

Exercice 1 : Comparaison entre un moteur à essence et un moteur diesel

Un moteur à essence n'aspire pas d'air (comme le moteur diesel) mais un mélange essence/air qui est comprimé dans le cylindre et allumé par l'étincelle de la bougie au point mort haut. Le taux de compression maximum est plus petit que celui du moteur diesel. Dans le cas contraire, le mélange essence/air s'allume avant que le piston arrive au point mort haut et la pression de la combustion casse la bielle du piston (cliquetis).

On modélise les transformations thermiques du moteur à essence à l'aide du cycle de Beau de Rochas (= cycle idéal du moteur à essence) :

- 1 -> 2 Compression adiabatique et réversible du mélange essence/air
- 2 -> 3 Explosion (isochore) de ce mélange au point mort haut dû à une étincelle de la bougie
- 3 -> 4 Détente adiabatique et réversible des gaz d'échappement
- (4 -> 1 Ouverture de la soupape d'échappement = Enlèvement isochore de la chaleur)

La capacité thermique massique c_p est pour toutes les transformations thermiques $1,1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$, la constante massique du gaz r_i vaut $287 \text{ J}/(\text{kg K})$.

- a) Indiquer ces transformations thermodynamiques qualitativement dans un diagramme p/V (diagramme de Watt) et un diagramme T/s .
- b) En comparant ce diagramme p/V du moteur à essence avec celui du moteur diesel : Quelle transformation thermodynamique a changé par rapport au moteur diesel ?
- c) Le rendement du moteur à essence peut aussi être exprimé à l'aide du taux de compression :

$$\eta_{\text{thessence}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \quad \varepsilon \text{ (ou } a \text{) : taux de compression}$$

Est-ce que le rendement du cycle idéal du moteur à essence augmente ou diminue si la température T_3 augmente (par exemple en injectant plus d'essence) :

Aide pour trouver la réponse à cette question :

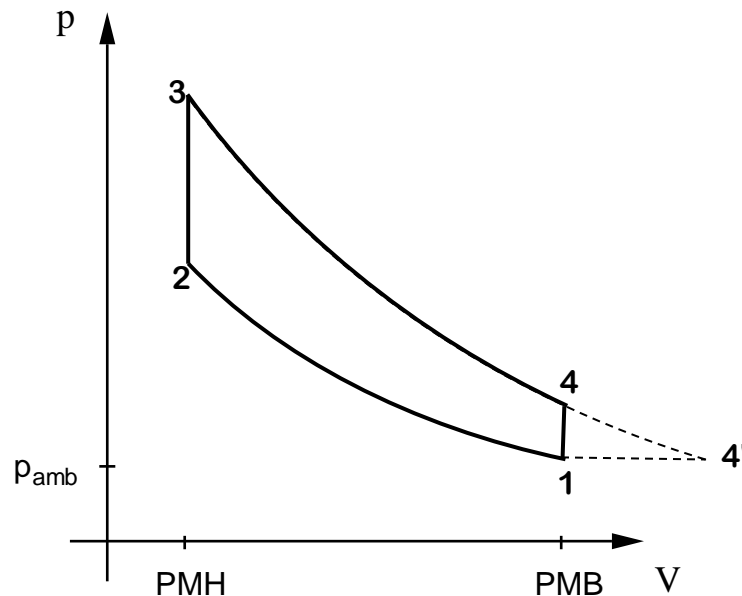
- I. Indiquer le nouveau point 3 (quand T_3 augmente) dans le diagramme p/V .
- II. Est-ce que le nouveau point 3 influence les volume 1 ou le volume 2 dans le diagramme p/V ?
- III. A l'aide de quels volumes est défini le taux de compression ε ?
- IV. Donc, est-ce que le rendement du moteur à essence augmente ou diminue si la température T_3 augmente ?

(On négligera l'influence de la température sur la capacité thermique massique.)

- d) Quel rendement est plus grand : celui du moteur à essence ou celui du moteur diesel si on suppose que le taux de compression est le même et le "rapport volumétrique de la combustion ϕ " est 1,2 ; 1,5 ; 1,7 et 2 (on déterminera γ à l'aide de la capacité thermique massique donnée) ?
Comment doit être la durée d'injection (qui est proportionnel à $\phi = V_{\text{fin_combustion}} / V_{\text{début_combustion}}$) d'un moteur diesel afin que le rendement soit le plus grand possible ?
- e) Reprendre la comparaison de d) sachant que le taux de compression du moteur à essence est en vérité de 10 et celui du moteur diesel 16.
- f) Apparemment le moteur avec le meilleur rendement sera un moteur à essence (Conclusion de d)) avec un taux de compression de 16 (Conclusion de e)). Qu'est-ce qu'il se passe avec le mélange air/essence dans la chambre de combustion d'un moteur à essence si on comprime trop le mélange/essence ?

Exercice 2 : Augmentation du rendement du moteur à essence : le cycle d'Atkinson et le cycle de Miller

La conclusion de la question f) de l'exercice 1 a été que le taux de compression d'un moteur à essence (voir cycle de moteur à essence classique $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ dans la figure en dessous), et donc le rendement, est limité à une certaine valeur parce qu'autrement le mélange air/essence s'autoenflamme pendant la phase de compression $1 \rightarrow 2$ avant l'arrivée du piston au PMH et la bielle casse. Donc $\varepsilon = V_1/V_2$ est limité à 10 dans le cas du moteur à essence.



Mais rien n'empêche que la phase de détente est prolongée jusqu'au point 4' au lieu du point 4 du moteur à essence classique. Un cycle avec une détente jusqu'au point 4' s'appelle cycle d'Atkinson. Dans ce cas le taux de détente (V_4'/V_3) est plus grand que le taux de compression (V_1/V_2).

a) A l'aide de la figure au-dessus répondez aux questions suivantes :

A quoi correspond le travail récupéré net dans le diagramme au-dessus (Rappel : $W_{pV} = \int p dV$) ? Est-ce que le travail récupéré est plus petit, le même ou plus grand dans le cas du cycle Atkinson (par rapport au cycle d'un moteur à essence classique) ?

Entre quel point et quel point est-ce que de la chaleur de combustion est introduite dans le cycle au-dessus ? Est-ce que la chaleur introduite pendant la combustion est plus petite, la même ou plus grande dans le cas du cycle Atkinson (par rapport au cycle d'un moteur à essence classique) ?

Est-ce que le rendement est plus petit, le même ou plus grand dans le cas du cycle Atkinson (par rapport au cycle d'un moteur à essence classique) ? Pourquoi ?

Donc beaucoup de fabricants de voiture utilise aujourd'hui le cycle d'Atkinson pour leurs moteurs à essence. Afin de réaliser la détente $3 \rightarrow 4'$ on utilise un vilebrequin avec une plus grande excentricité. Afin d'éviter qu'un taux de compression V_4'/V_2 conduit à l'autoinflammation du mélange air/essence on laisse la soupape d'admission ouverte entre 4' et 1 et le taux de compression est donc réduit à V_1/V_2 .

On déterminera d'abord le rendement d'un cycle de moteur à essence classique $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$. Le taux de compression est de 10. Au début de la phase de compression la pression dans le cylindre est 0,1 MPa et la température 15 °C. La chaleur massique introduite pendant la combustion est 1800 kJ/kg. On prendra comme rapport des capacités thermiques 1,35 et la capacité thermique massique à volume constant est de 0,813 kJ/(kg K).

- b) Déterminer la température en °C et la pression en bar des points 2 et 3.
- c) Déterminer le rendement du cycle du moteur à essence classique.

On étudie maintenant le cycle d'Atkinson :

- d) Déterminer la température du point 4'.
- e) Déterminer le rendement du cycle d'un moteur fonctionnant suivant le cycle d'Atkinson

$$(\eta_{Atkinson} = 1 + \gamma \cdot \frac{T_1 - T_{4'}}{T_3 - T_2}). \text{ Comparer les deux rendements.}$$

- f) Pour le cas où on injecte d'avantage d'essence [voir aussi votre réponse à la question c) de l'exercice 1] : indiquer le nouveau cycle, appelé **cycle de Miller**, à partir de la figure de la page précédente, le taux de détente, étant imposé par l'excentricité du vilebrequin, restera le même.

Donc les moteurs à essence ne fonctionnent pas la plupart du temps avec le cycle d'Atkinson mais avec le **cycle de Miller**, donc avec un rendement inférieur par rapport au rendement du cycle d'Atkinson mais supérieur par rapport au rendement du cycle du moteur à essence classique.