

Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté** et la **précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Problème 1 : Moteur de véhicule automobile (Extrait concours Centrale-Supélec TSI)

Tout résultat fourni par l'énoncé pourra être utilisé ultérieurement sans justification. Le problème étudie les principes physiques de certains dispositifs mis en œuvre dans un moteur automobile. Dans un moteur à essence quatre temps, la chaleur dégagée par la combustion du mélange gazeux air-carburant induit une augmentation de pression qui repousse le piston coulissant dans le cylindre. Un système bielle-manivelle transforme le mouvement de translation du piston en un mouvement de rotation du vilebrequin. Une fraction de l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique pour charger la batterie d'accumulateurs qui alimente ensuite le véhicule en électricité.

Partie I - Thermodynamique d'un moteur à essence 4 temps à 4 cylindres

Le fonctionnement du moteur est modélisé par le cycle (idéalisé) représenté ci-dessous et appelé cycle Beau de Rochas.

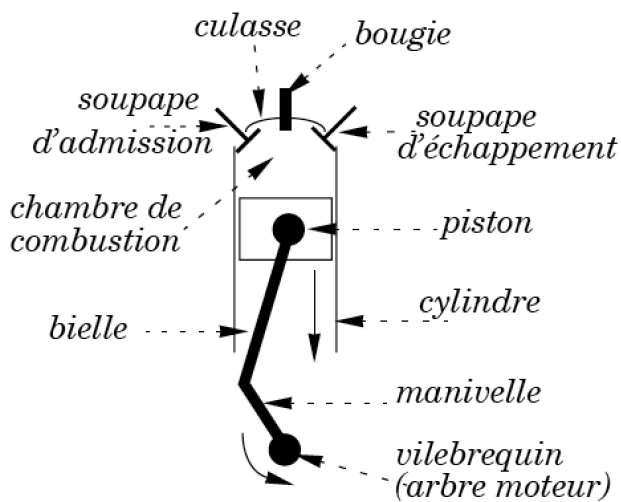
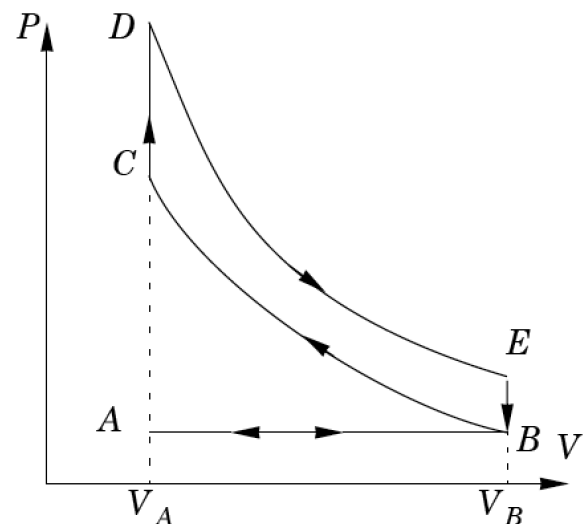


Schéma d'un cylindre de véhicule automobile



Représentation du cycle thermodynamique en coordonnées PV (pression P dans le cylindre en ordonnée et volume V du cylindre en abscisse).

Définitions et notations :

Point Mort Haut (PMH) : position la plus haute du piston (points A , C et D du cycle) ;

Point Mort Bas (PMB) : position la plus basse du piston (points B et E du cycle) ;

V_A , volume mort, volume de la chambre de combustion au PMH ;

V_B , volume de la chambre de combustion au PMB ;

Cylindrée unitaire (c'est-à-dire d'un seul cylindre) : $V_B - V_A$;

Rapport volumétrique (ou taux de compression) : $\alpha = V_B / V_A$;

Longueur de la manivelle : \mathcal{L} ;

Alésage \mathcal{A} : diamètre du cylindre.

Le cycle Beau de Rochas est constitué des transformations suivantes :

	Transformations	Sur le cycle	Mouvement du piston
1er temps	admission (la soupape d'admission est ouverte) isobare du mélange	de A à B	du PMH au PMB
	fermeture de la soupape d'admission	en B	
2ème temps	compression adiabatique réversible	de B à C	du PMB au PMH
3ème temps	allumage	en C	
	combustion isochore (supposée instantanée) du mélange	de C à D	
	détente adiabatique réversible	de D à E	du PMH au PMB
4ème temps	ouverture de la soupape d'échappement	en E	
	refroidissement isochore	de E à B	
	échappement isobare	de B à A	du PMB au PMH
	ouverture de la soupape d'admission et fermeture de la soupape d'échappement		

On appelle système (*Syst*) le mélange gazeux contenu dans le cylindre. Ce mélange se comporte comme un gaz parfait diatomique. On suppose de plus que son nombre de moles reste constant (même au cours de la combustion) en dehors des phases d'admission et d'échappement. On néglige tout échange de chaleur entre les parois du cylindre et le mélange gazeux. Le système (*Syst*) est caractérisé par son volume V , sa température thermodynamique T et sa pression P . La pression P du contenu du cylindre s'exerce sur le piston, dont l'autre « face » est soumise à la pression atmosphérique $P_{at}(= P_A)$ supposée constante et égale à $10^5 Pa$. La vitesse angulaire ω du vilebrequin est constante.

I.A - Temps moteur et temps résistant

I.A.1) Combien y a-t-il de « temps moteur » et de « temps résistant » au cours d'un cycle thermodynamique ? À combien de tours de vilebrequin correspond un cycle thermodynamique ?

I.A.2) Quelle est, en fonction de ω , la durée du temps « moteur » ?

I.B - Rendement thermodynamique d'un cylindre unique

I.B.1) Déterminer les capacités thermiques (calorifiques) molaires à volume et pression constants C_v et C_p pour le système (*Syst*) en fonction de la constante des gaz parfaits R et du rapport $\gamma = C_p/C_v$. On donne : $R = 8,314(SI)$; $\gamma = 1,4$. Calculer les valeurs numériques de C_v et C_p en précisant leur unité.

I.B.2)

a) Préciser les relations liant P à V pour chacune des transformations du cycle thermodynamique.

b) Quel est le travail reçu par le système (*Syst*) au cours de la phase d'admission ? Au cours de la phase d'échappement ? À quoi correspondent ces travaux sur le cycle ? Quel est le travail des forces de pression reçu par le piston lors de ces phases ?

c) Le diagramme représentant le cycle thermodynamique renseigne-t-il sur le caractère moteur de la machine étudiée ?

I.B.3) La quantité de chaleur reçue de la source chaude provient de la combustion du mélange. Définir le rendement ρ du cycle en fonction des quantités de chaleur Q_{CD} et Q_{EB} reçues par le système (*Syst*) au cours des transformations CD et EB . Exprimer ce rendement en fonctions des températures aux différents points du cycle. Établir l'égalité : $\rho = 1 - \alpha^{1-\gamma}$.

I.B.4) Représenter le cycle ($BCDEB$) de transformations subies par le système (*Syst*) en coordonnées T, S (température thermodynamique T en ordonnée, entropie S du système (*Syst*) en abscisse). On précisera l'équation des différentes portions du cycle. Que représente l'aire de ce cycle (on justifiera la réponse) ?

I.C - Quelques ordres de grandeur pour un moteur à quatre cylindres

I.C.1) $\alpha = 10$. La température du gaz à l'admission est supposée constante et égale à 77°C (350K).

Calculer la température des gaz en fin de compression et le rendement théorique.

I.C.2) $\mathcal{A} = 80\text{ mm}$, $\mathcal{L} = 50\text{ mm}$. La masse molaire M_{air} de l'air vaut $29\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. La combustion d'un gramme de mélange dégage une chaleur égale à $2,85\text{ kJ}$.

- Quelle est la cylindrée totale du véhicule équipé d'un moteur à quatre cylindres ?
- Quelle est la masse d'air aspirée par le moteur et par cycle ?
- Que valent la température théorique en fin de combustion et la pression maximale atteinte au cours du cycle ? Commenter.

Problème 2 : Autour de l'oxygène et du soufre (Extrait banque PT)

AUTOUR DE L'OXYGÈNE ET DU SOUFRE

L'oxygène et le soufre sont deux éléments de la famille des chalcogènes : ils présentent donc des propriétés physico-chimiques comparables, en particulier un caractère non métallique et une forte électronégativité.

A l'état de corps simples, on trouve couramment l'oxygène sous forme de dioxygène O_2 ou d'ozone O_3 et le soufre sous forme de cyclo-octasoufre S_8 ; les deux éléments s'assemblent pour former du dioxyde de soufre SO_2 et du trioxyde de soufre SO_3 .

1. APPROCHE STRUCTURALE

- Q1. Ecrire la configuration électronique à l'état fondamental de l'oxygène O ($Z = 8$) et celle du soufre S ($Z = 16$). En déduire la position de chacun de ces éléments dans la classification périodique (numéro de ligne ; numéro de colonne).
- Q2. Préciser les valeurs des nombres d'oxydation extrêmes du soufre. Indiquer quel anion usuel il peut former.

Les énergies de première ionisation des éléments de la deuxième période de la classification périodique sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Elément	<i>Li</i>	<i>Be</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>F</i>	<i>Ne</i>
<i>Z</i>	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>E_i</i>	5,32	9,32	8,29	11,26	14,53	13,62	17,42	21,56

- Q3. Définir l'énergie de première ionisation.
- Q4. Justifier l'évolution générale sur la période, puis interpréter la singularité observée pour l'oxygène.
- Q5. Proposer une représentation de Lewis pour les molécules et ions suivants :
 - Dioxygène O_2
 - Radical anion superoxyde O_2^-
 - Ozone O_3
 - Dioxyde de soufre SO_2
 - Trioxyde de soufre SO_3

3. ETUDE CINÉTIQUE DE LA DÉCOMPOSITION DE L'OZONE EN SOLUTION AQUEUSE

Lors de la préparation d'eau potable, l'ozone O_3 joue le rôle de désinfectant et dégrade les substances organiques, ce qui leur confère une meilleure biodégradabilité. D'un point de vue microscopique, ce processus est permis par la dégradation de l'ozone en radical hydroxyle $HO \cdot$ dont le pouvoir oxydant assure la dégradation d'un grand nombre de polluants.

La cinétique de la dégradation de l'ozone selon l'équation $O_{3(aq)} = \frac{3}{2}O_{2(aq)}$ est très sensible aux conditions opératoires et l'ordre par rapport à la réaction fait encore l'objet d'études ; il dépend en particulier du mode d'initiation.

3.1. Initiation par voie thermique

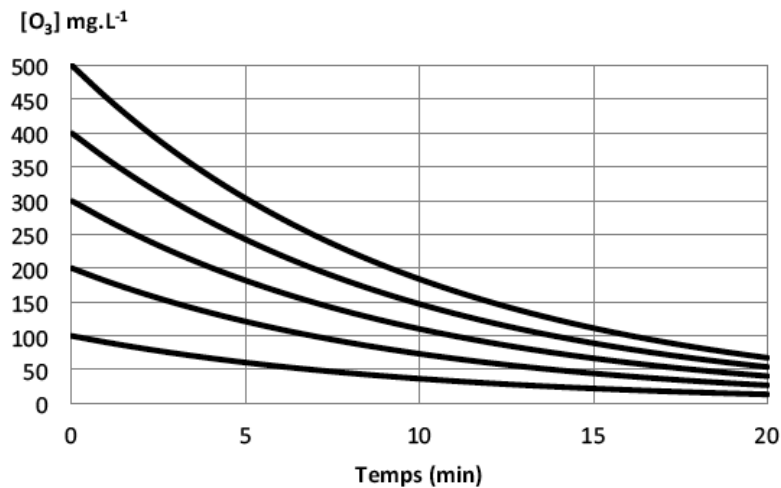
On suppose que la réaction admet un ordre α par rapport à l'ozone ; tous les autres ordres partiels sont nuls. On note k la constante de vitesse.

A

Q20. Ecrire et résoudre l'équation différentielle régissant l'évolution de la concentration d'ozone dans l'hypothèse où $\alpha = 1$. En déduire l'expression du temps de demi-réaction.

Q21. Ecrire et résoudre l'équation différentielle régissant l'évolution de la concentration d'ozone dans l'hypothèse où $\alpha = 2$. En déduire l'expression du temps de demi-réaction.

Les résultats suivants sont obtenus (à $T_1 = 20^\circ\text{C}$ et à pH 7,0) pour diverses concentrations initiales en ozone dissous en présence de charbon actif :



Q22. A partir des temps de demi-réaction, indiquer la valeur probable de α . En déduire la valeur de la constante de vitesse $k(T_1)$ ($\ln(2) \approx 0,69$).

A $T_1 = 20^\circ\text{C}$ et pH 7,0, en l'absence de charbon actif, le temps de demi-réaction vaut 13,1 min.

Q23. Indiquer le rôle du charbon actif. Justifier.

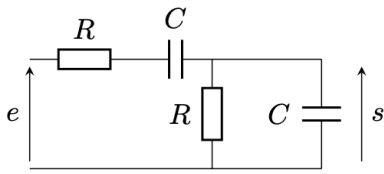
A $T_2 = 30^\circ\text{C}$ et pH 7,0, en présence de charbon actif, la constante de vitesse vaut $k(T_2) = 0,18 \text{ min}^{-1}$.

Q24. Donner l'expression de l'énergie d'activation E_a en fonction de R , T_1 , T_2 , $k(T_1)$ et $k(T_2)$.

Faire l'application numérique.

Donnée : Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Problème 3 : Filtre de Wien (d'après oral CCP)



On s'intéresse au filtre de Wien représenté ci-contre. Ce type de filtre est notamment utilisé dans des oscillateurs auto-entretenus assez simples à réaliser : vous y reviendrez dans le cours d'électronique de PT.

1 - Par analyse des comportements asymptotiques, déterminer le type de filtre dont il s'agit.

2 - Déterminer la fonction de transfert \underline{H} du filtre.

3 - On pose $\omega_0 = 1/RC$ et $x = \omega/\omega_0$. Écrire la fonction de transfert sous la forme

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left(x - \frac{1}{x} \right)},$$

en précisant ce que valent H_0 et Q .

4 - Calculer simplement le gain maximal du filtre, exprimer sa valeur de dB, et calculer le déphasage correspondant.

5 - Représenter le diagramme de Bode asymptotique du filtre et en déduire qualitativement le tracé réel.

6 - Calculer la pulsation propre ω_0 pour $R = 1,0 \text{ k}\Omega$ et $C = 500 \text{ nF}$. Donner le signal de sortie du filtre si le signal d'entrée est

$$e(t) = E_0 + E_0 \cos(\omega t) + E_0 \cos(10 \omega t) + E_0 \cos(100 \omega t)$$

avec $E_0 = 10 \text{ V}$ et $\omega = 200 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.