Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2018, filière PSI

Physique-chimie

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : véhicule automobile thermique
- Partie II : traction ferroviaire
- Partie III : pile à hydrogène et production du dihydrogène
- Partie III : conversion de puissance et commande de l'onduleur

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/psi/2018/physique-chimie

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

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PSI

PHYSIQUE - CHIMIE

Mercredi 2 mai : 8 h - 12 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont autorisées

Le sujet est composé de 3 parties, toutes indépendantes.

Les poids des différentes parties sont approximativement de 45 %, 10 % et 45 %.
Un document et des données sont disponibles en fin de sujet.

MOTORISATION ET RESSOURCE ÉNERGÉTIQUE

La croissance de la demande énergétique pose des questions essentielles pour la sauvegarde de nos modes de vie et pour le développement durable de la planète. L'approvisionnement énergétique doit satisfaire, en temps réel et de la façon la plus écologique possible, une demande variable dans le temps et dans l'espace.

Ce problème s'intéresse au domaine du transport. Il a pour but d'étudier des solutions thermiques et électriques tant au niveau de la motorisation que de l'approvisionnement en énergie.

Partie I - Véhicule automobile thermique

Étude comparative des différents carburants

Les principaux combustibles automobiles sont :
- l'essence SP98 dont l'octane C_8H_{18} est le principal constituant ;
- le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) constitué en proportion molaire d'environ 50 % de propane C_3H_8 et 50 % de butane C_4H_{10}. Une mole de GPL se compose ainsi de 0,5 mole de propane et de 0,5 mole de butane ;
- le GNV (Gaz Naturel pour Véhicules) essentiellement constitué de méthane CH_4.

Q1. Écrire les réactions de combustion d'une mole de ces hydrocarbures par le dioxygène de l'air qui aboutit à la formation de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone.

Q2. Évaluer pour la combustion du méthane l'enthalpie de réaction $\Delta_rH_1°$ à 298 K. Commenter son signe.

Q3. Pour les combustions respectives d'une mole de GPL et d'une mole d'essence SP98, on a $\Delta_rH_2° = -2\,351$ kJ.mol^{-1} et $\Delta_rH_3° = -5\,068$ kJ.mol^{-1}.
En déduire pour chacun de ces trois combustibles, l'énergie libérée par mole de CO_2 formée.

Q4. Le « bonus écologique », allègement de taxe accordé pour le GPL, est-il de nature à contribuer à limiter les émissions de CO_2 ?

Étude thermodynamique du moteur PSA EB2

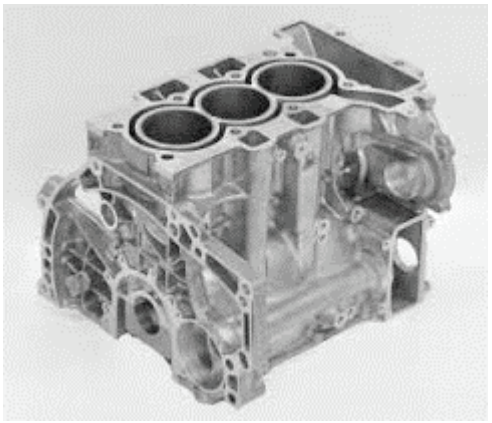


Figure 1 – Moteur PSA EB2

Ce moteur (**figure 1**), connu sous sa dénomination commerciale 1,2 Puretech, équipe en particulier les Peugeot 108, 208 et 2008, les Citroën C1, C3, C4 Cactus ainsi que la DS3.
Compte tenu de la faible proportion d'essence dans le mélange air-essence, celui-ci sera assimilé uniquement à l'air qu'il contient, lui-même considéré comme un gaz parfait diatomique.

Q5. Déterminer, à l'aide de la cylindrée et du rapport volumétrique de compression, les valeurs numériques exprimées en cm^3 des volumes V_1 et V_2 correspondant respectivement au point mort haut et au point mort bas.

Q6. Tracer dans un diagramme de Watt (pression en ordonnées, volume d'un des trois cylindres en abscisses) l'allure du cycle idéalisé, appelé cycle de Beau de Rochas et décrit dans le **document**. On veillera à faire figurer les points A, B, C, D et E.
Le cycle réel est un peu différent du cycle idéalisé. Expliquer, par une argumentation phrasée de moins de 50 mots, en quoi le cycle réel diffère du cycle idéal.

Dans la suite du problème, le modèle adopté est celui du cycle idéal décrit à pleine puissance par le moteur EB2 et synthétisé dans le **tableau 1**.

Point	A	B	C	D	E
P (bar)	1	1	P_C	P_D	4
V (cm^3)	40	440	40	40	440
T(K)	300	300	T_C	2 820	1 193

Tableau 1 – Cycle thermique du moteur EB2

Q7. Déterminer les valeurs manquantes : P_C, P_D, T_C.

Q8. Déterminer la valeur numérique du travail W_{BC} reçu par le gaz au cours de la compression BC.

Q9. Déterminer le transfert thermique Q_{CD} reçu par le gaz au cours de l'explosion CD.

Q10. On donne : $|W_{DE}| = 596$ J et $|Q_{EB}| = 328$ J . Déterminer la valeur numérique du rendement R_{dt} du cycle*.

* On remarquera qu'il s'agit d'un rendement purement thermodynamique pour un cycle idéal. Il ne tient pas compte des considérations mécaniques. En pratique, le rendement global est moins bon et dépend fortement du point de fonctionnement (couple-vitesse) considéré. Ce résultat permet néanmoins de comparer des cycles et de poser des limites.

Q11. Reconstruire l'expression du rendement d'un cycle de Carnot dont les températures extrémales sont : T_{fr} pour la source froide et T_{ch} pour la source chaude. Comparer le rendement R_{dt} trouvé précédemment avec celui d'un cycle de Carnot pour lequel $T_{fr} = 300$ K et $T_{ch} = 2\,820$ K. Conclure.

Q12. Ce cycle est-il compatible avec la puissance maximale de 82 ch à 5 750 tr/min annoncée par le constructeur. On remarquera qu'il faut deux tours de vilebrequin pour effectuer un cycle thermodynamique.

Q13. On supposera que ce cycle correspond aussi à celui décrit par une Peugeot 108 lors d'une utilisation autoroutière effectuée à la vitesse stabilisée de 130 km/h, le moteur tournant alors au régime de 3 600 tr/min.
Évaluer dans ces conditions d'utilisation la consommation d'essence exprimée en L/100 km, ainsi que le rejet de CO_2 exprimé en g/km. Commenter.

Approvisionnement en carburant

L'essence est stockée dans un réservoir dont la contenance est d'environ 40 litres à la pression atmosphérique P_{atm}. Une pompe à essence assure un écoulement permanent de l'essence dans des durites de 6 mm de diamètre. La pression en sortie de pompe vaut : $P = P_{atm} + \Delta P$, avec $\Delta P = 3$ bars. Le débit volumique est de l'ordre de 100 $L.h^{-1}$. Ces durites alimentent en permanence les injecteurs qui assurent le besoin en carburant du véhicule. Le surplus, non injecté dans les cylindres, retourne dans le réservoir.

Q14. L'écoulement dans les durites est-il laminaire ou non ? Le profil de vitesse du fluide, à travers une section droite de durite, est-il uniforme ou parabolique ?

Q15. Évaluer, en justifiant au mieux votre modèle, la puissance de la pompe à essence.

Partie II - Traction ferroviaire

Les motrices électriques circulent sur des voies parfaitement définies par les rails. L'approvisionnement en énergie électrique peut être satisfait, à la demande, au moyen d'un dispositif du type caténaire-pantographe. Les pantographes, doublés d'archets en carbone, assurent la jonction électrique entre la motrice et la caténaire (**figure 2**).



Figure 2 – Dispositif caténaire-pantographe

La caténaire est constituée d'un câble de cuivre pur, tendu et soutenu par un câble porteur (**figure 3**).

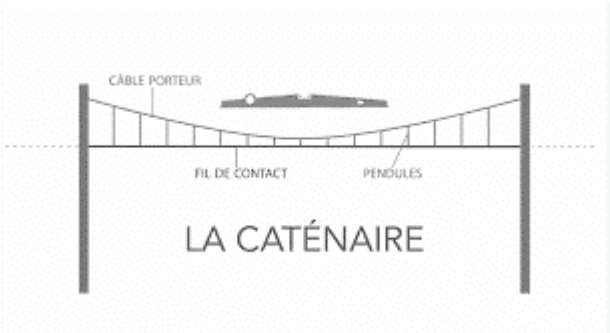


Figure 3 – Câble porteur et caténaire

Ce dispositif fonctionne correctement si le contact électrique caténaire-pantographe n'est pas rompu par les ondes mécaniques (**figure 4**) que le pantographe génère sur la caténaire.



Figure 4 – Ondes mécaniques sur la caténaire

Q16. Quelle doit être la tension mécanique minimale de la caténaire pour assurer un bon captage du courant à la vitesse de 500 km/h.
On s'attachera à décrire, dans un premier temps, par une argumentation phrasée de moins de 50 mots, le phénomène physique mis en jeu. Les mots clés seront soulignés. Une réponse quantitative est attendue dans un second temps. Elle s'appuiera sur les résultats obtenus en cours dont les démonstrations ne sont pas demandées ici.

Q17. Pourquoi les TGV sont-ils contraints de réduire leur vitesse lors de fortes canicules ? Une réponse qualitative de moins de 30 mots est attendue. Les mots clés seront soulignés.

Partie III - Véhicule électrique et pile à hydrogène

La voiture électrique alimentée au moyen d'une pile à hydrogène est une alternative au véhicule thermique. Elle devrait pouvoir limiter les rejets de CO_2 sans compromettre l'autonomie.

Conception d'une pile à hydrogène au laboratoire

On peut facilement réaliser au laboratoire une pile à combustible décrite par l'écriture conventionnelle : $Pt / H_{2(g)} / H^+_{(aq)} / / O_{2(g)} / H_2O / Pt$. Cette pile possède deux électrodes de platine. Un pont salin contenant de l'acide sulfurique ($2H^+$; SO_4^{2-}) relie les compartiments anodique et cathodique. Le dihydrogène et le dioxygène sont les réactifs.

Q18. Faire un schéma de cette pile à hydrogène, sur lequel vous indiquerez la polarité à l'aide des symboles + et – ainsi que le type d'électrodes, anode et cathode.

Q19. Écrire également les deux demi-équations qui se produisent à chacune des électrodes, ainsi que l'équation bilan de fonctionnement de la pile.

Utilisation par un véhicule électrique

Dans le cadre de cette utilisation, le dihydrogène arrive en continu sous une pression de 1 bar. L'oxygène provient de l'air à pression ambiante de 1 bar. La température de fonctionnement de la pile est de 70 °C.
La pile globale est un ensemble de piles élémentaires montées en série qui doit pouvoir délivrer une tension de 150 V et dont la puissance maximale est de 60 kW.

Q20. En négligeant les chutes de tension anodique, cathodique ainsi que celle liée à la résistance interne de la pile, combien de piles doivent être montées en série ? Quel est le débit molaire maximum en H_2 ?

Q21. Quelle doit être la taille du réservoir de stockage en dihydrogène, à température ambiante ($\approx 300\,K$), pour pouvoir effectuer en autonomie un parcours nécessitant une demande énergétique correspondant à une puissance moyenne 30 kW pendant 6 heures. Le réservoir de stockage est pressurisé à 350 bars et muni d'un détenteur pour une sortie à 1 bar. Commenter.

Production industrielle du dihydrogène

Le dihydrogène est généralement produit par vaporeformage du gaz naturel. La réaction chimique principale est catalysée par le nickel (Ni). Son équation bilan notée (a), est la suivante :

$$CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} = CO_{(g)} + 3H_{2(g)}\,. \qquad (a)$$

À l'entrée du réacteur, le mélange gazeux contient uniquement du méthane et de l'eau. Le méthane est la substance économiquement coûteuse de cette synthèse.

Q22. Évaluer la variance de ce système. Sur quel(s) paramètre(s) peut-on jouer pour optimiser cette synthèse ?

La **figure 5** donne graphiquement l'évolution de la constante d'équilibre $K°_{(a)}$ de la réaction (a) en fonction de la température.

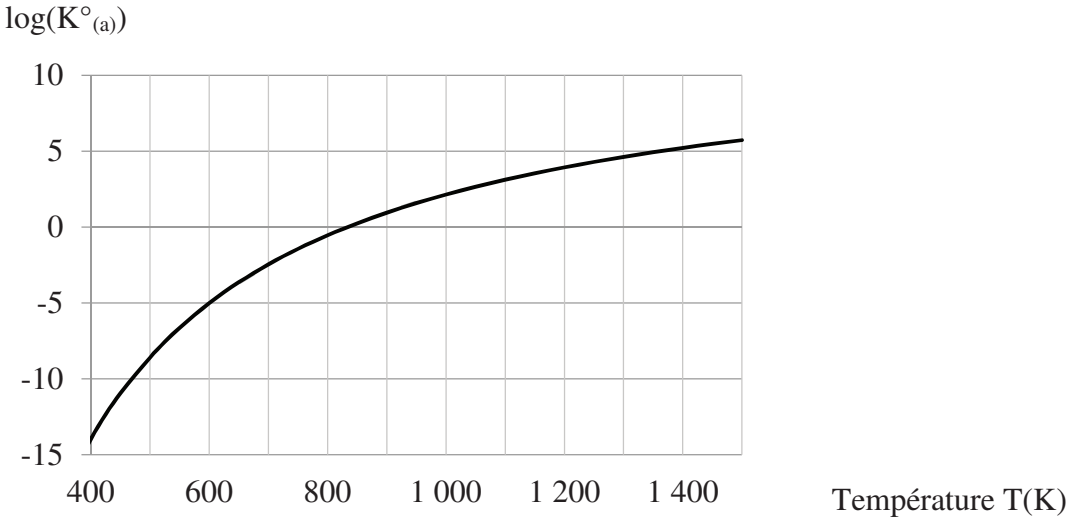


Figure 5 – Évolution de $K°_{(a)}$ avec la température

Q23. Discuter des effets d'une augmentation de la température et de la pression sur la position de l'équilibre chimique, puis justifier les conditions opératoires (1 000 °C et 25 bars) de cette synthèse. L'ajout de nickel permet-il d'améliorer le rendement ?

Conversion de puissance et alimentation d'un véhicule électrique

Les véhicules électriques sont généralement motorisés par des machines synchrones autopilotées. Dans cette sous-partie, on ne s'intéresse qu'à l'alimentation électrique d'une phase de la machine par l'intermédiaire d'un onduleur de tension.
Un calculateur, qui a pour entrées le couple demandé, le courant de phase, la vitesse et la position du rotor, élabore la tension de consigne $v_{cons}(t)$ à appliquer à chaque phase.

Dans la partie commande-contrôle de la machine on utilise la tension réduite $v_{réd}(t) = K.v_{cons}(t)$ où $K \in]0;1[$ est une constante.

L'onduleur de tension (**figure 6**) à Modulation de Largeur d'Impulsion, qui alimente une phase de la machine, possède quatre interrupteurs électroniques. Il est relié en entrée à la source de tension continue E (batterie).
Une électronique de commutation découpe cette tension E à haute fréquence ($f_{déc}$ = 10 kHz) pour générer la tension $v_{déc}(t)$. Sa valeur moyenne sur un faible intervalle de temps (quelques périodes de découpage) correspond à la tension de consigne $v_{cons}(t)$ qui évolue lentement au cours du temps (à une fréquence bien inférieure à la fréquence de découpage : $f_{déc} = \frac{1}{T_{déc}}$).

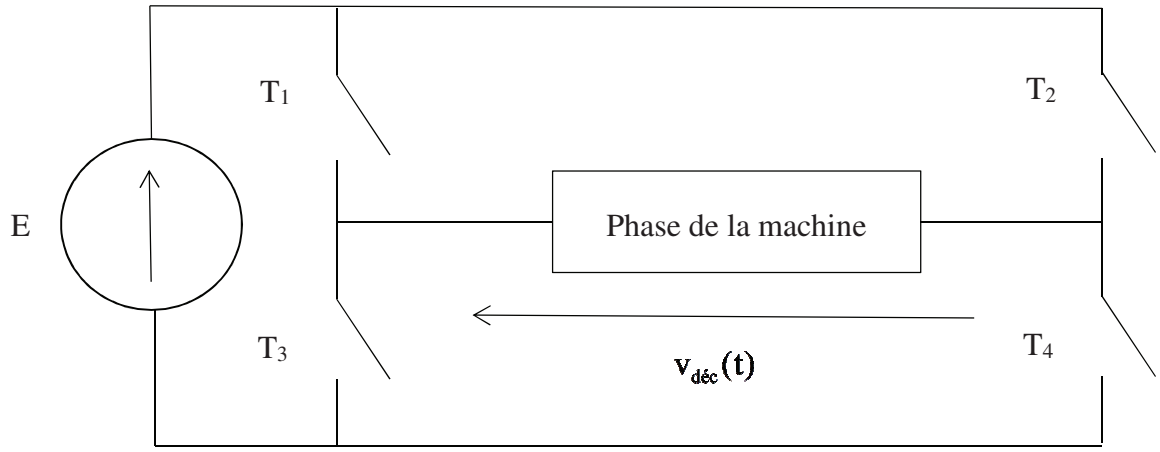


Figure 6 – Onduleur de tension

Pour obtenir la loi de commande des interrupteurs de l'onduleur, on compare (**figure 7**) la tension réduite, $v_{réd}(t)$, à un signal triangulaire symétrique, noté Δ(t), de fréquence de découpage $f_{déc}$, dont l'amplitude varie entre -1V et +1V :

- lorsque $v_{réd}(t) > \Delta(t)$, les interrupteurs T_1 et T_4 sont fermés et les interrupteurs T_2 et T_3 sont ouverts ;
- lorsque $v_{réd}(t) < \Delta(t)$, les interrupteurs T_2 et T_3 sont fermés et les interrupteurs T_1 et T_4 sont ouverts.

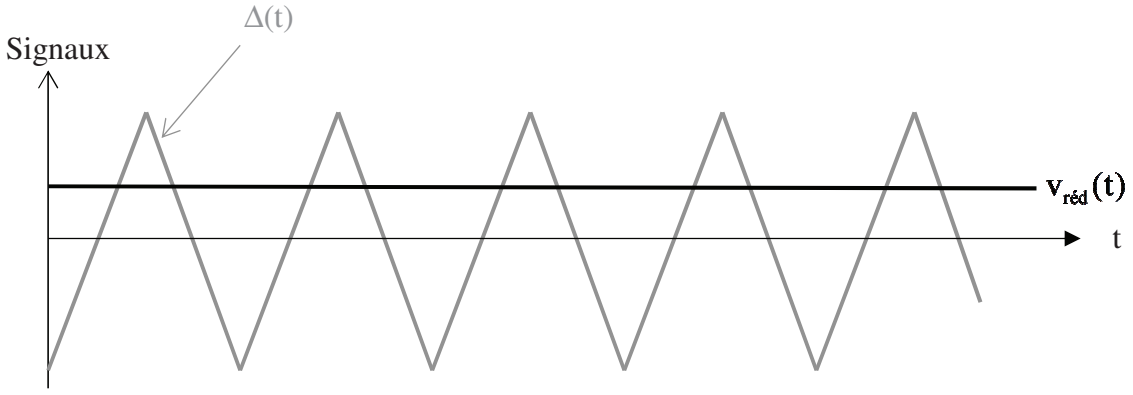


Figure 7 – Signaux pour l'élaboration du signal $v_{déc}(t)$

Q24. Pourquoi ne voit-on pas évoluer la tension $v_{réd}(t)$ sur le chronogramme précédent ?

Q25. Dessiner, sur quelques périodes de découpage, l'allure de la tension $v_{déc}(t)$ pour une tension réduite $v_{réd}(t) \approx 0,5\,V$.

Q26. Quelle valeur faut-il donner au coefficient K, tel que $v_{réd}(t) = K.v_{cons}(t)$, pour que la valeur moyenne de $v_{déc}(t)$, sur l'intervalle $[t_0 ; t_0 + T_{déc}]$, corresponde à la tension de consigne $v_{cons}(t_0)$?

Génération du signal Δ(t)

La génération de la tension Δ(t) se fait au moyen du système bouclé (**figure 8**) qui se compose d'un comparateur à hystérésis et d'un intégrateur.
R1, R2, R3 sont les résistances des trois conducteurs ohmiques respectifs et C est la capacité du condensateur.

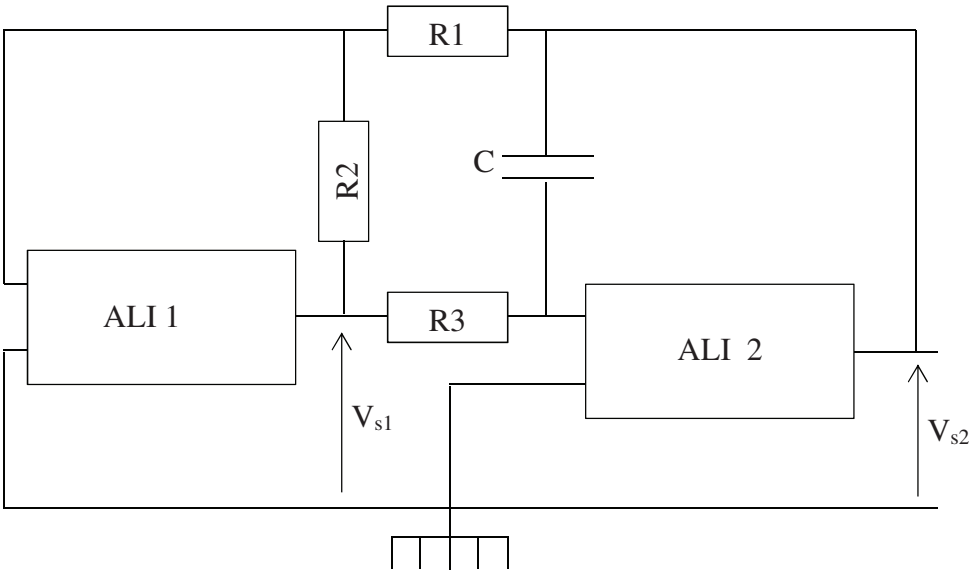


Figure 8 – Générateur de tension triangulaire

Dans cette sous-partie, les Amplificateurs Linéaires Intégrés (ALI) sont supposés de gain infini et ont des impédances d'entrées infinies, une impédance de sortie nulle et une tension de saturation $V_{sat} = \pm 15\ V$.

Q27. Isoler l'étage comparateur à hystérésis. Le reproduire sur une figure sur votre copie où vous indiquerez les bornes inverseuse (-) et non inverseuse (+) de l'ALI qu'il contient. Identifier l'entrée et la sortie de cet étage.

Q28. Représenter l'allure du cycle V_{sortie} en fonction de $V_{entrée}$ du montage comparateur à hystérésis précédent. Donner une justification du sens de parcours du cycle, ainsi que les expressions des tensions de basculement faisant intervenir V_{sat} et les valeurs des impédances des composants électroniques.

Q29. Isoler l'étage intégrateur. Le reproduire dans une figure sur votre copie où vous indiquerez les bornes inverseuse (-) et non inverseuse (+) de l'ALI qu'il contient. Identifier l'entrée et la sortie de cet étage.

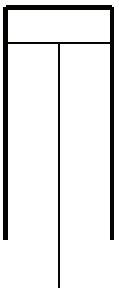
Q30. Déterminer, en fonction des valeurs littérales des composants, l'équation différentielle qui lie dans le domaine temporel l'entrée et la sortie du montage intégrateur.

Q31. Préciser les contraintes sur les composants du montage global qui permettent d'imposer, pour la tension $\Delta(t)$, une amplitude crête à crête de 2V (de -1V à 1V) et une fréquence de 10 kHz.

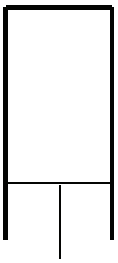
Q32. En pratique, les ALI comportent cinq connexions. À quoi correspondent les deux autres connexions non représentées de chacun des ALI ?

Document - Principe du moteur à quatre temps

Dans un moteur multicylindre à 4 temps, le volant est relié à un vilebrequin qui assure le synchronisme du fonctionnement des pistons des différents cylindres. Les soupapes non représentées sur la figure ci-dessous sont commandées par des cames entraînées par le volant moteur.



Position du piston au point mort haut (PMH) : $V = V_2$



Position du piston au point mort bas (PMB) : $V = V_1$

1er temps : admission

Il y a ouverture de la soupape d'admission. La rotation du volant entraîne avec la bielle l'abaissement du piston du point mort haut au point mort bas. La dépression produite aspire dans le cylindre le mélange air-essence. Il y a ensuite fermeture de la soupape d'admission.

2e temps : compression

Pendant cette phase, la rotation du volant fait remonter le piston dans le cylindre jusqu'au point mort haut. Cette compression échauffe le mélange.

3e temps : explosion et détente

La bougie d'allumage crée une étincelle qui provoque l'explosion, responsable d'une augmentation de la pression. Ensuite, le gaz se détend. En fin de détente, le piston est au point mort bas.

4e temps : échappement

Il y a ouverture de la soupape d'échappement. La rotation du volant entraîne la remontée du piston jusqu'au point mort haut, ce qui chasse les gaz brûlés vers l'extérieur.

Cycle de Beau de Rochas

AB : admission isobare et isotherme du mélange air-essence,
BC : compression adiabatique réversible,
CD : compression isochore,
DE : détente adiabatique réversible,
EB : refroidissement isochore,
BA : échappement isobare et isotherme.

Données

Grandeurs chimiques

Enthalpies standards de formation à 298 K :

Corps	CH_4	$H_2O_{(g)}$	CO_2
$\Delta_f H°$ ($kJ.mol^{-1}$)	– 74,8	– 241,8	– 393,5

On rappelle que pour les corps purs simples, on a : $\Delta_f H° = 0$ $kJ.mol^{-1}$.

Masses molaires :

Atomes	H	C	O
M en $g.mol^{-1}$	1	12	16

Potentiels standards des couples de l'eau à 298 K et supposés encore vrais à 348 K :

Couples	H^+/H_2	O_2/H_2O
E°(V)	0	1,23

Constantes physiques

Constante des gaz parfait : R = 8,314 $J.mol^{-1}.K^{-1}$.
Constante d'Avogadro : Na = 6,022 10^{23} mol^{-1}.
Charge élémentaire : e = 1,602 10^{-19} C.
Constante de Faraday : 1F = 96 485 $C.mol^{-1}$.

Composition molaire de l'atmosphère

20 % de O_2 et 80 % de N_2.

Données thermodynamiques

Relation de Mayer : $C_{pm} - C_{vm} = R$, où C_{pm} et C_{vm} désignent respectivement les capacités thermiques molaires à pression et à volume constant pour un gaz parfait.
Rapport des capacités thermiques pour un mélange air-essence : $\gamma = \frac{C_{pm}}{C_{vm}} = 1,4$.

Caractéristiques techniques du moteur PSA EB2

Architecture : 3 cylindres en ligne.
Puissance maximale : 82 ch à 5 750 tr/min.
Rapport volumétrique de compression : $\delta = \frac{V_{PMB}}{V_{PMH}} = \frac{V_2}{V_1} = 11$.
Cylindrée : 1 199 cm^3.
On rappelle que la cylindrée d'un moteur à combustion interne correspond au volume d'air aspiré par l'ensemble des cylindres du moteur lors un cycle.

Caractéristiques d'une Peugeot 108 équipée du moteur EB2

Consommation mixte :
- Donnée constructeur : 4,3 l/100 km.
- Essai Autoplus n°1 450 : 5,7 l/100 km.

Rejet moyen de CO_2 donné par le constructeur : 99 g/km.

Conversion d'unité, masse volumique et viscosité du carburant essence SP98

1 bar = 10^5 Pa.
1 ch = 735,4 W.
ρ = 720 $kg.m^{-3}$.
Viscosité du carburant essence SP98 : $\eta = 0,65.10^{-3}$ Pl.

Caractéristiques d'une caténaire

Masse volumique du cuivre : 9 000 $kg.m^{-3}$.
Section de la caténaire : 150 mm^2.
Hauteur d'une caténaire : 5,1 m.
Longueur d'un tronçon de caténaire :
L = 1 500 m.
Intervalle de températures de fonctionnement ordinaire d'une caténaire : – 5 °C, 45 °C.
Coefficient de dilatation thermique linéique du cuivre (aussi appelé coefficient d'allongement relatif, lié à une variation de température) : $\alpha = \frac{1}{L}\frac{\Delta L}{\Delta T} = 16.10^{-6}$ K^{-1}.

FIN

IMPRIMERIE NATIONALE – 18 1064 – D'après documents fournis

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI 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

- Premier principe appliqué aux transformations physico-chimiques : grandeurs standard de réaction et effets thermiques
- Dynamique des fluides visqueux
- Bilans macroscopiques et relation de Bernoulli
- Propagation d'un signal
- Thermodynamique de l'oxydoréduction : enthalpie libre, potentiels et pile
- Optimisation d'un procédé : facteurs d'équilibre et déplacement d'équilibre
- Oxydoréduction et piles électrochimiques
- Second principe : enthalpie libre, potentiel chimique et équilibre chimique

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/ccinp/psi