



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Campagne 2013**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

SESSION 2013

### U22 - SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures - Coefficient : 2

### SUJET

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

Le sujet est composé de 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

#### Matériel autorisé

Une calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans moyen de transmission, à l'exclusion de tout autre élément matériel ou documentaire. (Circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999 ; BOEN n°42).

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

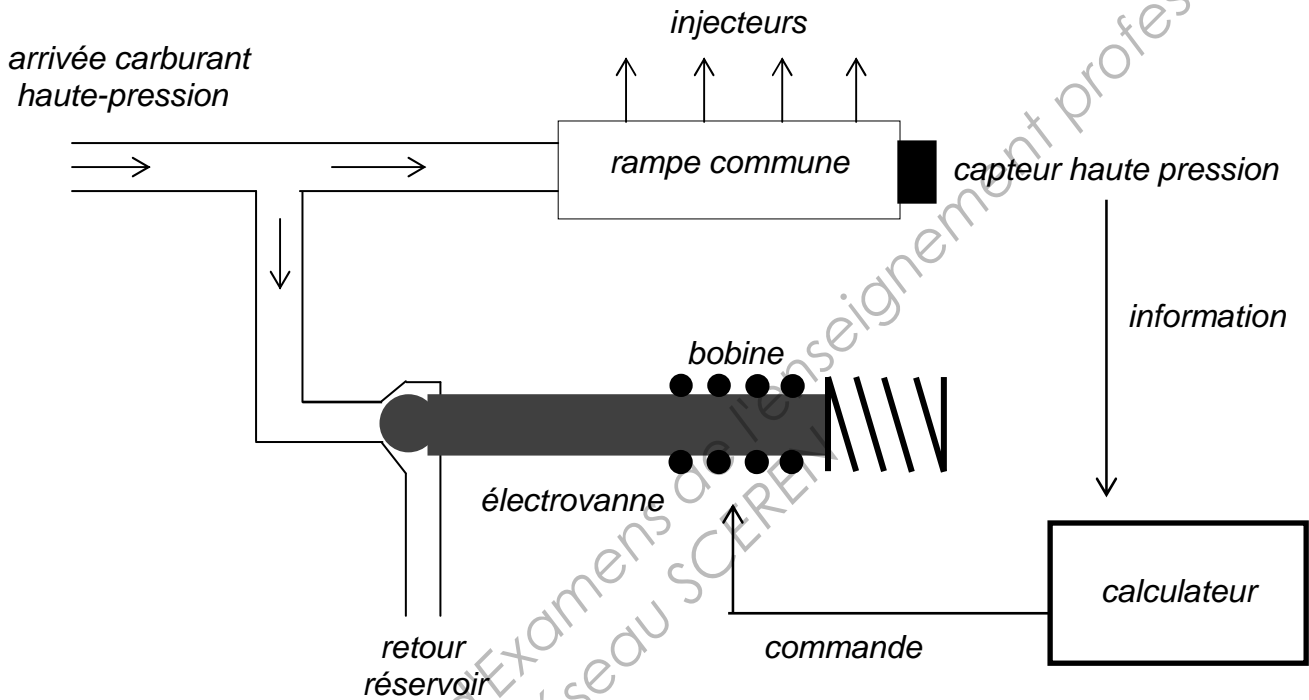
<b>CODE ÉPREUVE :</b> 1306MOE2SC	<b>EXAMEN :</b> BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	<b>SPÉCIALITÉ :</b> MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
<b>SESSION :</b> 2013	<b>SUJET</b>	<b>ÉPREUVE :</b> U22 - SCIENCES PHYSIQUES	
<b>Durée : 2 h</b>	<b>Coefficient : 2</b>	<b>SUJET N° : 08ED13</b>	<b>Page : 1/8</b>

# Problème d'Électricité (10 points)

## Régulation de la pression carburant

Dans un système d'injection Common Rail, le carburant est envoyé dans la rampe commune à tous les injecteurs selon un processus décrit par le schéma ci-dessous.

Schéma de principe :



Un capteur haute-pression mesure la pression du carburant au niveau de la rampe, l'information est ensuite envoyée au calculateur.

Une électrovanne limite et régule la pression du carburant à la valeur définie par le calculateur, en fonction notamment du régime et de la charge moteur.

Lorsque la bobine de l'électrovanne est alimentée en courant, le noyau magnétique est alors soumis à une force électromagnétique qui s'ajoute à celle du ressort pour fermer la vanne. Quand la vanne est fermée, la pression du carburant augmente dans la rampe. Quand la pression est suffisante, l'électrovanne, commandée par le calculateur, stabilise la pression en laissant s'échapper une partie du carburant vers le retour réservoir.

La pression du carburant dépend donc de l'intensité du courant alimentant la bobine.

La partie A du problème étudie le capteur haute pression.

La partie B s'intéresse au fonctionnement de l'électrovanne sans aborder la régulation commandée par le calculateur.

Les deux parties peuvent être traitées indépendamment.

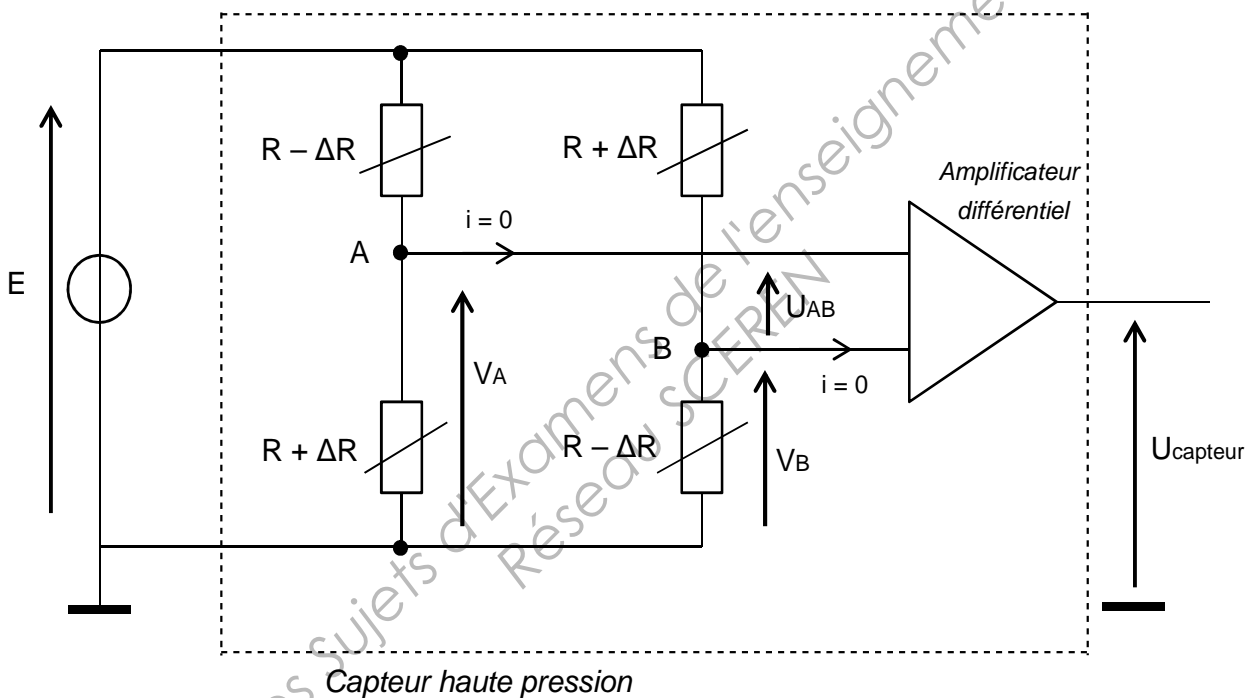
## Partie A : Le capteur haute-pression

Le capteur haute-pression, alimenté par une tension continue  $E = 5,0 \text{ V}$ , est de type piézorésistif : la valeur des résistances varie en fonction de la pression  $P$  du carburant dans la rampe.

Pour une pression  $P$ , deux résistances valent  $R + \Delta R$  et les deux autres valent  $R - \Delta R$ . Elles sont disposées en pont selon le schéma ci-dessous.

La tension  $U_{AB}$  en sortie du pont de mesure, très faible, est amplifiée avant d'être envoyée au calculateur de telle sorte que  $U_{\text{capteur}} = 100 U_{AB}$ .

Schéma électrique du capteur :



A.1/ Exprimer la tension  $V_A$  en fonction de  $\Delta R$ ,  $R$  et  $E$ .

A.2/ Exprimer la tension  $V_B$  en fonction de  $\Delta R$ ,  $R$  et  $E$ .

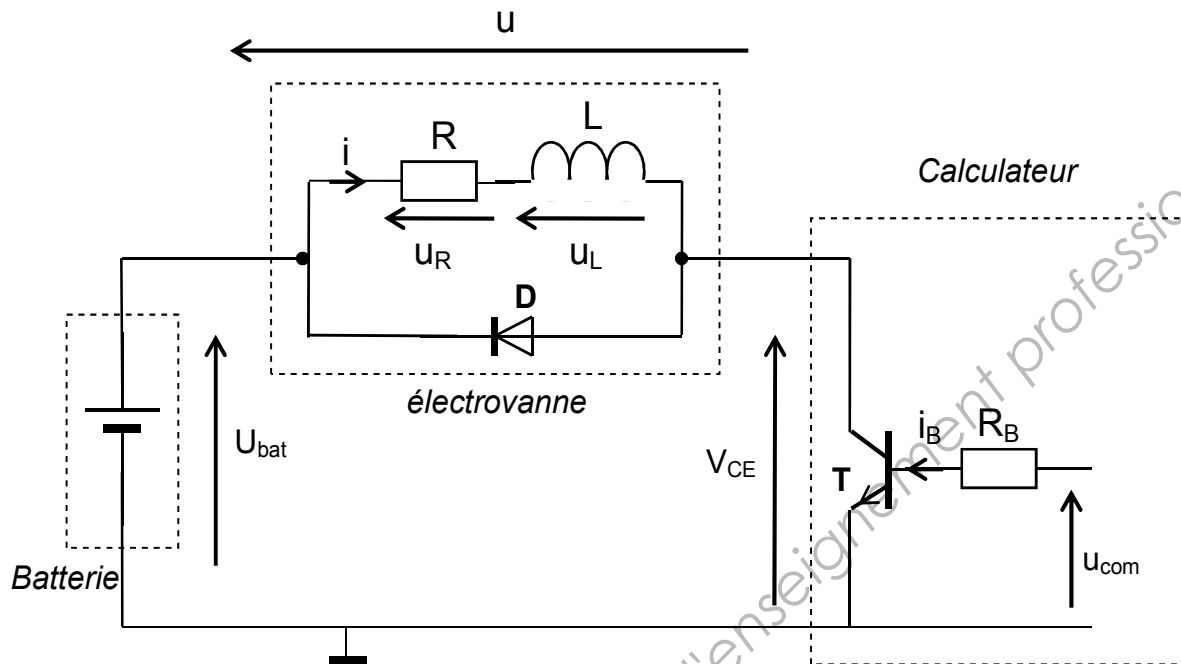
A.3/ La variation relative de résistance  $\frac{\Delta R}{R}$  est proportionnelle à la pression  $P$  selon la relation suivante :  $\frac{\Delta R}{R} = k \times P$ , où  $k$  est une constante.

Montrer que la tension  $U_{AB}$  peut s'exprimer par  $U_{AB} = kE \times P$ .

A.4/ En exploitant la courbe 1 en annexe page 6/8, déterminer la valeur du coefficient  $k$ .

## Partie B : L'électrovanne de régulation de pression

Schéma électrique de l'électrovanne et de sa commande :



L'électrovanne de régulation est modélisée par une bobine d'inductance  $L = 6,2 \text{ mH}$  en série avec une résistance  $R = 3,1 \Omega$ , l'ensemble étant en parallèle avec la diode de roue libre  $D$  est supposée parfaite.

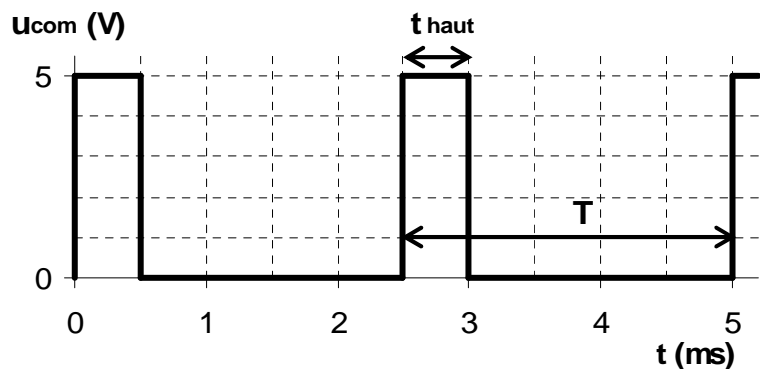
$U_{\text{bat}} = 14 \text{ V}$ . Le transistor fonctionne en commutation, avec  $V_{\text{CE sat}} = 0 \text{ V}$ .

L'électrovanne ne réagit pas en temps réel aux variations de l'intensité  $i(t)$  du courant qui traverse le dipôle  $(R, L)$ . Elle est en réalité pilotée par la valeur moyenne  $i_{\text{moy}}$ .

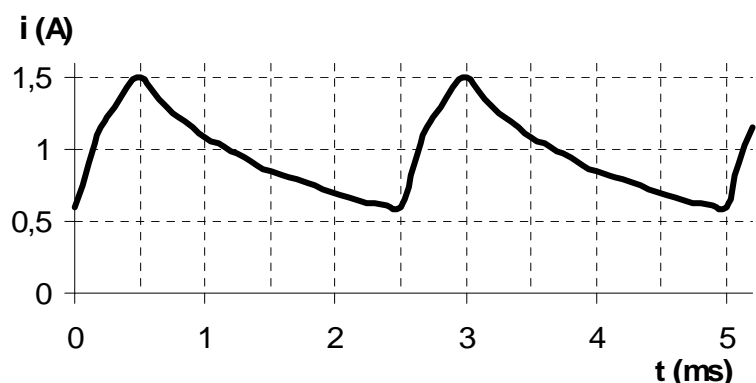
On étudie le montage lorsque la tension de commande  $u_{\text{com}}$  a la forme ci-contre :

Cette tension est caractérisée par son rapport cyclique  $\alpha$ .

$$\text{avec } \alpha = \frac{t_{\text{haut}}}{T}$$



L'intensité  $i(t)$  du courant qui circule dans la bobine a l'allure suivante :



B.1/ Pour chacune des deux valeurs prises par  $u_{com}$ , déterminer l'état du transistor ainsi que son modèle équivalent entre le collecteur C et l'émetteur E.

B.2/ Pour chacun des deux cas suivants, représenter le schéma équivalent de la partie de circuit dans laquelle circule le courant  $i(t)$  :

a/ quand  $i(t)$  augmente (la bobine emmagasine de l'énergie électromagnétique).

b/ quand  $i(t)$  diminue (la bobine restitue de l'énergie électromagnétique).

B.3/ La tension  $u(t)$  aux bornes du dipôle (R, L) vaut  $U_{bat}$  quand l'intensité du courant  $i(t)$  augmente et est nulle quand l'intensité du courant diminue.

a/ Tracer précisément la courbe  $u = f(t)$  sur une durée limitée à deux périodes.

b/ Déterminer la valeur du rapport cyclique de cette tension  $u$ .

B.4/ a/ Lorsque l'intensité du courant  $i(t)$  diminue, établir l'équation différentielle vérifiée par  $i(t)$  en faisant apparaître la constante de temps définie par :  $\tau = \frac{L}{R}$ .

b/ Calculer la valeur de la constante de temps.

c/ Justifier par le calcul le fait qu'ici  $i(t)$  ne s'annule pas.

B.5/ Lorsque les variations de  $i(t)$  sont périodiques, et qu'ainsi un régime permanent est atteint, la relation entre les valeurs moyennes de  $u(t)$  et de  $i(t)$  s'écrit :  $u_{moy} = R \times i_{moy}$ .

a/ En utilisant la question B.3, exprimer  $u_{moy}$  en fonction de  $U_{Bat}$  et de  $\alpha$ .

b/ En déduire l'expression de  $i_{moy}$  dans laquelle figure le rapport cyclique  $\alpha$  et montrer qu'ici  $i_{moy} = 0,90$  A.

c/ En utilisant la courbe 2 page 6/8 " Annexe au problème d'électricité ", déterminer la valeur de la pression P du carburant.

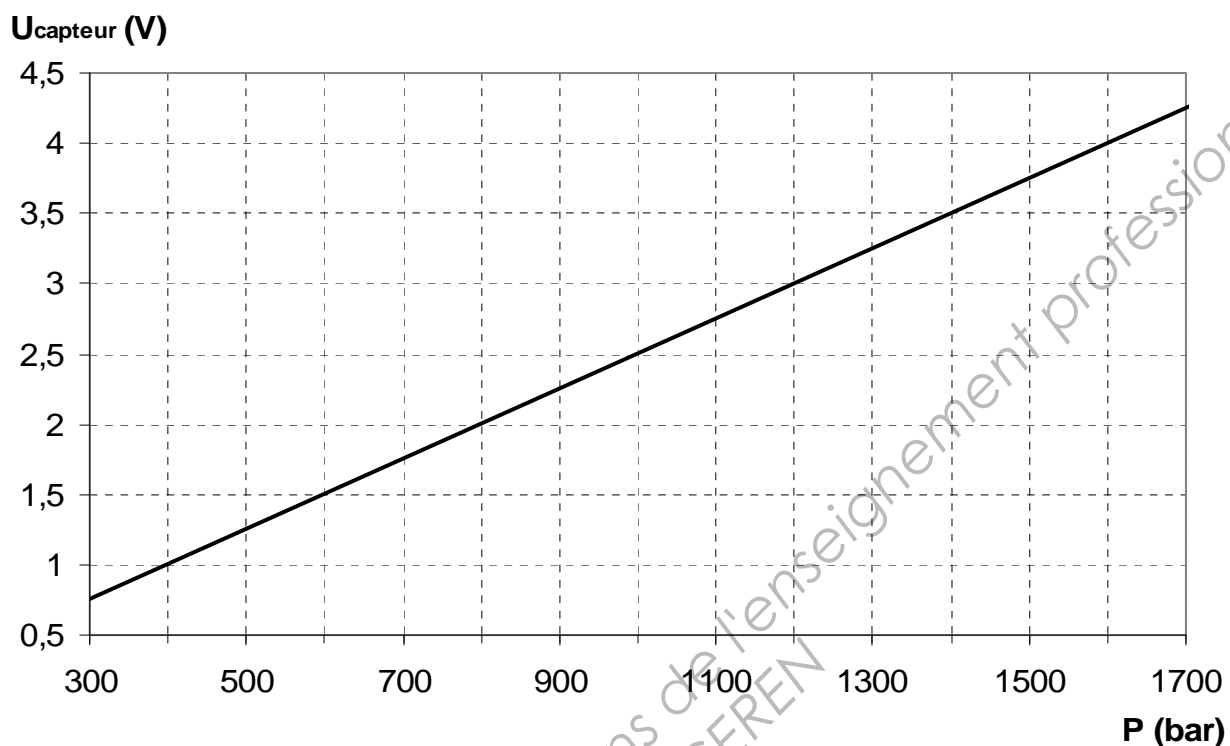
B.6/ On modifie le régime du moteur et le capteur haute-pression (étudié en partie A) fournit alors une tension  $U'_{capteur} = 3,5$  V.

a/ En utilisant les courbes tracées page 6/8 " Annexe au problème d'électricité ", déterminer  $i'_{moy}$ , la valeur moyenne de l'intensité du courant qui circule alors dans l'électrovanne.

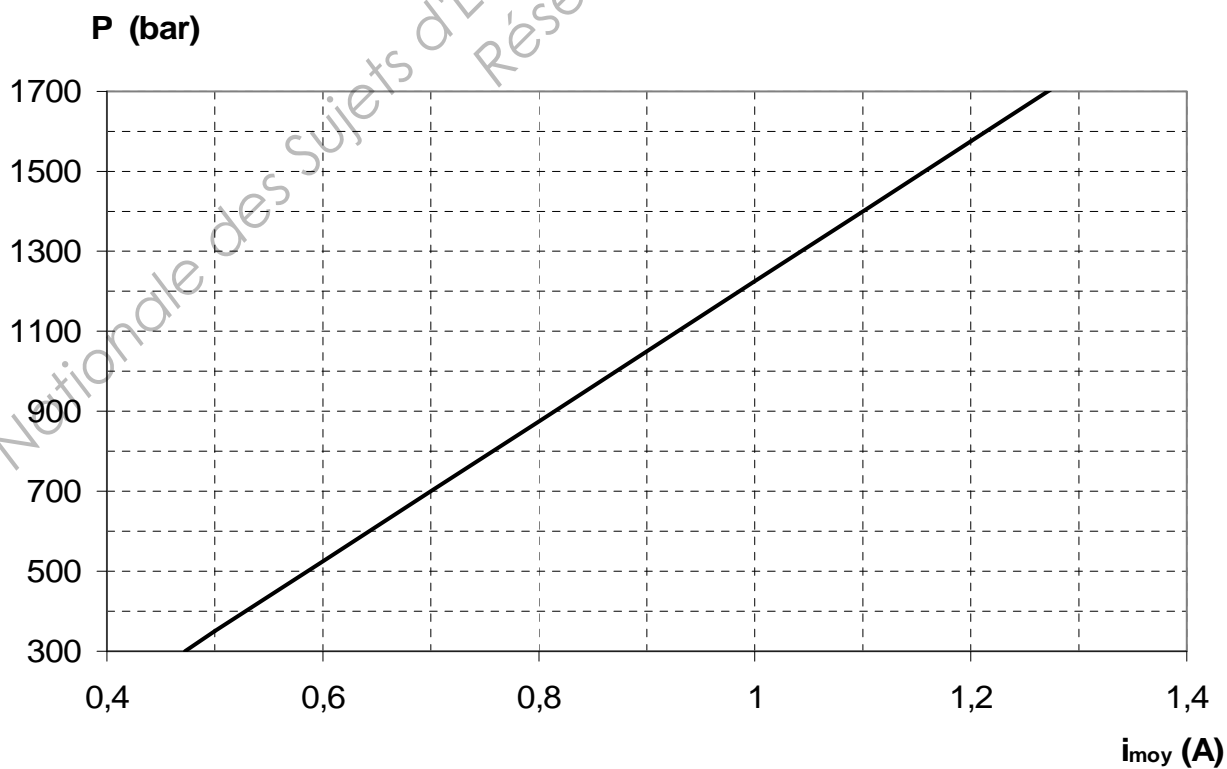
b/ En déduire la nouvelle valeur  $\alpha'$  du rapport cyclique permettant d'atteindre la nouvelle pression de carburant. Commenter cette variation.

## Annexe au problème d'électricité

**Courbe 1** : Tension fournie par le capteur en fonction de la pression du carburant



**Courbe 2** : Pression du carburant en fonction de l'intensité moyenne dans l'électrovanne



# Problème de Thermodynamique (10 points)

## Moteur hybride

On s'intéresse à un véhicule hybride essence/électrique qui peut être propulsé, selon la situation, soit par son moteur thermique seul, soit par son moteur électrique seul, soit par les deux moteurs simultanément.

Le fonctionnement de son moteur thermique peut être modélisé par un cycle d'Atkinson-Miller qui dérive du cycle de Beau de Rochas. La différence provient d'un retard significatif à la fermeture de la soupape d'admission.

### Données :

L'étude porte sur un seul cylindre de volume utile  $V = 444 \text{ cm}^3$ .

Le volume total du cylindre est  $V_A = 481 \text{ cm}^3$  (piston situé au Point Mort Bas).

Le volume résiduel du cylindre est noté  $V_C$  (piston situé au Point Mort Haut).

Le mélange gazeux air-essence est stœchiométrique et il est supposé se comporter comme un gaz parfait.

Sa capacité thermique massique à volume constant est  $c_V = 717 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Sa constante thermodynamique est  $r = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Son coefficient isentropique est  $\gamma = 1,4$ .

## Partie A : Étude du cycle d'Atkinson-Miller

### Description du cycle :

Au point A : Le piston est au Point Mort Bas. La soupape d'admission est ouverte. Le cylindre contient le mélange frais air-essence qui occupe le volume  $V_A$ .

De A à B : La soupape d'admission reste ouverte et, en remontant, le piston refoule dans la tubulure d'admission une partie du gaz précédemment admis. On considère qu'au cours du refoulement à pression constante le travail reçu par le gaz est nul.

Au point B : Le piston a effectué un quart de sa course, le volume de gaz est alors  $V_B$ . La soupape d'admission se ferme.  $P_B = 1,0 \text{ bar}$ .  $T_B = 293 \text{ K}$ .

De B à C : compression adiabatique réversible (ou isentropique)

De C à D : combustion isochore.  $T_D = 3194 \text{ K}$ .

De D à E : détente isentropique.  $T_E = 1144 \text{ K}$ .

De E à A : transformation isochore.

A.1/ Donner l'allure du cycle thermodynamique dans un diagramme (P, V) en y plaçant les points A, B, C, D et E.

A.2/ a/ Montrer que la valeur du volume au point B, quand le piston a effectué un quart de sa course, est  $V_B = 370 \text{ cm}^3$ .



b/ Déterminer la valeur du rapport volumétrique de compression  $\text{compression} = \frac{V_B}{V_C}$

c/ Déterminer la valeur du rapport volumétrique de détente  $\text{détente} = \frac{V_E}{V_D}$

A.3/ Montrer que la masse  $m$  de mélange gazeux qui subit la compression adiabatique est égale à :  $m = 4,4 \cdot 10^{-4}$  kg.

A.4/ Montrer qu'en fin de compression,  $T_C = 736$  K.

A.5/ Pour chacune des étapes du cycle, établir l'expression du travail reçu par le gaz et calculer numériquement ces différents travaux.

A.6/ a/ Donner l'expression générale du rendement thermodynamique.

b/ Calculer  $\eta_{\text{Atk}}$ , la valeur du rendement thermodynamique de ce cycle d'Atkinson-Miller.

## Partie B : Comparaison avec un cycle de Beau de Rochas

On va comparer le moteur précédent à un moteur de même cylindrée fonctionnant selon un cycle de Beau de Rochas (2 adiabatiques, 2 isochores) avec un rapport volumétrique fixe  $\varepsilon = 10$ .

B.1/ Le rendement thermodynamique d'un cycle de Beau de Rochas est  $\eta_{\text{BdR}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$

Comparer la valeur du rendement  $\eta_{\text{Atk}}$  et celle de  $\eta_{\text{BdR}}$  calculé avec  $\varepsilon = 10$ .

B.2/ a/ Quelle devrait être la valeur du rapport volumétrique  $\varepsilon$  d'un cycle de Beau de Rochas pour obtenir un rendement thermodynamique de 65% ?

b/ Quel risque peut-on rencontrer avec un moteur à cycle de Beau de Rochas lorsque le rapport volumétrique augmente sensiblement ?

B.3/ Pour un moteur à cycle de Beau de Rochas de cylindrée  $444 \text{ cm}^3$  et de rapport volumétrique  $\varepsilon = 10$ , la masse de mélange gazeux admis à  $P = 1,0$  bar et  $T = 293$  K est  $m = 586$  mg.

Calculer le pourcentage d'économie de carburant réalisée par cycle lorsqu'on utilise le cycle d'Atkinson-Miller par rapport à un cycle de Beau de Rochas.

B.4/ a/ Quel inconvénient majeur, directement lié à la plus faible consommation d'essence, le moteur à cycle d'Atkinson-Miller présente-t-il par rapport au moteur de même cylindrée à cycle de Beau de Rochas ?

b/ Comment cet inconvénient est-il compensé dans l'exemple étudié ?