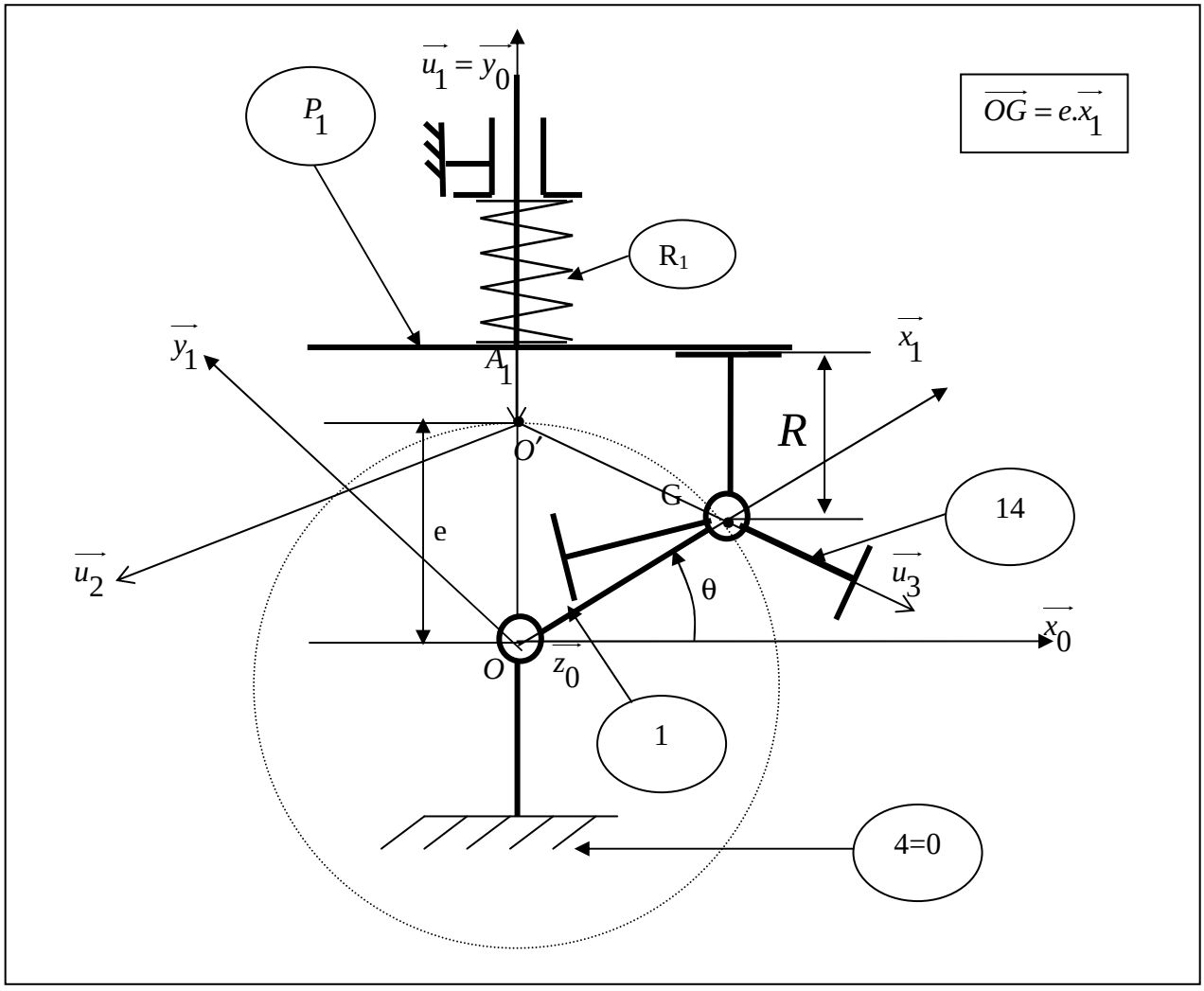
L'objectif de cette partie est de valider le comportement de la pompe en terme de puissance absorbée.

C-1 Puissance absorbée par la pompe due uniquement à l'action du piston (P_1)

Description et modélisation de système

On travail avec la modélisation simplifié représentée sur la figure ci-dessous :

(1) est un arbre excentrique de centre O, de rayon **e** est en liaison pivot d'axe $(O,\vec{z_0})$ avec le bâti **(4).** (P_1) Est en liaison pivot glissant de direction $\vec{u_1}$ avec le bâti **(4)** et en contact plan sur plan sans frottement avec la bague à méplats **(14)**.



Notation et paramétrage géométrique :

$R_0(O,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$ Est un repère galiléen lié à (0=4) ; $R_1(O,\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_0})$ est un repère lié à (1) tel que $\theta = (\vec{x},\vec{x_1})$ avec $\theta' = \omega$=constante.

La position du piston (P_1) est repérée par $r_1(\theta) = r_1 = O'A_1$. La section droite d'un piston en contact avec le Gazole est notée S .

$\overrightarrow{O'A_1} = r_1\vec{u_1}$; $\overrightarrow{GA_1}.\vec{u_1} = R$; $\overrightarrow{OO'} = e\vec{y_0}$ (e positif et constant) ; $\overrightarrow{OG} = e\vec{x_1}$;

on note $K = S.e.\omega$

C.1.1 Etude cinématique

Question n°3: Par la fermeture géométrique, déterminer la position r_1 ($\overrightarrow{O'A_1} = r_1\overrightarrow{u_1}$) du piston (P_1) en fonction de R, e et θ.

Question n°4: Exprimer littéralement la vitesse $\vec{V}(A_1 \in P_1 / R_0)$ en fonction de e, θ et ω.

En déduire le débit volumique instantané qv_1 du piston (P_1) en fonction de K et θ.

Question n°5: Exprimer littéralement l'accélération $\vec{\Gamma}(A_1 \in P_1 / R_0)$ en fonction de e, θ et ω.

C.1.2 Etude dynamique

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.
- La force de pression due au gazole sur le (P_1) 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 le piston (P_1) une action mécanique notée $Fgazole \rightarrow P_1 = \alpha_1 . p . S$ avec :

α_1 : Coefficient relatif au piston P_1, ne pouvant prendre que deux valeurs : 0 ou 1.

$\alpha_1 = 0$ $Fgazole \rightarrow P_1 = 0$: le piston est en phase d'admission.

$\alpha_1 = 1$ $Fgazole \rightarrow P_1 = p.S$: le piston refoule le gazole à la pression p.

- Action du gazole sous pression p : $\left\{\tau_{gazole \rightarrow P_1}\right\} = \left\{\begin{array}{c} -\alpha_1 . p.S . \overrightarrow{y_0} \\ 0 \end{array}\right\}_{A_1}$
- Le torseur des actions mécaniques de l'arbre excentrique **(1)** sur la bague à méplats **(14)** sera noté $\left\{\tau_{1 \rightarrow 14}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{F(1 \rightarrow 14)} = X_G \overrightarrow{x_0} + Y_G \overrightarrow{y_0} \\ 0 \end{array}\right\}_G$
- L'action du moteur sur **(1)** (cas du piston (P_1)) $\left\{\tau_{moteur \rightarrow 1}\right\} = \left\{\begin{array}{c} 0 \\ Cm_1 \overrightarrow{z_0} \end{array}\right\}_o$
- Le torseur des actions mécaniques de pistons (P_1) sur la bague à méplats **(14)** sur sera noté :

$$\left\{\tau_{P_1 \rightarrow 14}\right\} = \left\{\begin{array}{c} -F_1 \overrightarrow{u_1} \\ 0 \end{array}\right\}_G ;$$

- Le taux de rotation de l'arbre excentrique **(1)** est constant : ω=cste.
- On donne l'opérateur d'inertie au point O de l'arbre **(1)**, exprimé dans $R_1(O, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_0})$

$$I(O, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_0}) = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & -D \\ 0 & -D & C \end{pmatrix}_{R_1}$$

Avec A = 237,4 kg. mm^2, B = 236,5 kg. mm^2, C = 17,6 kg. mm^2, et D = 5,6 kg. mm^2

- Toutes les liaisons mécaniques sont parfaites.
- Le poids de toutes les pièces est négligé devant les efforts mis en jeu.
- l'action de ressort (R_1) sur (P_1) est négligée devant les actions mécaniques dues à la pression du gazole ($p = 13500\ N/mm^2$).

Question n°6: Exprimer le moment cinétique de l'arbre excentrique **(1)** dans le mouvement par rapport au Repère galiléen R_0 : $\vec{\sigma}(o,1/R_0)$.

Question n°7: En appliquant le théorème du l'énergie cinétique à l'ensemble $E = \{1;14;P_1\}$ dans son mouvement par rapport au repère galiléen R_0, Exprimer littéralement Cm_1 le couple moteur nécessaire au fonctionnement (cas du piston (P_1)).

Question n°8: En déduire l'expression de la puissance motrice correspondante Pm_1 en fonction de K' et θ ($K' = p.S.e.\omega$).Représenter en vert l'allure de Pm_1 sur document réponse N°**2** page 13**.**

C-2 Puissance absorbée par la pompe due à l'action des 3 pistons : (P_1) **,** (P_2) et (P_3)

Question n°9: Exprimer littéralement Cm_2 et Cm_3 couples moteurs nécessaires au fonctionnement de piston (P_2) et (P_3). En déduire l'expression des puissances motrices correspondantes Pm_2 et Pm_3 en fonction de K' et θ ($K' = p.S.e.\omega$). Représenter respectivement en bleu et en noir l'allure de Pm_2 et de Pm_3 sur le document réponse N°**2** page 13.

Remarque :
Cm_2 et Cm_3 sont déduites de l'expression de Cm_1 par rotations respectives de $-2\pi/3$ et $2\pi/3$.

Question n°10: Représenter en rouge sur le document réponse N°**2** page 13, l'allure de la courbe représentant la Puissance motrice Pm nécessaire au fonctionnement.

Question n°11: Exprimer la puissance motrice Pm en fonction de la cylindrée.

Question n°12: Calculer les valeurs mini et maxi de la puissance motrice Pm : Pm_{mini} et $Pm_{\max}$, Conclure.

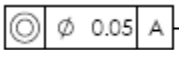
Application numérique :
$p = 13500\ N/mm^2$; $\omega = 2000\ tr/\min$; Cylindrée : $Q = 0.65\ cm^3/tr$; nombre de piston : $n = 3$.

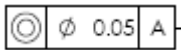
Partie D DEMARCHE DE REALISATION ET DE QULIFICATION

Dans cette partie on s'intéresse à l'analyse de quelques opérations d'usinage et de contrôle de l'arbre excentrique (**1**).
De point de vue cinématique, on a utiliser un centre d'usinage 4 axes horizontal pour la réalisation de l'arbre excentrique (1).

Question n°13: Modéliser par un croquis en perspective, une machine de type centre d'usinage horizontal 4 axes, indiquer ses axes normalisés.

Question n°14: Sur le document réponse **N°3** page 14, Donnez l'interprétation au sens rigoureux de la norme de la spécification géométrique suivante indiquée sur l'arbre excentrique **(1) (voir document technique DT5 page11) :**



Question n°15: Définir le mode opératoire pour la vérification de la spécification géométrique suivante : 

Moulage

La quantité de pièces à produire ainsi que la répétitivité de la série ont conduit au choix d'un procédé de moulage en moule permanent.

Question n°16: Citer et définir brièvement les différentes techniques utilisées pour le moulage en moule permanent.

Question n°17: Quels sont les avantages du moulage en coquille par gravité par rapport au moulage en moule non permanent à modèle permanent.

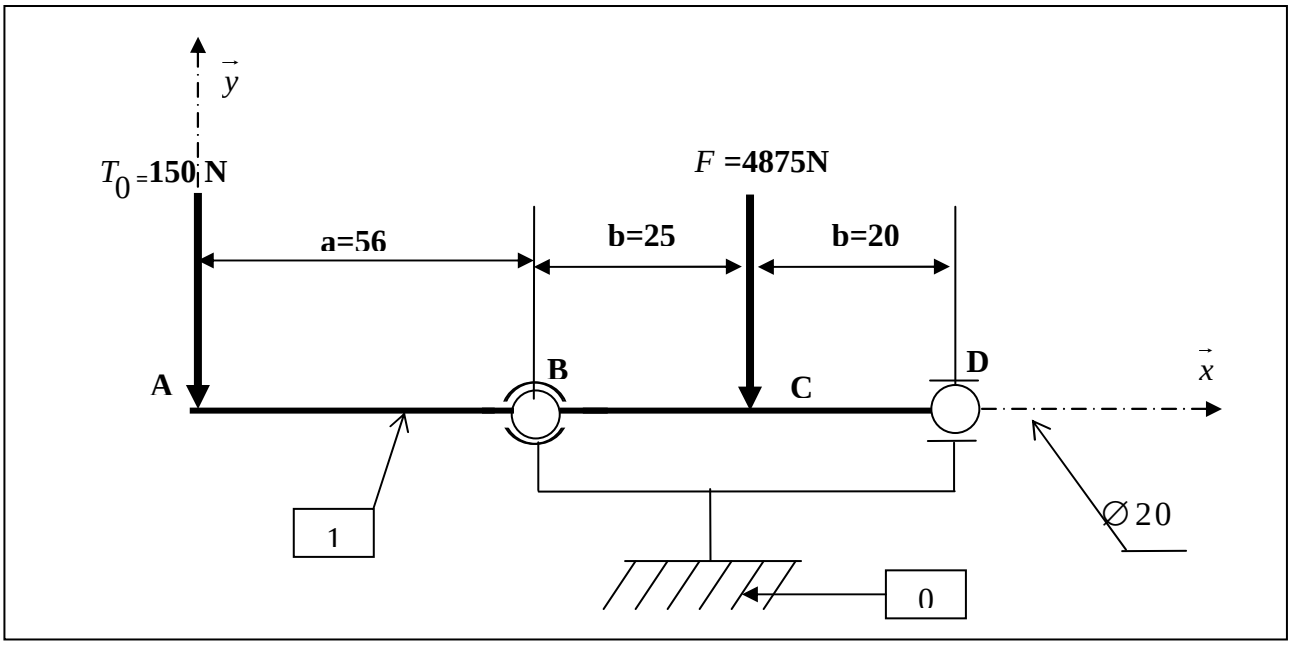
Question n°18: Quels sont les principaux défauts qui peuvent survenir lors du moulage en moule permanent.

Partie E ETUDE DE LA RESISTANCE MECANIQUE

L'objectif de cette partie est de vérifier sa résistance à la sollicitation de flexion.

L'étude de la déformée de l'arbre excentrique **(1)**, en résistance des matériaux, peut être menée avec les modèles suivants :

- Pièce=poutre de section droite circulaire de diamètre $\varnothing 21$ supposé constant.
- Actions mécaniques= glisseurs dont la résultante est supposée constante.



L'arbre excentrique est entraîné par la courroie de distribution (non représenté), on modélise la tension cumulée des courroies par un glisseur dont la résultante T_0 vaut $150\ N$.

On modélise l'effort du à la pression du gazole en phase de refoulement par un glisseur dont la résultante F vaut $4875\ N$.

On adoptera le schéma d'étude définie sur ci-dessus .celui-ci est en acier 35 CrMo 4, le module de Young vaut $E = 210000\ N/mm^2$; la limite d'élasticité $\mathrm{Re} = 560\ MPa$.

Le coefficient de sécurité retenu pour ce type de construction $s = 4$.

On néglige le poids de la poutre.

Question n°19: Déterminer les actions mécaniques de contact aux appuis B et D.

Question n°20: Exprimer le moment de fléchissant $Mf(x)$ dans les zones AB, BC et CD en fonction de T_0 et F .Tracer le diagramme correspondant.

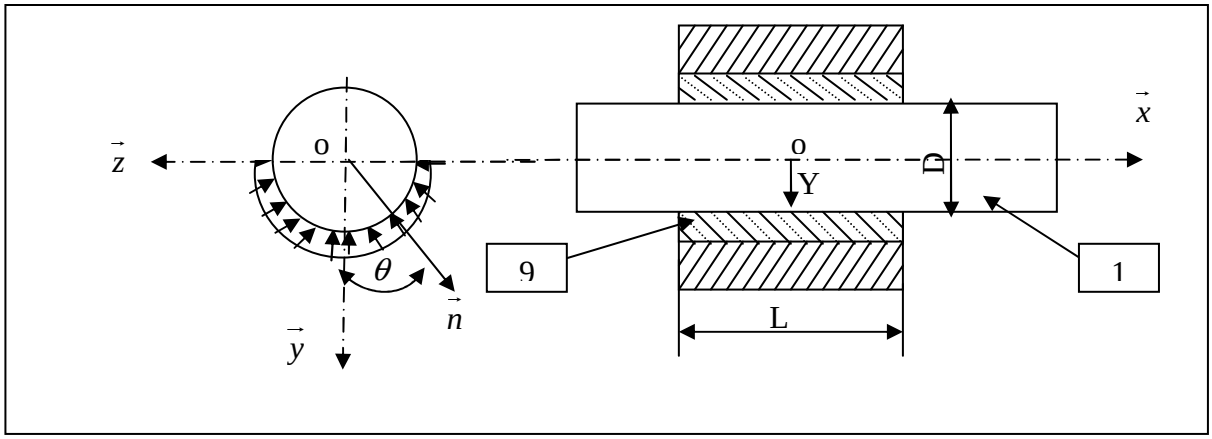
Question n°21: Calculer la contrainte maximale de flexion dans l'arbre. conclure

Etude statique : Palier lisse

L'objectif de cette partie est de vérifier que la pression de contact de l'arbre excentrique **(1)** sur

Le coussinet **(9)** est inférieur à la pression admissible $p_a = 8daN/cm^2$.

On considère l'arbre excentrique **(1)**, de rayon R, monté dans une bague en bronze **(9)** de longueur L (figure ci-dessous).



Soit $R(O,\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{z_0})$ est un repère lié au coussinet **(9).**l'origine o est au milieu du coussinet 9.On suppose que le contact entre **(1)** et **(9)** est parfait (sans frottement), et se fait sur le$1/2$ cylindre inférieur de diamètre D. La pression de contact est supposée uniforme exercée par **(9)** sur **(1)** en un point M courant de la surface de contact, on pose $p(M) = -p.\vec{n}$

En un point M de la surface de contact on définit $\overrightarrow{OM} = R\vec{n} + x\,\vec{x}$ et $\theta = (\vec{y},\vec{n})$

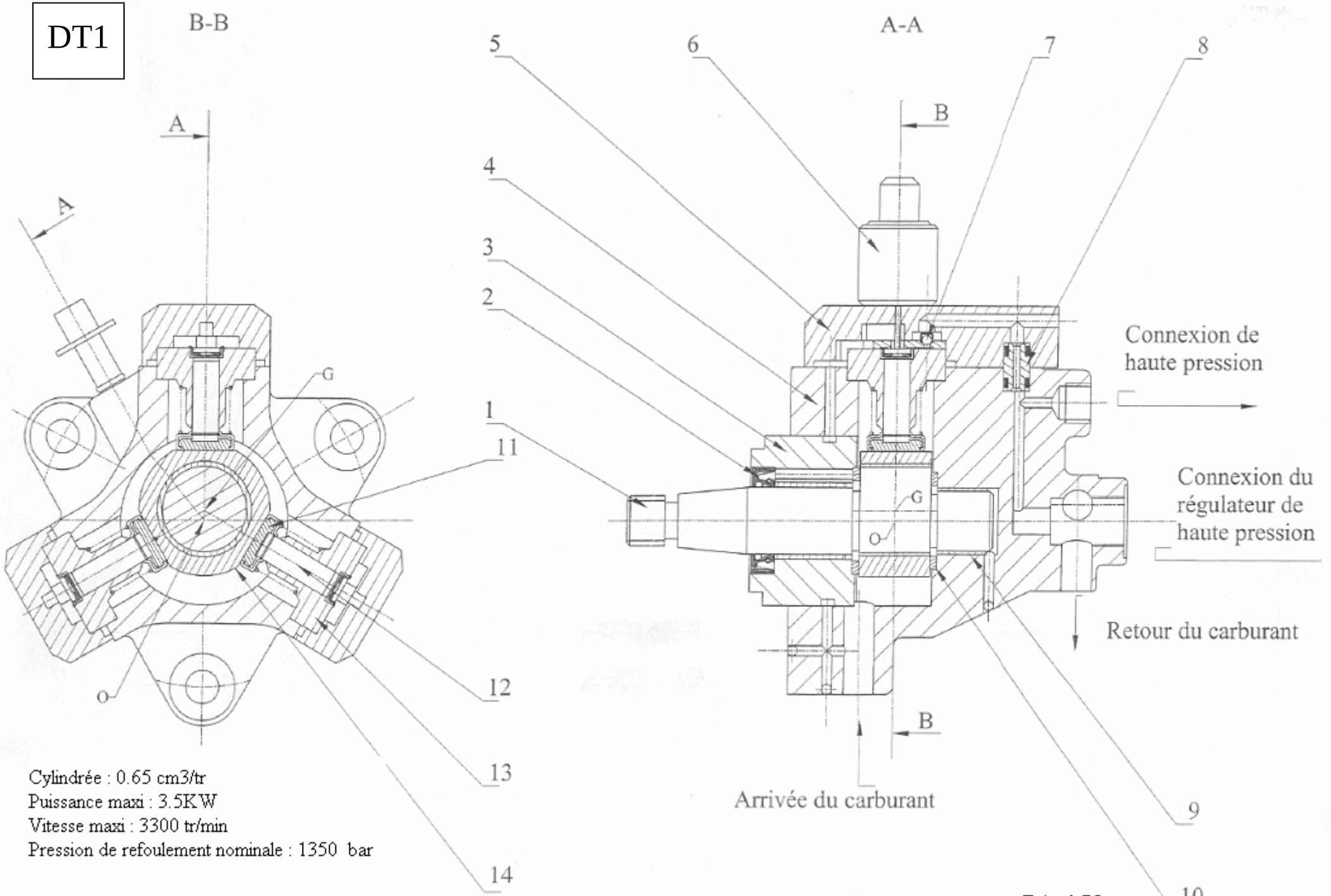
L'action mécanique de (1) sur (9), est représentée globalement au point o, par le torseur :

$$\{\tau_{1\to 9}\} = \left\{\begin{array}{l} \overrightarrow{R} = Y.\vec{y} \\ \overrightarrow{M_O} \end{array}\right\}_O$$

Application numérique : Y=2503 N ; D=21mm ; L=32mm

Question n°22: Déterminer la pression au niveau de contact p en fonction D, L et Y. Conclure.

DT1



Cylindrée : 0.65 cm3/tr
Puissance maxi : 3.5KW
Vitesse maxi : 3300 tr/min
Pression de refoulement nominale : 1350 bar

Ech : 0.75

POMPE HAUTE PRESSION HDI

DT2

POMPE HAUTE PRESSION -NOMENCLATURE

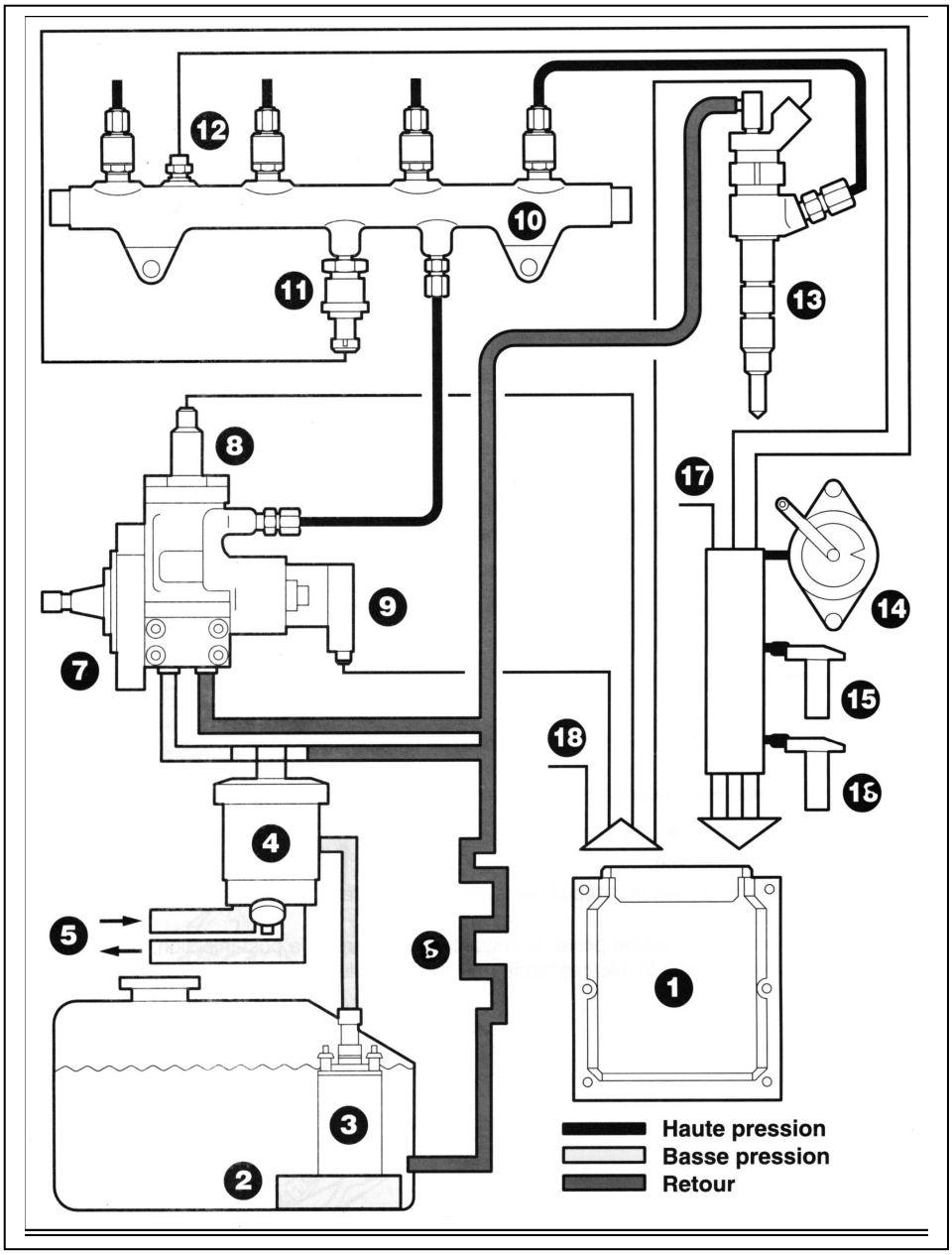
Repère	Désignation	observations
1	Arbre excentrique	
2	Joint à lèvres	
3	Flasque	
4	Corps de pompe	
5	Gluasse	
6	Désactivateur du 3ème piston	
7	Clapet anti-retour	
8	Pièces de liaison	
9	Coussinet	
10	Cales	
11	Patin	
12	Piston	
13	Cylindre	
14	Bague à méplat	

DT 3

VUE D'ENSEMBLE DU SYSTEME D'ALIMENTATION

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.



DT 4

PARAMETRAGE ET MODELISATION DE LA POMPE HAUTE PRESSION HDI

- **Le corps de pompe 4**

Il est considéré comme fixe et le repère $R_0(o,\vec{x}_0,\vec{y}_0,\vec{z}_0)$ qui lui est associé est galiléen.

- **L'arbre excentrique 1**

Il est en liaison pivot d'axe $(o,\vec{z}_0)$ 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 : $\overrightarrow{\Omega_{1/4}} = \theta'\vec{z}_0$ avec $\theta' = \omega = cste$

- **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.

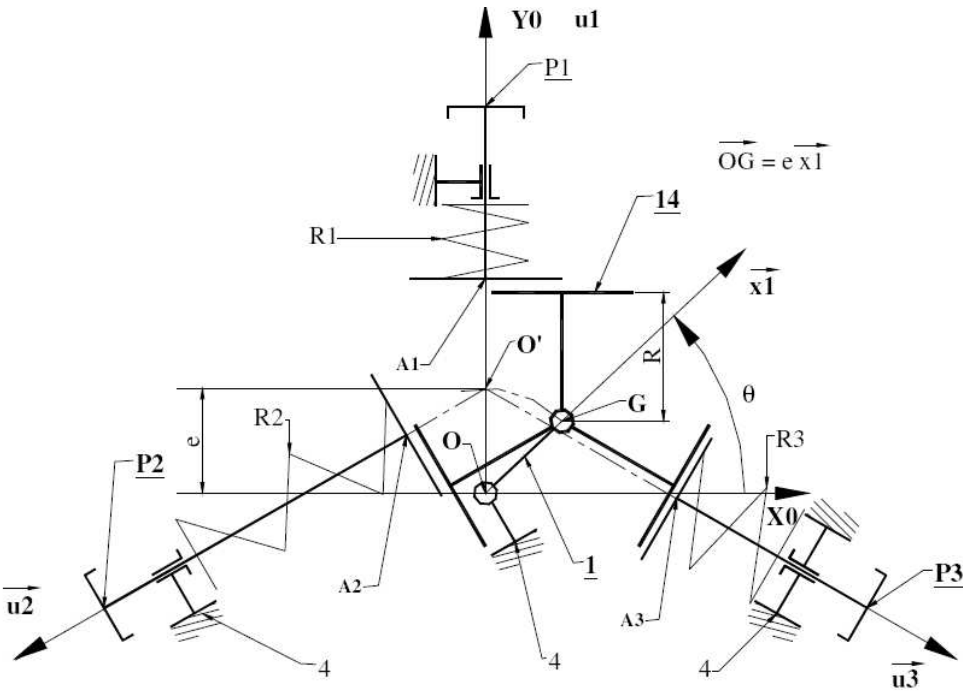
Une étude cinématique préalable a permis de montrer que la bague 14 est animée d'un mouvement de translation circulaire par rapport au corps 4, donc $\overrightarrow{\Omega_{14/4}} = \overrightarrow{\Omega_{14/R_0}} = \vec{0}$.

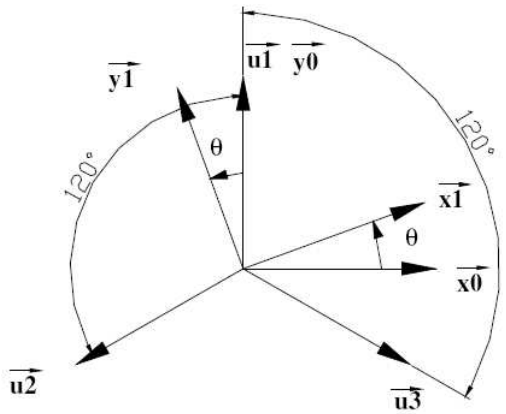
- **Les pistons Pi (P1, P2, P3)**

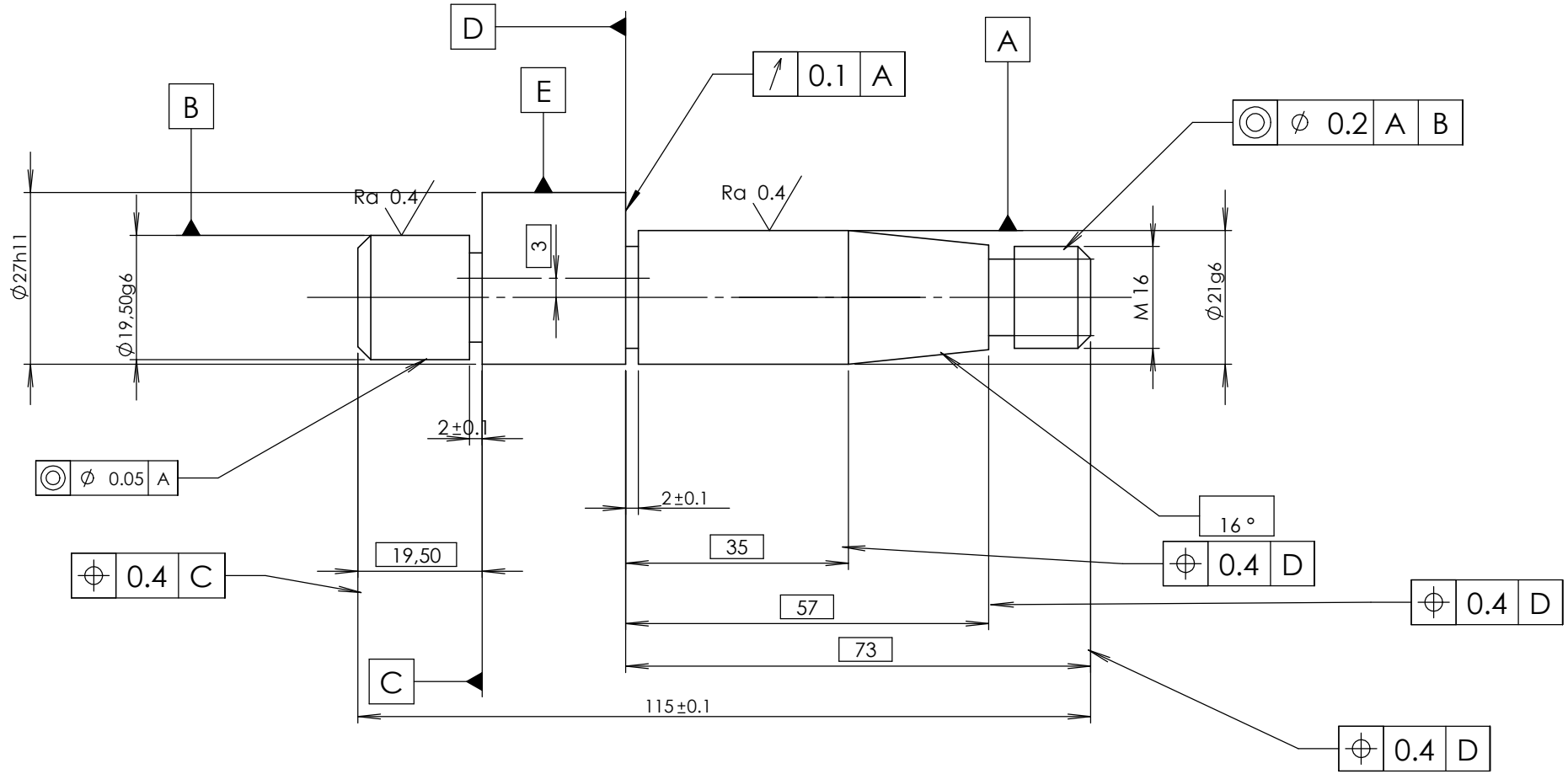
La position d'un piston Pi est repérée par ri (θ) = ri = O'Ai. La section droite d'un piston en contact avec le Gazole est notée S, sa masse m_p. Un piston Pi est en contact plan sur plan sans frottement avec la bague à méplats 14.

- **Les trois ressorts Ri**

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







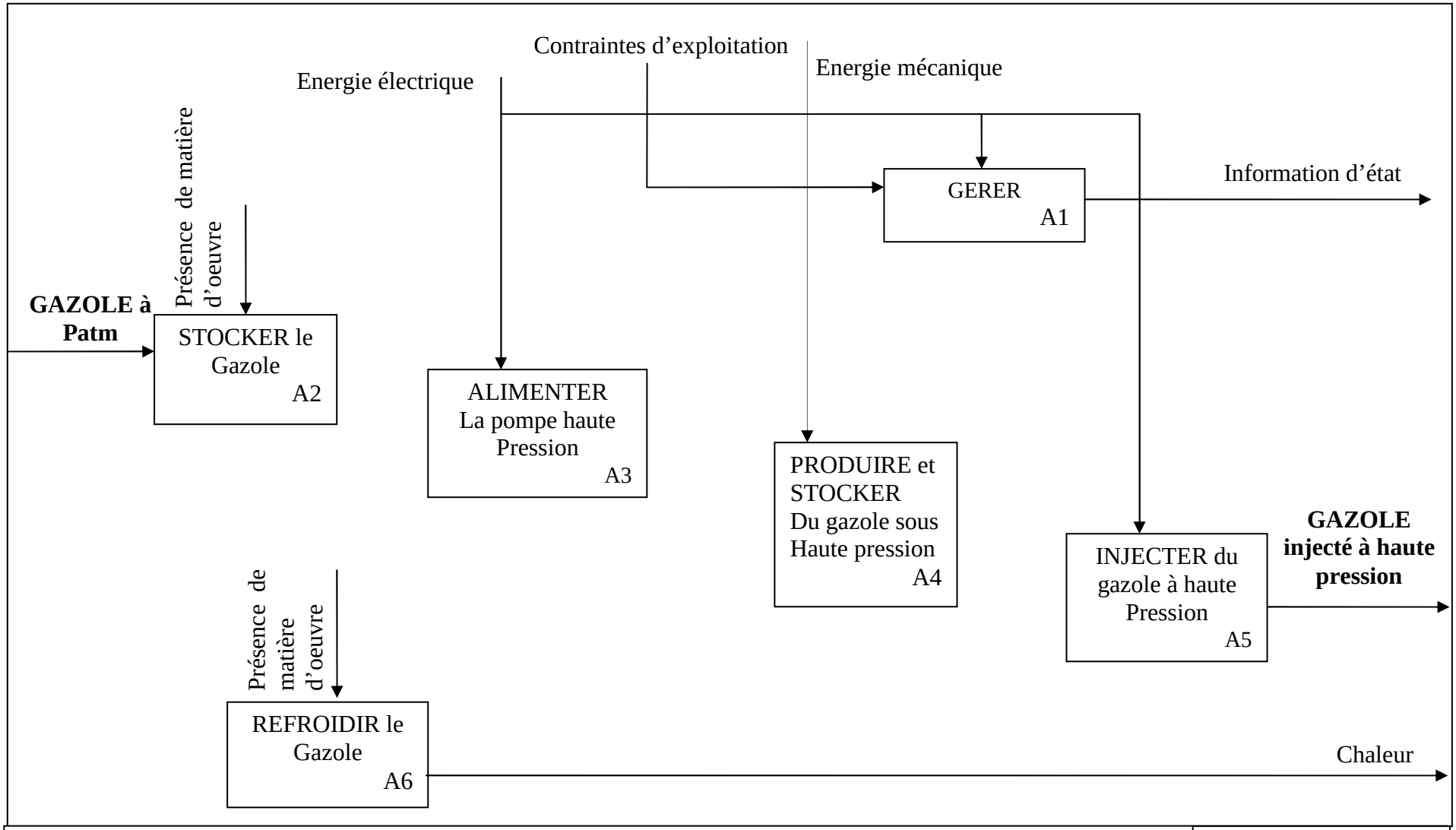
Etat de surface géneral sauf indication

Ra 6.3

		arbre excentrique	35CrMo4	
Rep	Nb	designation	matière	reference
Ech 1:1		POMPE HDi		
CNC TSI 2008				
20/04/2008		**Document technique DT5**		

Document réponse N° 1

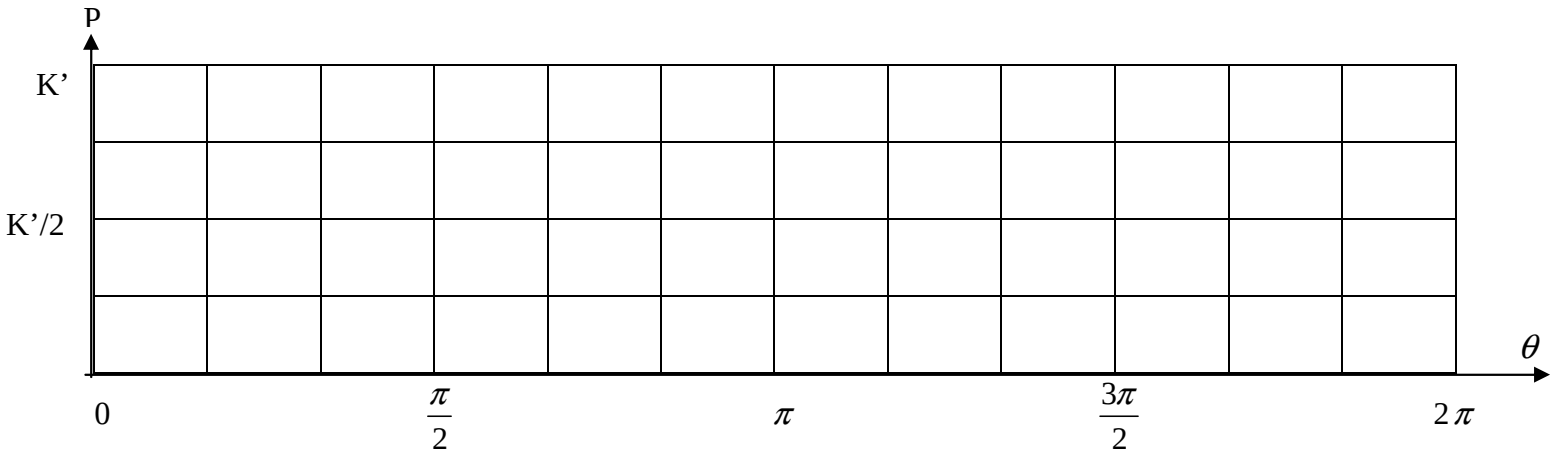
À agrafer sur la copie de composition de l'épreuve du génie mécanique



Document réponse N° 2

À agrafer sur la copie de composition de l'épreuve du génie mécanique

	0		$\frac{\pi}{2}$		π			$\frac{3\pi}{2}$			2π
α_1	1	1	1						1	1	1
α_2		1	1	1	1	1	1				
α_3						1	1	1	1	1	



Document réponse N° 3

À agrafer sur la copie de composition de l'épreuve du génie mécanique

TOLERANCEMENT NORMAIISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification ……	**Eléments non idéaux** Extraits du « skin modèle »		**Eléments idéaux**		
Type de spécification: …… ……	**Elément (s) tolérancé(s)**	**Elément(s) de référence**	**Référence spécifiée**	**Zone de tolérance**	
Condition de conformité: L'élément tolérance doit se situer tout entier dans la zone de tolérance	Unique groupe	Unique groupe	Simple commune système	Simple composée	**Contraintes** Orientation position Par rapport à La référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition					

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Analyse fonctionnelle et structurelle : diagrammes d'ingénierie système, chaînes d'information et de puissance
- Modélisation cinématique des systèmes : liaisons, graphe et schéma cinématique
- Dynamique des solides et des systèmes : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage dynamique
- Grandeurs inertielles et cinétiques : masse, centre d'inertie, matrice d'inertie, torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Représentation géométrique du réel : dessin technique et maquette numérique

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/cnc/tsi