

AMELIORATION DU RENDEMENT, AUX CHARGES PARTIELLES, DES MOTEURS A ALLUMAGE COMMANDE PAR L'AUGMENTATION DU TAUX DE COMPRESSION

P. Podevin*; **G. Descombes**
 Conservatoire National des Arts et Métiers
 Chaire de turbomachines
 292, rue Saint Martin
 75141 Paris Cedex 03 France
 Tel : 33 (0)1 30 45 87 35
 Fax : 33 (0)1 30 45 87 73
 e-mail : podevin@cnam.fr

A. Clenci, V. Hara, C. Zaharia
 Université de Pitesti
 Chaire d'Automobiles
 11, rue Doaga
 Pitesti 0300, Arges, Roumanie
 Tel: (00) 40 248 624950
 Fax: (00) 40 248 217736
 email: adi.clenci@upit.ro

Résumé :

En utilisation urbaine le rendement maximum du moteur à allumage commandé est de l'ordre de 10 à 15 %. Un accroissement significatif de ce rendement peut-être obtenu par une augmentation du taux volumétrique de compression.

Expérimentalement, à partir du relevé des diagrammes indiqués à une faible charge partielle, les auteurs ont établi l'influence de l'augmentation du taux géométrique de compression sur les rendements moteurs.

Les auteurs proposent ensuite un concept original de moteur articulé qui permet d'ajuster automatiquement le taux de compression en fonction de la charge du moteur.

Mots clés: automobile/charges partielles/rendement/économie de carburant/taux de compression/ moteur à taux de compression variable

INTRODUCTION

Une des particularités essentielle du moteur d'automobile est sa grande plage de fonctionnement en termes de régimes et de charges. La pleine charge "pied au plancher" est rare, l'utilisation du moteur s'effectue principalement en charges partielles. Le rendement maximum du moteur à allumage commandé qui est d'environ 30%, ne dépasse pas 10 à 15% aux faibles charges partielles. C'est ce dernier cas qui est principalement rencontré, 80 à 90 % du temps, en utilisation urbaine du véhicule (figure 1).

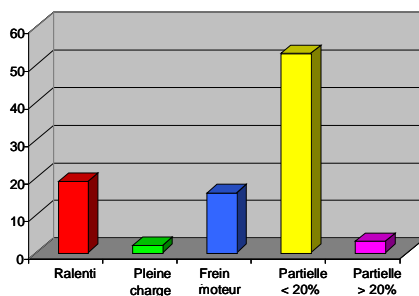


Fig. 1. Utilisation urbaine du véhicule

Pour palier ce déficit, il faut chercher les solutions constructives qui permettent d'obtenir dans cet intervalle de fonctionnement une augmentation significative du rendement. L'une d'elles consiste en une variation du taux volumétrique de compression.

Dans le cas du moteur à allumage commandé, le contrôle quantitatif de la charge moteur est réalisée généralement à l'aide du papillon de gaz (figure 2).

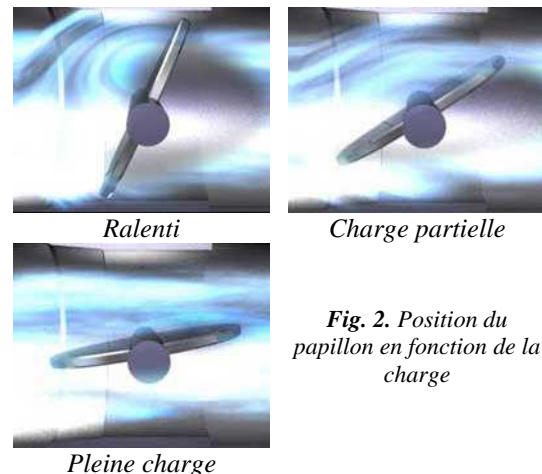


Fig. 2. Position du papillon en fonction de la charge

Ce moyen de régulation engendre non

seulement des pertes par pompage mais aussi la diminution du rapport réel de compression.

Du fait de la valeur fixe du rapport volumétrique de compression (ϵ_v), la masse de mélange frais admise occupe toujours le même volume à la fin de la phase de compression. Quand la charge décroît, la masse admise diminue, donc la pression de fin de compression baisse. C'est l'inconvénient principal du moteur à allumage commandé : un rapport réel de compression variable. Ce rapport étant fonction, bien entendu, du rapport géométrique (volumétrique) de compression, ϵ_v mais aussi de la charge, du régime moteur et des paramètres de distribution.

Le rapport réel de compression, est le rapport entre les pressions mesurées à la fin et au début de compression (p_2, p_1). Ce rapport peut s'exprimer sous la forme d'un rapport volumétrique de compression ϵ_p suivant la relation [1, 2] :

$$\epsilon_p = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{\bar{n}}} \quad (1)$$

où \bar{n} est un exposant polytropique moyen.

Les figures 3 et 4 montrent la variation du rapport réel de compression ϵ_p avec la charge et le régime pour deux valeurs du rapport volumétrique de compression. Aux faibles charges partielles et pour $\epsilon_v = 8.5$, figure 3, le rapport réel de compression ϵ_p se situe entre 3.5 et 5. Par contre, dans le cas $\epsilon_v = 12.5$, figure 4, les valeurs de ϵ_p sont toujours plus élevées [3].

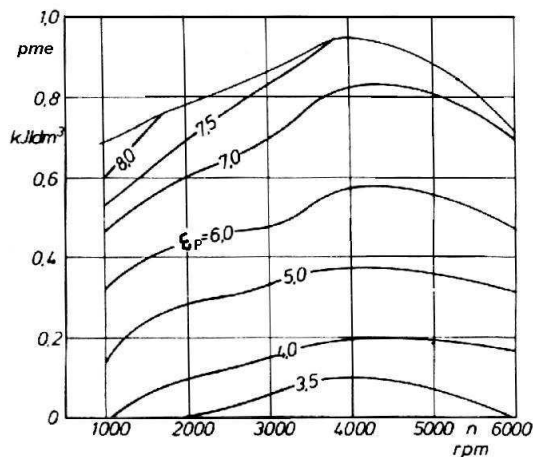


Fig. 3. Variation du rapport réel de compression en fonction de la charge et du régime pour $\epsilon_v = 8.5$

Ces résultats montrent l'intérêt de l'augmentation du rapport volumétrique de compression pour obtenir un accroissement du rapport réel de compression quand la charge du moteur diminue.

Par ailleurs, il est constaté que lorsque la charge baisse le risque de cliquetis diminue. En

fait, sous 50 à 60% de la pleine charge ce risque disparaît complètement. Ainsi, la valeur minimum du rapport volumétrique de compression ϵ_v peut être établie à la pleine charge, à la limite de cliquetis et la valeur maximum, au ralenti, de façon à avoir une augmentation nette du rapport réel de compression, ϵ_p .

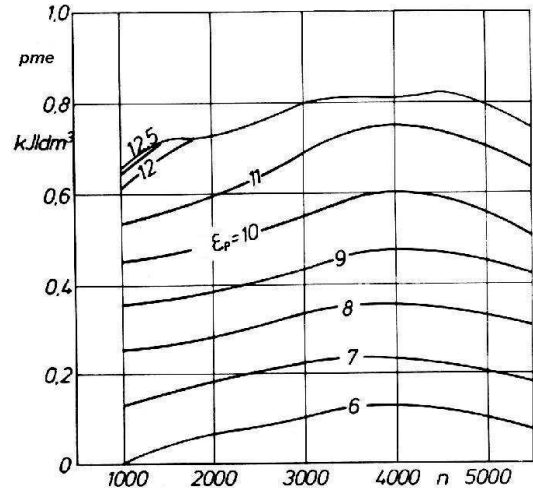


Fig. 4. Variation du rapport réel de compression en fonction de la charge et du régime pour $\epsilon_v = 12.5$

1. INFLUENCE DU TAUX VOLUMÉTRIQUE DE COMPRESSION SUR LES DIFFÉRENTS CATEGORIES DE RENDEMENTS

L'utilité d'augmenter le taux volumétrique de compression aux charges partielles ayant été démontrée, des expérimentations ont été conduites au banc d'essais sur un moteur essence à 4 cylindres en ligne de 1.3 litre de cylindrée. Le moteur a été équipé de différentes culasses afin d'obtenir les taux volumétrique de compression ϵ_v suivants : 8.5, 11 et 12.5 [1].

Les résultats expérimentaux présentés concernent un même point de fonctionnement (même charge au frein, même régime moteur) pour différentes valeurs du taux volumétrique de compression. Pour interpréter ces résultats, quelques définitions sont rappelées :

Le rendement global du moteur appelé rendement effectif est :

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q} \quad (2)$$

P_e : puissance effective soit la puissance mesurée au frein du moteur

Q : Puissance thermique fournie par le combustible

$$Q = \dot{m}_c \cdot P_{ci} \quad (3)$$

\dot{m}_c : débit masse de carburant

P_{ci} : Pouvoir calorifique inférieur du carburant

43 524 kJ/kg

Le rendement effectif est égal au produit du

rendement indiqué par le rendement mécanique :

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad (4)$$

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q} \quad (5)$$

P_i : puissance indiquée

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (6)$$

Pour des questions de commodités les puissances sont traduites sous la forme de pression effective à l'aide des équations suivantes :

$$P_{me} = \frac{60 \cdot x \cdot P_e}{V \cdot N} \quad \text{en Pa} \quad (7)$$

$$P_{mi} = \frac{60 \cdot x \cdot P_i}{V \cdot N} \quad \text{en Pa} \quad (8)$$

x : 1 pour un moteur 2 temps

x : 2 pour un moteur 4 temps

P_e : puissance effective en W

V : Cylindrée totale en m^3

N : Vitesse de rotation en tr/min

La pression moyenne indiquée est déterminée à partir du relevé de la pression dans la chambre de combustion (figure 5). La relation suivante est utilisée :

$$P_{mi} = \frac{L_{i(cc)}}{V_s} \quad (9)$$

$L_{i(cc)}$: travail mécanique indiqué sur un cycle par cylindre. L'évaluation de $L_{i(cc)}$ se fait par intégration numérique de la courbe $p = f(V)$ (figure 6)

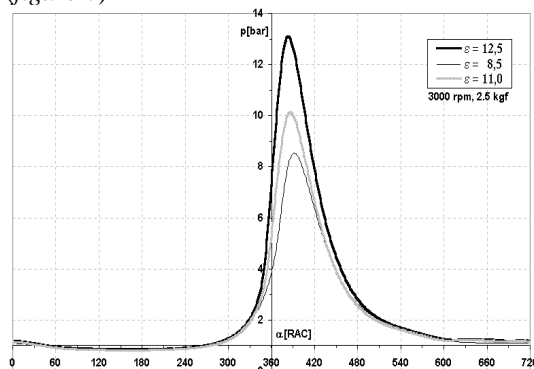


Fig. 5. Pression dans la chambre de combustion en fonction de α

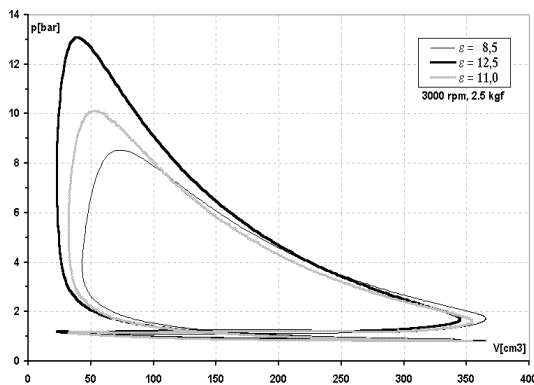


Fig. 6. Diagramme indiqué

Un récapitulatif des différents paramètres calculés est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1. Performances moteur pour différents taux volumétriques de compression

Grandeur	N = 3000 rpm, C = 25 N.m		
	$\varepsilon_v = 8.5$	$\varepsilon_v = 11$	$\varepsilon_v = 12.5$
P_{mi} [bar]	3.329	3.619	4.559
P_{me} [bar]	2.28		
η_m [%]	68.5	63.0	50.0
η_i [%]	19.6	23.5	32.2
η_e [%]	13.4	14.8	16.1

La figure 7 présente la variation de ces rendements.

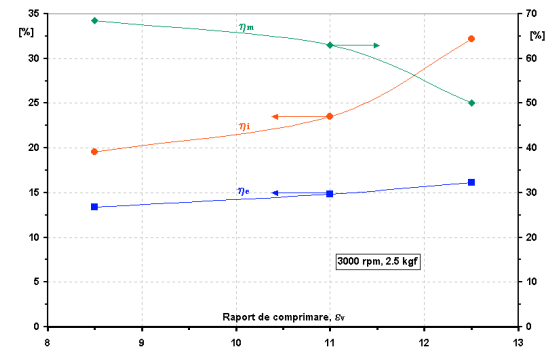


Fig. 7. Variation des rendements en fonction du taux volumétrique de compression

Bien entendu, le rendement indiqué augmente avec l'accroissement du taux volumétrique de compression ε_v . Au contraire, le rendement mécanique, comme il était attendu, diminue avec l'augmentation du ε_v . Cette diminution du rendement mécanique quand ε_v croît, est due à l'augmentation du niveau de pression à l'intérieur des cylindres qui entraîne une puissance supplémentaire pour vaincre les frottements. De plus, pour le même point de fonctionnement avec un taux volumétrique de compression plus élevé, le papillon des gaz est plus fermé ce qui engendre une augmentation du travail mécanique de pompage et donc aussi une diminution du rendement mécanique.

L'amélioration du rendement effectif est continu et atteint 20% lorsque le taux volumétrique de compression passe de 8.5 à 12.5, soit un accroissement d'environ 5% par unité d'accroissement du ε_v .

Il faut, également, préciser que ces gains ont été obtenus sans aucune modification de la caractéristique de dosage et de la loi d'allumage.

2. LE MOTEUR ARTICULE A TAUX DE COMPRESSION VARIABLE

La variation du rapport volumétrique de compression ε_v , est obtenu par la variation de volume de la chambre de combustion.

Les solutions constructives de compression

variable peuvent être classifiées en cinq groupes (figure 8) [1] :

1. constructions avec des possibilités de mouvements relatifs de l'ensemble culasse-carter inférieur (schéma 1) ;
2. constructions avec des pièces mobiles au niveau de la culasse ou bien du piston (schémas 2 et 3) ;
3. constructions avec des pièces supplémentaires introduites dans la chaîne cinématique piston-bielle-manivelle (schémas 4, 5, 6, 7 et 8) ;
4. constructions de moteurs avec des cylindres couplés ;
5. autres constructions.

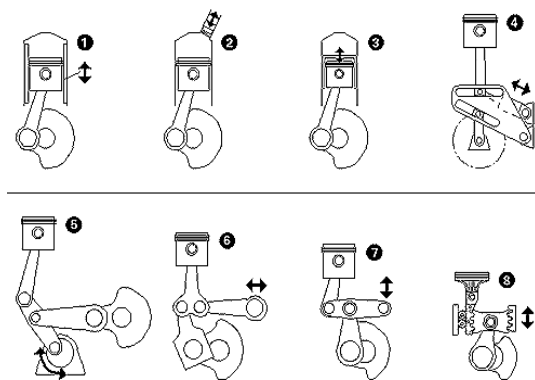


Fig. 8. Procédés de variation de taux de compression

Tous ces systèmes permettent une variation continue du taux de compression.

Le moteur articulé proposé par Vasile Hara, Brevet Roumain no. 111863B, fait parti du groupe 1. Les dispositions constructives de ce moteur sont représentées figure 9 [1, 2, 4, 5].

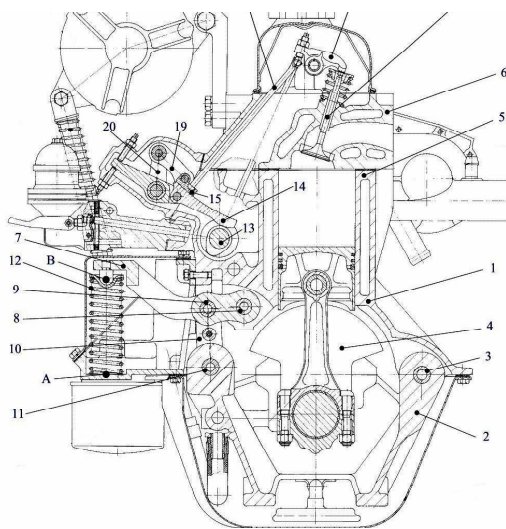


Fig.9. Coupe transversal du moteur articulé

Le moteur est constitué d'un bloc supérieur 1 et d'un bloc inférieur 2. Ceux-ci sont articulés au niveau de l'axe 3. Le bloc inférieur 2 est fixe, lié par des traverses au châssis du véhicule, il soutient la totalité du moteur ainsi que le vilebrequin. L'angle de rotation du bloc supérieur est contrôlé par le levier 7 qui est lié au bloc supérieur par l'axe 8. La liaison entre les deux blocs est assurée par la bielle 10 au niveau des axes 9 et 11. Les ressorts 12 limitent le pivotement du bloc supérieur.

Quand la charge du moteur croît, la pression moyenne effective augmente et entraîne le basculement du bloc supérieur. Un volume du cylindre est, alors, ajouté au volume de la chambre de combustion provoquant ainsi une diminution du rapport volumétrique de compression. Une variation de taux de compression de 12.5 (ralenti) à 8.5 (charge pleine et couple maximum) est obtenue par une rotation de seulement de deux degrés. De ce fait la cinématique du mécanisme classique bielle manivelle est conservée.

Le rôle des ressorts est très important, car ce sont eux qui pilotent le taux de compression. Lorsque la charge du moteur augmente, le bloc supérieur bascule et comprime les ressorts 12. Cette compression des ressorts est amplifiée par le déplacement du support des ressorts qui bascule avec le bloc supérieur. Les ressorts 12 sont précomprimés afin d'équilibrer la force de pression variable des gaz au ralenti. Un atout majeur de ce dispositif est qu'il s'agit d'un système intrinsèque d'autorégulation du taux de compression. C'est la pression moyenne des gaz qui donne exactement la force d'exécution pour l'ajustement du taux volumétrique de compression.

Le système de réglage est conçu de telle sorte que la force variable de pression des gaz n'engendre pas de phénomène de résonance. Dans le cas d'un régime stabilisé, bien sûr, il y a une oscillation continue du levier 7, mais son amplitude est négligeable et le rapport volumétrique de compression, peut être considéré constant.

Il apparaît important de souligner que ce moteur fonctionne de façon autonome sans utiliser d'équipements extérieurs instrumentés, de capteurs, d'éléments de commande, tels des pistons hydrauliques ou bien des moteurs électriques, systèmes qui ne permettent pas d'atteindre une variation rapide du taux de compression.

Ce dispositif ne nécessite, donc, aucun système de commande externe. Il en résulte un avantage primordial : un temps de réponse très court qui élimine le risque de cliquetis lors d'une brusque prise de charge.

Figure 9, il peut aussi être constaté que ce

moteur dispose d'un système de levée de soupape d'admission variable. Ce dispositif ne fait pas l'objet du présent article.

3. CONCLUSIONS

Dans le contexte énergétique et environnemental de ce début de XXI^e siècle, la compression variable constitue un élément de réponse au double objectif d'économie d'énergie des combustibles fossiles et de dépollution simultanée de l'environnement.

Le moteur à taux de compression variable présenté s'adapte aux conditions de fonctionnement de façon à optimiser le rendement de celui-ci. Il en résulte une diminution de la consommation et donc une réduction des émissions polluantes. Le dispositif de compression variable fonctionne de manière autonome et autorégulé. De plus, sa conception est simple du fait qu'il utilise toutes les pièces en mouvement d'un moteur classique. Un autre avantage de ce moteur est une capacité d'accélération plus rapide. Cet avantage devrait aussi se concrétiser dans le cas d'un moteur turbocompressé en permettant une diminution importante du temps de réponse du turbocompresseur. Il s'inscrit tout à fait dans la demande des constructeurs d'automobile pour des moteurs de petites cylindrées de grande puissance (*downsizing*)

Dans un siècle d'évolution du moteur à allumage commandé, seulement deux processus sont maintenant automatisés : le dosage de

carburant (carburateur ou injection électronique) et l'avance à l'allumage.

Aussi, il apparaît aujourd'hui logique d'introduire dans cette perspective d'évolution du moteur à allumage commandé, le processus d'une régulation automatique du rapport volumétrique de compression.

Références:

- [1] Adrian Clenci – *Recherches sur l'amélioration du fonctionnement aux charges partielles d'un moteur à allumage commandé, par compression variable*, Thèse de doctorat, 2003.
- [2] Vasile Hara, Adrian Clenci – *The Adaptive Thermal Engine with Variable Compression Ratio and Variable Intake Valve Lift*, Edité par l'Université de Pitesti Roumanie, 2002, ISBN 973-8212-92-8.
- [3] Dartnell, P.L. – *Future engine designs for minimum fuel consumption and exhaust emissions*, SAE 811385.
- [4] Adrian Clenci, Vasile Hara, Georges Descombes – *Compression variable par le concept du moteur articulé. Etude sur la position de l'articulation*, Buletinul Stiintific al Universitatii din Pitesti, anul VIII, nr. 12/2002.
- [5] Vasile Hara – *Le moteur adaptif à taux de compression variable et à levée variable de la soupape d'admission*, Brevet Roumain n° 111863B.