

# **Influence d'une suralimentation à géométrie variable sur les performances et les émissions de particules d'un moteur Diesel de propulsion routière**

Georges DESCOMBES, Pierre PODEVIN, Michel TOUSSAINT  
Conservatoire National des Arts et Métiers  
Chaire de Turbomachines et Moteurs  
292, rue Saint Martin 75141 Paris Cedex 03 France  
Fax : 33 (0)1 42 71 93 29 Email :descombe@cnam.fr

## **Résumé**

*Le concept de suralimentation des moteurs thermiques est désormais orienté vers l'objectif naturel de dépollution. Il est généralisé en motorisation Diesel et connaît un regain d'intérêt sur la génération émergente des moteurs à allumage commandé à injection directe d'essence.*

*Les résultats présentés dans ce papier concernent l'étude expérimentale des performances d'un moteur Diesel turbosuralimenté à géométrie variable. Une référence est réalisée au banc d'essais sur un moteur d'automobile avec un turbocompresseur conventionnel à clapet de décharge. Ce même moteur est ensuite équipé d'une turbine de suralimentation qui comporte un dispositif original de volute à géométrie variable destiné à optimiser le remplissage en air du moteur thermique.*

*Une analyse comparative des performances du groupe de suralimentation est conduite sur l'intégralité de sa plage de fonctionnement. L'expérience montre que le clapet de décharge qui pénalise les consommations spécifiques en suralimentation classique n'est plus nécessaire. Il en résulte un gain significatif de consommation en carburant dès 2400 tr/min ainsi qu'une diminution des émissions de fumées.*

**Mots-clés :** Moteur Diesel, turbosuralimentation, géométrie variable, fumées, consommation spécifique.

## **Abstract**

***Influence of turbocharging with variable geometry turbine on performances and smoke emissions of an automotive Diesel engine.***

*The concept of supercharging internal combustion engines is henceforth directed towards the natural objective of emissions reduction. It is generalized in Diesel motorization and a renewed interest on the emergent generation of the spark ignition engines appears with direct gasoline injection. The results presented in this paper relates to the experimental study of the performances of a turbocharged Diesel engine with variable geometry. On a test bench, a reference is carried out on a car engine with a conventional waste-gate turbocharger. The same engine is then equipped with a variable geometry turbine which comprises an original device located in the scroll and intended to optimize the functioning of the turbine. The compressor is an home made one with a high peak efficiency.*

*A comparative analysis of the performances of the two items is led on the integrality of engine operating range. The experiment shows that the by-pass valve which penalizes specific consumption at high boost pressure is not necessary any more. It results a significant profit in consumption from speed greater than 2400 rpm as well as a reduction in smoke emissions.*

**Keys-words:** Diesel engine, turbocharger, variable geometry, smoke , specific consumption.

## Introduction

Le couplage d'un moteur à combustion interne et d'un turbocompresseur est délicat dans la mesure où le moteur est une machine à flux discontinu qui est sollicitée sur une large plage de régime et de charge. Le turbocompresseur fonctionne quant à lui globalement en flux continu et ses performances sont optimisées au voisinage d'un point nominal de fonctionnement.

En propulsion automobile, le moteur doit délivrer un couple élevé dès les bas régimes et il est donc vital de disposer d'un taux de suralimentation notable dans cette plage de fonctionnement. Ceci conduit à utiliser une turbine dont la puissance est excédentaire à hauts régimes qui nécessite un dispositif de régulation usuellement assuré par un clapet de décharge.

L'expérience montre néanmoins que ce dispositif d'asservissement de technologie simple pénalise les consommations du moteur thermique et différentes techniques de substitution peuvent être envisagées afin de mieux adapter le fonctionnement du turbocompresseur à celui du moteur .

La prérotation en amont du compresseur de suralimentation vise à fournir un moment cinétique au fluide à l'entrée de la roue du compresseur et permet d'agir directement sur la puissance de compression. Des prérotateurs prototypes ont été réalisés et testés au sein du laboratoire, Toussaint et Cauquot (1986), dans le but d'augmenter la vitesse de rotation du turbocompresseur dans les bas régimes du moteur. L'expérience a montré que les gains obtenus demeureraient insuffisants, cette solution n'a pas connu de développements ultérieurs.

Les concepts de turbine à aubages de distributeur variable visent à adapter le champ des vitesses à l'entrée de la roue de turbine en fonction du débit masse disponible. Cette variation peut être obtenue entre autres par un distributeur aileté à calage variable, Descombes et coll. (1998) ou par une volute à géométrie variable, Toussaint et coll. (1999).

C'est sur cette dernière technique de volute à géométrie variable que nous avons concentré nos efforts, le but étant de réaliser une machine de technologie simple, robuste et économique tout en supprimant l'utilisation coûteuse en énergie du clapet de décharge.

## 1 - Présentation du turbocompresseur

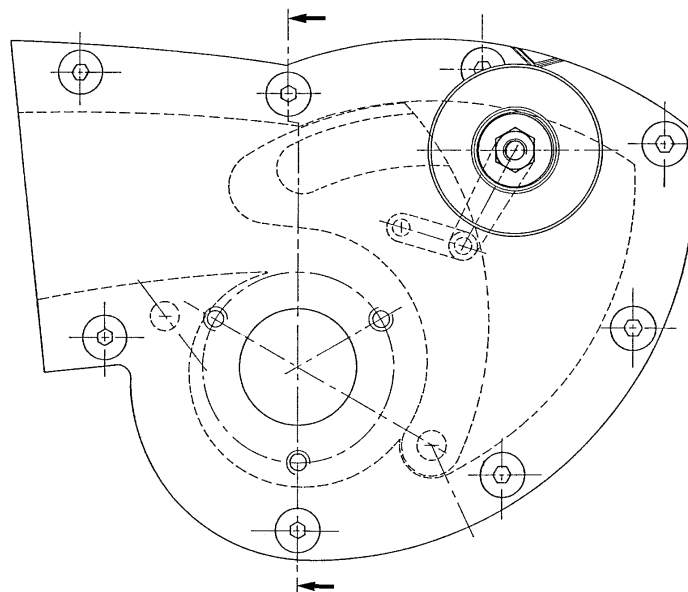


Figure 1 : Plan de la turbine à géométrie variable  
*Figure 1: Sketch of variable turbine*

Pour un champ caractéristique donné du compresseur et du moteur, la turbine a été conçue et réalisée au point optimal de fonctionnement défini par les grandeurs suivantes, Regnault et Friberg (1987). Le débit-masse est de 0,75 kg/s, la vitesse de rotation étant égale à 137000 tr/min pour un taux de détente de 1,62.

La régulation par volet réglable, brevet n° 8602814, représentée figure 1, constitue la principale originalité de ce turbocompresseur. Une molette permet d'ajuster le volet à la position géométrique désirée. La roue de turbine a été réalisée par usinage d'un matériau en Inconel 713, l'arbre de la turbine étant soudé par bombardement électronique.

## 2 - Expérimentation sur banc d'essai moteur

Les essais ont été conduits sur le banc d'essai moteurs du laboratoire équipé d'un moteur Diesel de 1700 cm<sup>3</sup> de cylindrée. Des essais de référence ont été conduits sur un groupe de suralimentation équipé d'un turbocompresseur conventionnel à clapet de décharge. Les essais préliminaires réalisés ensuite avec un turbocompresseur comportant une turbine à géométrie variable et un compresseur standard ont mis en évidence une augmentation significative du couple moteur à partir de 2500 tr/min jusqu'au régime maximum de rotation de 4300 tr/min, Descombes (1986).

Une seconde campagne d'essais a porté sur un turbocompresseur dont la section débitante de la volute a été diminuée afin d'obtenir le couple maximum du moteur dès 2000 tr/min. Le compresseur initial a été remplacé par un compresseur à haut rendement réalisé au sein de notre laboratoire, Friberg (1984).

## 3 - Analyse des résultats

Les résultats d'essais correspondants sont obtenus selon la procédure suivante. Pour une isovitesse moteur donnée, la position du volet de turbine donnant le maximum de puissance en pleine charge est recherchée. Les différents points de fonctionnement sont ensuite relevés pour cette position de référence et deux valeurs voisines encadrant celle-ci. Un exemple est donné par les figures 2 et 3 au régime de 2000 tr/min.

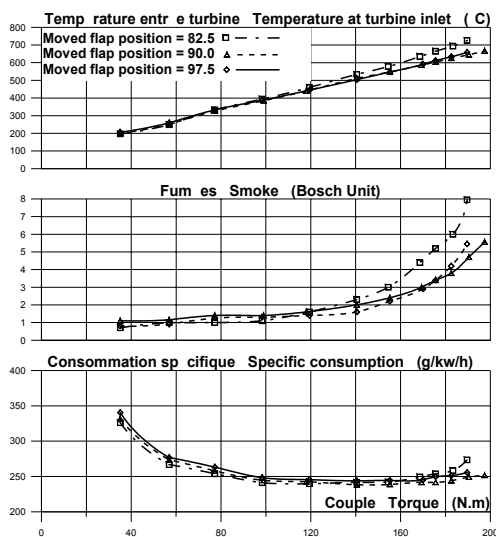


Figure 2 : Performances moteur à 2000 tr/min  
Figure 2: Engine performances at 2000 rpm

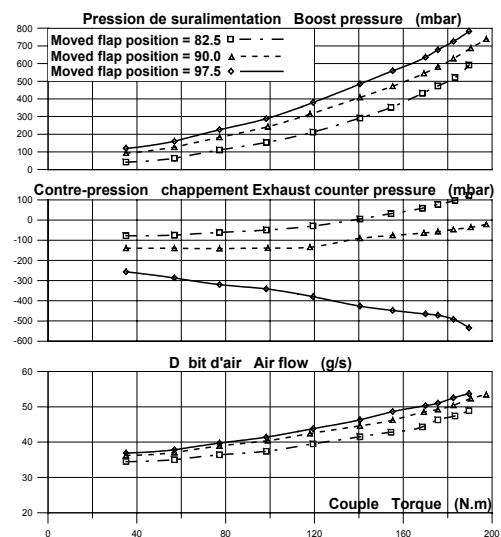


Figure 3 : Performances moteur à 2000 tr/min  
Figure 3: Engine performances at 2000 rpm

Les figures 4 à 9 suivantes comparent les performances du moteur équipé successivement d'un turbocompresseur conventionnel à clapet de décharge, puis du turbocompresseur à géométrie variable sur les isovitesse 1500, 2500, 4300 tr/min.

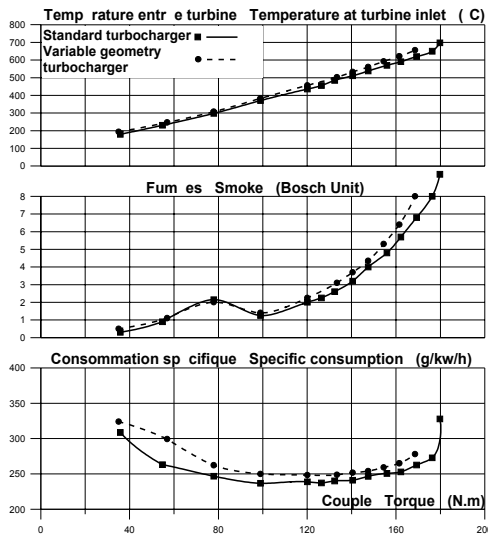


Figure 4 : Performances moteur à 1500 tr/min  
 Figure 4: Engine performances at 1500 rpm

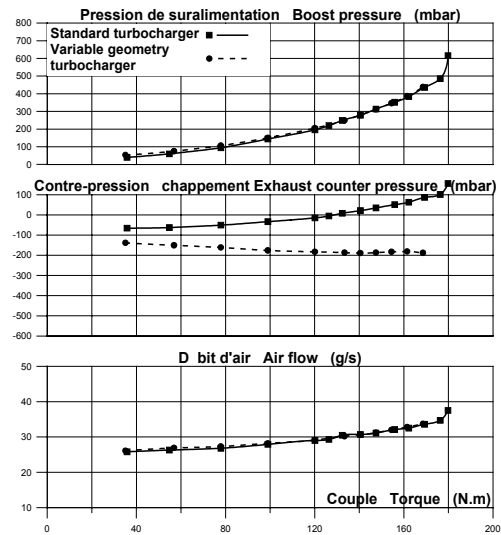


Figure 5 : Performances moteur à 1500 tr/min  
 Figure 5: Engine performances at 1500 rpm

A 1500 tr/min, figures 4 et 5, les consommations spécifiques et les fumées sont plus faibles sur toute la plage de couple avec le turbocompresseur d'origine. La pression de suralimentation est quasiment identique, mais le contre-balayage qui est plus prononcé avec la turbine à géométrie variable entraîne un déficit de performances.

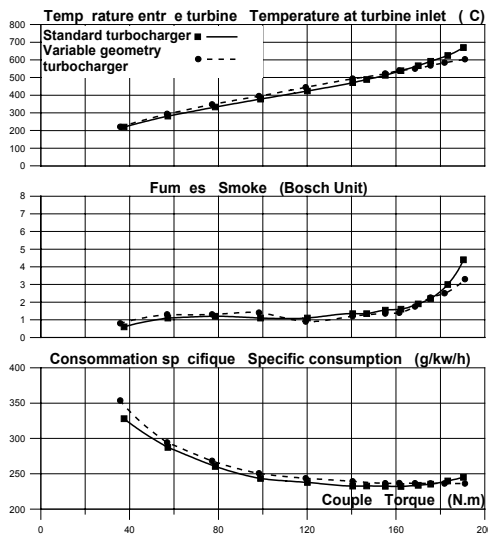


Figure 6 : Performances moteur à 2500 tr/min  
 Figure 6: Engine performances at 2500 rpm

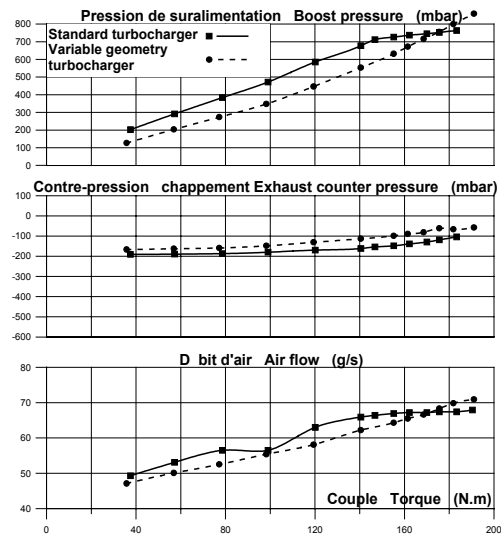


Figure 7 : Performances moteur à 2500 tr/min  
 Figure 7: Engine performances at 2500 rpm

A 2500 tr/min, figures 6 et 7, la situation s'inverse aux fortes charges. Les consommations spécifiques de même que les émissions de fumées sont réduites avec la turbine à géométrie variable qui autorise une pression de suralimentation plus forte avec un contre-balayage réduit par rapport au turbocompresseur conventionnel.

A 4300 tr/min, figures 8 et 9, les mêmes tendances qu'à 2500 tr/min se confirment au profit de la turbine à géométrie variable. On observe sans surprise que le clapet de dérivation des gaz d'échappement du turbocompresseur conventionnel génère une contre-pression élevée qui pénalise les performances du moteur thermique.

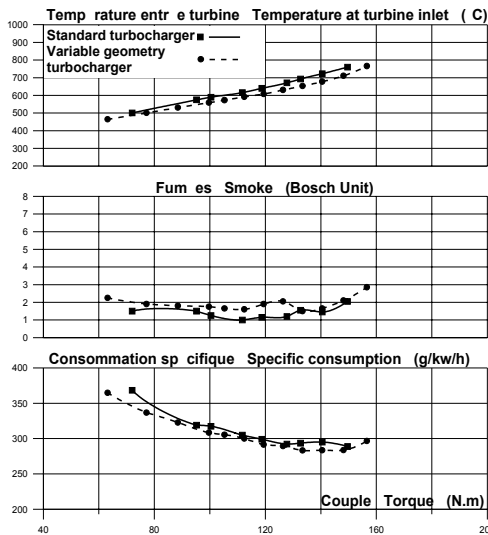


Figure 8 : Performances moteur à 4300 tr/min  
 Figure 8: Engine performances at 4300 rpm

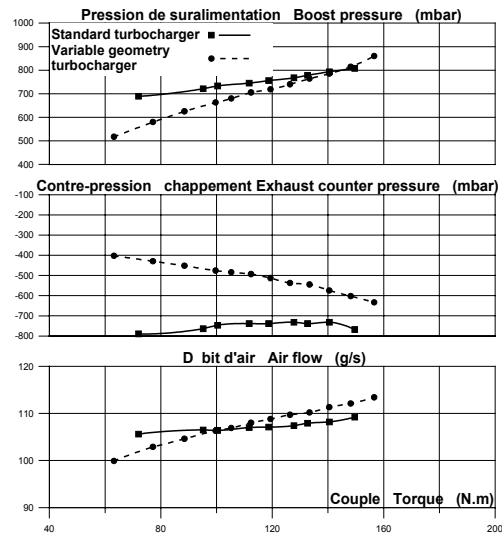


Figure 9 : Performances moteur à 4300 tr/min  
 Figure 9: Engine performances at 4300 rpm

Les figures 10 et 11 comparent les performances en pleine charge du moteur pour les deux configurations précitées de turbocompresseurs, les points de fonctionnement étant déterminés selon le tableau 1.

Régime moteur tr/min	Critère de fonctionnement Unités Bosch / °C
1500	Fumée = 4,5
1750	Fumée = 4,1
2000	Fumée = 3,5
2500	Fumée = 2,8
3500	Fumée = 2,8
4300	Température entrée turbine = 750 °C

Tableau 1 : Critères limites de fonctionnement  
 Table 1: Boundary functioning criteria

Les résultats pleine charge confirment les tendances précédemment constatées. Le couple maximal proche de 185 Nm est atteint à 2150 tr/min avec le turbocompresseur d'origine et 2400 tr/min pour le turbocompresseur à géométrie variable.

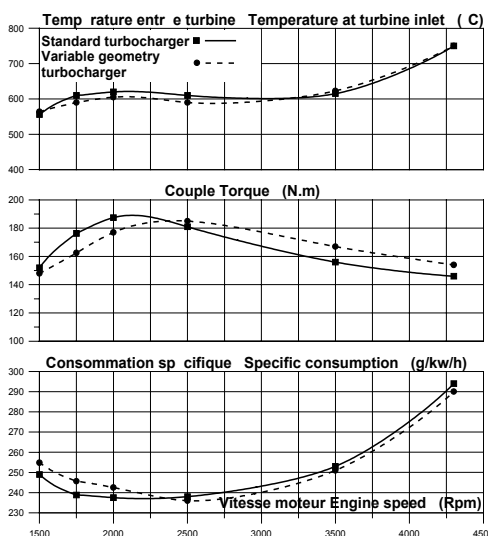


Figure 10 : Performances moteur en pleine charge  
 Figure 10: Engine performances at full load

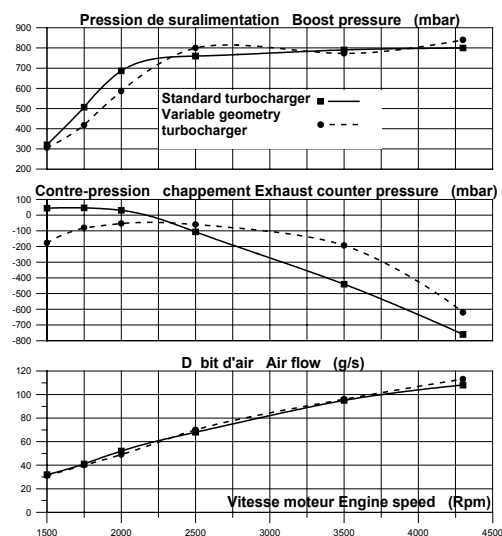


Figure 11 : Performances moteur en pleine charge  
 Figure 11: Engine performances at full load

Les modifications apportées au prototype de volute à géométrie variable n'ont pas permis de positionner le couple maximal à la valeur souhaitée de 2000 tr/min. Des calculs ultérieurs ont montré que l'aubage de turbine n'était pas alimenté avec l'incidence optimale et il aurait été nécessaire de concevoir une nouvelle roue de turbine.

Si le compresseur prototype présente pour sa part un rendement élevé au point nominal de fonctionnement, ce niveau de rendement n'est en revanche conservé que sur une plage plus étroite qu'avec un compresseur classique. L'atout d'un rendement élevé, a priori favorable, peut de ce fait se révéler néfaste si la plage de fonctionnement demandée est large. Des travaux complémentaires ont d'ailleurs été initiés ultérieurement sur des compresseurs à courbes de rendement plates afin de mieux cerner cet aspect.

## **Conclusion**

Le dispositif de volute à géométrie variable a montré qu'il était possible de s'affranchir de la soupape de décharge. L'adaptation du turbocompresseur aux besoins du moteur permet ainsi de minimiser la contre-pression à l'échappement, ce qui se traduit par une meilleure utilisation de l'énergie contribuant ainsi à augmenter le rendement du moteur pour des émissions de fumées réduites.

Il est de plus possible d'améliorer les performances dans les bas régimes de fonctionnement du moteur, mais cette modification peut se révéler préjudiciable aux performances du moteur dans les régimes élevés. Une solution permettant de résoudre ce compromis a été proposée avec une turbine de suralimentation équipée de deux volets réglables, mais n'a pas été développée faute de financement.

## **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier le ministère de l'industrie et la société PSA qui ont financé ce travail de recherche. Ils tiennent aussi à remercier Messieurs Marcel Sédille et Jean Friberg, anciens professeurs du Conservatoire national des arts et métiers, qui sont à l'origine de ces travaux.

## **Références**

- BREVET n°8602814 : Turbine centripète ou hélico centripète comportant une volute à géométrie variable et une aube directrice orientable, notamment pour automobiles.
- Descombes G., Duan Q., Jullien J., Parkinson N. (1998) : Study of the performances of a variable geometry turbocharger. International council on combustion engines, 22<sup>nd</sup> CIMAC, Copenhagen, 18-21 may 1998, session n°10.08, emissions and environment, Vol. 5, pp. 1207-1218.
- Descombes G. (1986) : Implantation d'un banc et essai d'une turbine à volet réglable sur moteur diesel d'automobile. Mémoire d'ingénieur CNAM. Paris.
- Friberg J. (1984) : Amélioration des compresseurs de suralimentation pour moteurs d'automobile. DGRST. Rapport d'étude 83F0183.
- Regnault, Friberg J. (1987) : Mise au point d'une turbine à géométrie variable pour un turbocompresseur de suralimentation et essais sur moteur diesel d'automobile. MRT. Rapport d'étude 84F0551-0552.
- Toussaint M. et Cauquot (1986) : Etude comparative de quatre dispositifs de prérotation pour turbocompresseurs de suralimentation. Rapport interne PSA-CNAM.
- Toussaint M., Descombes G., Pluviose M. (1999) : Research into variable geometry turbochargers without wastegate. Institution of Mechanical Engineers, 3<sup>rd</sup> European conference transactions on turbomachinery, fluid and thermodynamics, 2-5 march 1999, London, pp. 883-891, ISSN 1356-1448.