

Devoir maison n°4

A faire pour le lundi 27 avril

Problème 1 : Etude thermodynamique d'un moteur PSA EB2:

Ce moteur (**figure 1** ci-contre), 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,

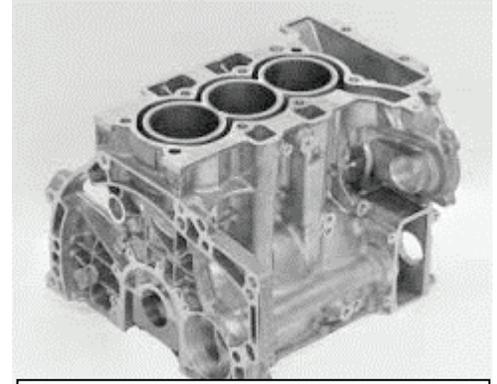


Figure 1 — Moteur PSA EB2

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.

Q1. En vous aidant du document en fin de problème, 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.

Q2. 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. Enoncer deux raisons possibles à cela.

Dans la suite du problème, le modèle adopté est celui du cycle idéal Beau de Rochas décrit à pleine puissance par le moteur E132 et synthétisé dans le **tableau 1** ci-dessous.

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

Q3. Déterminer les valeurs manquantes : P_C , T_C et P_D .

Q4. Déterminer l'expression littérale du travail W_{BC} reçu par le gaz au cours de la compression BC en fonction de P_C , V_C , P_B , V_B et γ . Faire l'application numérique.

Q5. Déterminer l'expression du transfert thermique Q_{CD} reçu par le gaz au cours de l'explosion CD en fonction de P_C , V_C , P_D , V_D et γ . Faire l'application numérique.

Q6. On donne $|W_{DE}| = 596 \text{ J}$ et $|Q_{EB}| = 328 \text{ J}$. On définit le rendement du moteur par la relation :

$$R_{dt} = -\frac{W_{\text{cycle}}}{Q_{CD}}$$

Expliquer cette relation et déterminer la valeur numérique du rendement R_{dt} du cycle*.

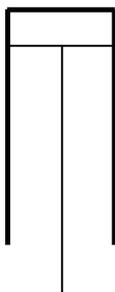
* On remarquera qu'il s'agit d'un rendement purement thermodynamique pour un cycle idéal. Il ne tient pas compte des considérations mécaniques. En pratique, le rendement global est moins bon et dépend fortement du point de fonctionnement (couple-vitesse) considéré. Ce résultat permet néanmoins de comparer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

Q7. A partir des principes de la thermodynamique, reconstruire l'expression du rendement d'un cycle de Carnot R_{dtc} dont les températures extrémales sont : T_F 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 $T_F = 300 \text{ K}$ et $T_{Ch} = 2820 \text{ K}$. Faire l'application numérique et conclure.

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) :
 $V = V_1$



Position du piston au point mort bas (PMB) :
 $V = V_2$

1^{er} temps : admission

Il y a ouverture de la soupape d'admission. La rotation du volant entraîne avec la bielle rabaissement 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.

2^{ème} temps : compression

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

3^{ème} 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,

4^{ème} 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 :

Constantes physiques :

Constante des gaz parfait : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Conversion d'unité :

1 bar = 10^5 Pa.

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 molaires 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 : $V_C = 1\,199 \text{ cm}^3$.

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 : 4,31/100 km

- Essai Autoplus n° 1450 : 5,71/100 km.

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

Problème 2 : Double compression de gaz parfaits

Deux gaz identiques, assimilés à des gaz parfaits diatomiques, sont enfermés dans deux compartiments cylindriques (I) et (II) séparés par un paroi fixe P .

Chaque compartiment contient n moles de gaz.

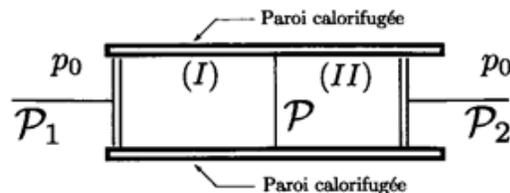
Les gaz communiquent avec un pressiostat extérieur (système imposant la pression à la frontière du système) à la pression p_0 par l'intermédiaire de deux pistons mobiles P_1 et P_2 de masses négligeables qui coulisent sans frotter.

Les parois du cylindre sont calorifugées (cf figure ci-contre).

On note R la constante des gaz parfaits et γ le facteur isentropique de Laplace, rapport de la capacité thermique molaire à pression constante C_{pm} sur la capacité thermique molaire à volume constant C_{vm} .

On indique l'expression de la variation d'entropie molaire d'un gaz parfait entre un état initial i et un état final f : $\Delta S = C_{vm} \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + R \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ en notant T la température et V le volume du gaz.

Initialement le compartiment (I) est à la température T_1 et le compartiment (II) à la température T_2 , la pression valant p_0 dans les deux compartiments.



Indiquer la ou les bonne(s) réponse(s) en justifiant tout votre raisonnement.

I - Dans un premier temps, on suppose que les pistons P_1 et P_2 sont calorifugés et que la paroi intermédiaire P est diatherme. On note T_f la température finale du système lorsqu'il n'évolue plus.

1 – Exprimer les capacités thermiques molaires C_{vm} et C_{pm} en fonction de R et γ (démonstration attendue).

A) $C_{vm} = \frac{R}{\gamma}$; B) $C_{vm} = \frac{R}{1-\gamma}$; C) $C_{pm} = \frac{R}{\gamma-1}$; D) $C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$.

2 – Exprimer la variation d'énergie interne ΔU entre l'état initial et l'état final.

A) $\Delta U = n C_{vm} (2T_f - T_1 - T_2)$; B) $\Delta U = n C_{pm} (2T_f - T_1 - T_2)$;
C) $\Delta U = nR (2T_f - T_1 - T_2)$; D) $\Delta U = n C_{pm} (T_f - \frac{T_1+T_2}{2})$.

3 – Exprimer le travail des forces de pression (énergie échangée par transfert mécanique) W et la chaleur (énergie échangée par transfert thermique) Q reçus par les deux gaz durant cette transformation.

A) $W = n C_{vm} (T_1 + T_2 - 2T_f)$; B) $W = n R (T_1 + T_2 - 2T_f)$;
C) $Q = 0$; D) $Q = n C_{pm} (T_f - T_1 - T_2)$.

4 – Exprimer la température finale T_f .

A) $T_f = \frac{\gamma}{2-\gamma} (T_1 + T_2)$; B) $T_f = \frac{1-\gamma}{2-\gamma} (T_1 + T_2)$;
C) $T_f = \frac{\gamma}{3-\gamma} (T_1 + T_2)$; D) $T_f = \frac{T_1+T_2}{2}$.

5 – Exprimer l'entropie créée $S^{(C)}$ durant la transformation.

A) $S^{(C)} = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2}\right)$; B) $S^{(C)} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2}\right)$;
C) $S^{(C)} = \frac{nR}{\gamma} \ln\left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2}\right)$; D) $S^{(C)} = n\gamma R \ln\left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2}\right)$.

II – Désormais, on suppose que les pistons P_1 et P_2 sont diathermes et que la paroi P est calorifugée. Le milieu extérieur, qui est toujours un pressiostat de pression p_0 , devient également un thermostat à la température T_e . Les conditions initiales sont inchangées : Le compartiment (I) à la température T_1 , le compartiment (II) à la température T_2 et les pressions p_0 sont identiques dans les deux compartiments. L'état final est l'état du système lorsqu'il n'évolue plus.

6 – Exprimer la chaleur Q' reçue par le système des deux gaz entre l'état initial et l'état final.

A) $Q' = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} (2T_e - T_1 - T_2)$; B) $Q' = \frac{nR}{\gamma-1} (T_e - T_1 - T_2)$;
C) $Q' = \frac{nR}{\gamma-1} (T_e - T_1 - T_2)$; D) $Q' = \frac{nR}{\gamma} (2T_e - T_1 - T_2)$.

7 – Exprimer de nouveau l'entropie créée $S'^{(C)}$ durant cette transformation.

A) $S'^{(C)} = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2}\right)$; B) $S'^{(C)} = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2}\right) - \frac{Q'}{T_e}$;
C) $S'^{(C)} = \frac{nR}{\gamma} \ln\left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2}\right)$; D) $S'^{(C)} = n\gamma R \ln\left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2}\right) - \frac{Q'}{T_e}$.

Correction problème 1: Etude thermodynamique d'un moteur PSA EB2: (D'après CCP PSI 2018)

Q1. On note $V_C = 1199 \text{ cm}^3$ la cylindrée du moteur et $\delta = 11$ le rapport de compression ;
D'après la définition de l'énoncé : la cylindrée d'un moteur à combustion interne correspond au volume d'air aspiré par les 3 cylindres du moteur lors un cycle.

On a $V_C = 3(V_2 - V_1)$ et $\frac{V_2}{V_1} = 11$. Ainsi $V_2 = \delta V_1$

D'où : $V_C = 3(V_2 - \frac{V_2}{\delta}) = 3 V_2(\frac{\delta-1}{\delta})$; ou encore : $V_2 = \frac{V_C \delta}{3(\delta-1)}$; Ensuite $V_1 = \frac{V_2}{\delta}$; Soit : $V_1 = \frac{V_C}{3(\delta-1)}$;

AN : $V_2 = \frac{11 \times 1199}{30}$; On trouve $V_2 \approx 440 \text{ cm}^3$ et $V_1 = \frac{1199}{30}$; On trouve $V_1 \approx 40 \text{ cm}^3$.

Q2. Le diagramme de Watt du cycle de Beau de Rochas a été tracé ci-contre :

AB : Isobare donc horizontale et $V \uparrow$.

BC : Compression adiabatique réversible : Morceau d'hyperbole à pente négative : $P \uparrow$ et $V \downarrow$.

CD : Compression isochore donc verticale et $P \uparrow$.

DE : Détente adiabatique réversible ; Même allure que BC mais $V \uparrow$.

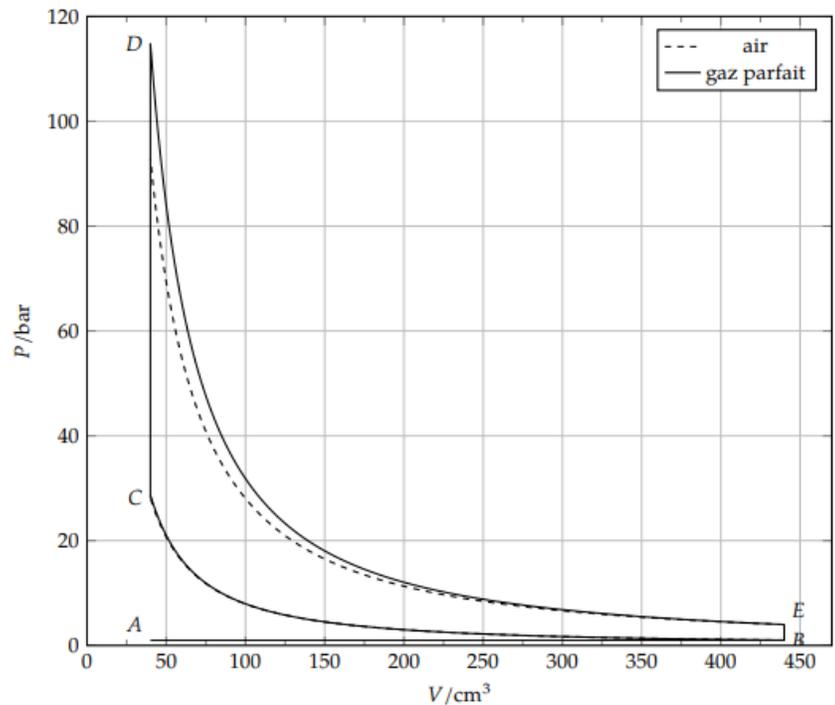
EB : Refroidissement isochore : verticale pour retour de E à B.

Pour le cycle réel :

- La combustion n'est pas instantanée et ne peut pas être modélisée par une transformation isochore ($C \rightarrow D$), elle se fait pendant le début de la descente du piston.

- Il y a des échanges thermiques entre le gaz et les parois du cylindre; les transformations $B \rightarrow C$ et $D \rightarrow E$ ne sont pas adiabatiques.

- L'air et les gaz brûlés ne se comportent pas comme un gaz parfait avec γ constant dans la plage de température et de pression considérée.



Q3. D'après l'énoncé, sur le cycle Beau de Rochas, la transformation BC est une compression adiabatique réversible d'un GP à γ constant.

On peut donc appliquer les lois de Laplace en paramètre (PV) : $PV^\gamma = cste$; Soit $P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$.

D'où : $P_C = P_B \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^\gamma$; AN : $P_C = 1 \left(\frac{440}{40}\right)^{1,4} = (11)^{1,4}$; On trouve : $P_C \approx 29 \text{ bar}$.

De même, en paramètre (T; V), il vient : $TV^{\gamma-1} = cste$; Soit $T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1}$.

D'où : $T_C = T_B \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^{\gamma-1}$; AN : $T_C = 300 \left(\frac{440}{40}\right)^{0,4} = 300 \times (11)^{0,4}$; On trouve : $T_C \approx 783 \text{ K}$.

De même, la transformation DE est une détente adiabatique réversible d'un GP à γ constant.

Soit $P_D V_D^\gamma = P_E V_E^\gamma$. D'où : $P_D = P_E \left(\frac{V_E}{V_D}\right)^\gamma$; AN : $P_D = 4 \left(\frac{440}{40}\right)^{1,4} = 4 \times (11)^{1,4}$;

On trouve : $P_D \approx 115 \text{ bar}$.

Q4. BC est une compression adiabatique réversible d'un GP.

La transformation étant adiabatique : $Q_{BC} = 0$.

Le premier principe appliqué à la transformation BC s'écrit : $\Delta U_{BC} = W_{BC} + Q_{BC}$.

Soit : $\Delta U_{BC} = W_{BC}$.

De plus, pour un gaz parfait : $\Delta U_{BC} = C_V(T_C - T_B) = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_B)$. D'où $W_{BC} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_C - T_B)$.

On ne connaît pas n :

D'après l'équation d'état du GP : $nRT_C = P_C V_C$ et $nRT_B = P_B V_B$.

Soit : $W_{BC} = \frac{P_C V_C - P_B V_B}{\gamma-1}$; AN : $W_{BC} = \frac{29.10^5 \times 40.10^{-6} - 1.10^5 \times 440.10^{-6}}{0,4}$; On trouve : $W_{BC} \approx 180 \text{ J}$

Q5. CD est une compression isochore d'un GP, ainsi $W_{CD} = 0$.

Le premier principe appliqué à la transformation CD s'écrit : $\Delta U_{CD} = W_{CD} + Q_{CD}$; Soit $\Delta U_{CD} = Q_{CD}$.

Pour un gaz parfait $\Delta U_{CD} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_D - T_C)$ d'où : $Q_{CD} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_D - T_C)$

On ne connaît pas n :

D'après l'équation d'état du GP : $nRT_C = P_C V_C$ et $T_D = P_D V_D$.

Soit : $Q_{CD} = \frac{P_D V_D - P_C V_C}{\gamma-1}$; AN : $Q_{CD} = \frac{115.10^5 \times 40.10^{-6} - 29.10^5 \times 40.10^{-6}}{0,4}$; On trouve : $Q_{CD} \approx 860 \text{ J}$

Q6. On sait que le rendement est défini par $R_{dt} = \left| \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie couteuse}} \right|$. L'énergie utile est le travail apporté par le dispositif soit $|W_{cycle}|$. L'énergie couteuse est celle apportée au gaz par la combustion lors de l'explosion soit $Q_{CD} > 0$

D'autre part : $W_{cycle} < 0$, car le cycle est parcouru dans le sens horaire donc $|W_{cycle}| = -W_{cycle}$

Et $Q_{CD} > 0$ donc : $|Q_{CD}| = Q_{CD}$. Ainsi : $R_{dt} = -\frac{W_{cycle}}{Q_{CD}}$.

De plus $W_{cycle} = W_{BC} + W_{CD} + W_{DE} + W_{EB}$;

Or $W_{CD} = W_{EB} = 0$ car ce sont des isochores. Donc $W_{cycle} = W_{BC} + W_{DE}$; Alors $R_{dt} = -\frac{W_{BC} + W_{DE}}{Q_{CD}}$

De plus, $|W_{DE}| = 596 \text{ J}$ or $W_{DE} < 0$, car c'est une détente, donc $W_{DE} = -596 \text{ J}$.

AN : $R_{dt} = -\frac{180 - 596}{860}$; On trouve : $R_{dt} \approx +0,48$

Q7. On considère un cycle de Carnot entre deux sources de température T_F et T_{Ch} qui fournissent des transferts thermiques Q_F et Q_{Ch} .

On considère l'agent de transformation comme système :

Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U_{cycle} = W_{cycle} + Q_{Ch} + Q_F = 0$ Donc : $W_{cycle} = -Q_{Ch} - Q_F$.

Second principe de la thermodynamique : $\Delta S_{cycle} = 0 = S_{échange} + S_{créé} = \frac{Q_{Ch}}{T_{Ch}} + \frac{Q_F}{T_F} + S_{créé}$

Or $S_{créé} \geq 0$; Soit : $\frac{Q_{Ch}}{T_{Ch}} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$.

Ainsi : $R_{dt} = -\frac{W_{cycle}}{Q_{Ch}} = \frac{Q_{Ch} + Q_F}{Q_{Ch}} = 1 + \frac{Q_F}{Q_{Ch}}$.

De plus : $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$ Donc : $\frac{Q_F}{T_F} \leq -\frac{Q_{Ch}}{T_{Ch}}$ Soit : $\frac{Q_F}{Q_{Ch}} \leq -\frac{T_F}{T_{Ch}}$.

Et : $R_{dt} = 1 + \frac{Q_F}{Q_{Ch}} \leq 1 - \frac{T_F}{T_{Ch}} = R_{dtc} < 1$.

Car si le cycle est réversible : $\frac{Q_{Ch}}{T_{Ch}} + \frac{Q_F}{T_F} = 0$ (égalité de Clausius); Donc : $\frac{Q_F}{Q_{Ch}} = -\frac{T_F}{T_{Ch}}$; Et : $R_{dtc} = 1 - \frac{T_F}{T_{Ch}}$.

AN : $R_{dtc} = \frac{2820 - 300}{2820}$; On trouve $R_{dtc} \approx 0,89$.

Ccl : Le moteur étudié n'a pas un fonctionnement réversible, son rendement est donc inférieur au rendement de Carnot entre les mêmes températures extrêmes.

Correction problème 2 : Double compression de gaz parfaits (D'après ICNA 2017)

1. Relation de Mayer pour les GP : $C_{pm} - C_{vm} = R$

Et $\gamma = \frac{C_{pm}}{C_{vm}}$ Donc : $\gamma C_{vm} - C_{vm} = R$; Soit : $C_{vm} = \frac{R}{\gamma-1}$;

Et : $C_{pm} = \gamma C_{vm}$ D'où : $C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$;

Réponse D uniquement.

2. Pour un GP : $dU = n C_{vm} dT$; Soit $\Delta U = n C_{vm} \Delta T$

De plus, U est une fonction d'état extensive,

Donc $\Delta U = \Delta U_I + \Delta U_{II} = n C_{vm}(T_f - T_1) + n C_{vm}(T_f - T_2)$;

Ainsi : $\Delta U = n C_{vm} (2T_f - T_1 - T_2)$; **Réponse A.**

3. Le système est l'ensemble des deux gaz.

La transformation est alors monobare, **adiabatique** et irréversible donc $Q = 0$; **Réponse C.**

✚ De plus, $\delta W = -P_{ext} dV_{syst} = -P_0 dV_{syst}$; Ainsi : $W = -P_0 \Delta V$, car la transfo est monobare.

✚ Pour l'ensemble des 2 sous-systèmes,

on a donc : $W = W_1 + W_2 = -P_0 (2V_f - V_1 - V_2)$

Enfin, grâce à l'équation d'état du GP, on a : $P_0 V_1 = nRT_1$; $P_0 V_2 = nRT_2$ et $P_0 V_f = nRT_f$

Ccl : $W = -nR (2T_f - T_1 - T_2)$; **Réponse B.**

4. Comme la transformation est alors monobare à P_0 et GP, le premier principe de la thermodynamique s'écrit : $\Delta H =$

$W_{autre} + Q_P$. Avec $W_{autre} = 0$ et $Q_P = 0$

Ainsi D'où $\Delta H = 0$.

De plus pour un GP, $dH = n C_{pm} dT$. Alors $n C_{pm} (2T_f - T_1 - T_2) = 0$; On obtient : $T_f = \frac{T_1 + T_2}{2}$;

Réponse D.

5.

D'après le 2nd principe de la thermodynamique, S est une fonction d'état extensive telle que

$\Delta S = S^{(ech)} + S^{(c)} = \Delta S_I + \Delta S_{II}$ avec ici $S^{(ech)} = 0$ car les parois sont **adiabatiques**. D'où $\Delta S = S^{(c)}$

D'autre part, d'après la formule de l'énoncé, $\Delta S_I = n C_{vm} \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right) + n R \ln \left(\frac{V_f}{V_1} \right)$;

De plus, $P_0 V_1 = nRT_1$ et $P_0 V_f = nRT_f$; Donc $\frac{V_f}{V_1} = \frac{T_f}{T_1}$;

Ainsi $\Delta S_I = n C_{vm} \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right) + n R \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right) = n(C_{vm} + R) \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right)$

Ou encore $\Delta S_I = n C_{pm} \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right)$;

On en déduit : $\Delta S = S^{(c)} = \Delta S_I + \Delta S_{II} = n C_{pm} \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right) + n C_{pm} \ln \left(\frac{T_f}{T_2} \right)$

Soit : $S^{(c)} = n C_{pm} \ln \left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2} \right)$ et avec $C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$ il vient : $S^{(c)} = \frac{n \gamma R}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2} \right)$.

Réponse B.

II-6. La transformation est toujours monobare et GP, le premier principe de la thermodynamique s'écrit : $\Delta H' = W_{autre} + Q'$. Avec $W_{autre} = 0$; Ainsi : $\Delta H' = Q'$.

De plus pour un GP, $dH' = n C_{pm} dT$;

Donc $Q' = \Delta H' = n C_{pm} \Delta T$.

De plus, H est une fonction d'état extensive,

Donc $\Delta H' = \Delta H'_I + \Delta H'_{II} = n C_{pm}(T_e - T_1) + n C_{pm}(T_e - T_2)$;

Ainsi : $\Delta H' = Q' = n C_{pm} (2T_e - T_1 - T_2)$; Et avec $C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$

On obtient : $Q' = \frac{n \gamma R}{\gamma-1} (2T_e - T_1 - T_2)$; **Réponse A.**

7. Comme à la question 5, on a $\Delta S' = S'^{(ech)} + S'^{(c)} = \Delta S_I + \Delta S_{II}$ avec $S'^{(ech)} = \frac{Q'}{T_e}$.

Et $\Delta S_I = n C_{pm} \ln \left(\frac{T_e}{T_1} \right)$; et encore $\Delta S' = n C_{pm} \ln \left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2} \right) = \frac{n \gamma R}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2} \right)$.

D'où : $S'^{(c)} = \frac{n \gamma R}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_e^2}{T_1 T_2} \right) - \frac{Q'}{T_e}$; **Réponse B**