

INFLUENCE DE LA GEOMETRIE AMONT SUR LES CARACTERISTIQUES AU POMPAGE DES COMPRESSEURS CENTRIFUGES

Michel TOUSSAINT¹, Mohamed BOUDFAR²

According to the Kyoto's protocol, one of the major challenges for the car manufacturers is to decrease the emissions CO₂ in order to struggle greenhouse effect. One solution consists in "downsizing" by reduction of engines displacement. The use of high supercharging engines makes possible to use smaller engines with high specific power output and which allows lower consumption in case of urban and extra-urban traffic. At least, turbochargers with high compression ratios are required with a wide functioning area which leads to use the compressor close to its surge limit. When the surge limit is crossed, gas flow becomes unsteady and high pressures fluctuation occurs, which leads to vibrations unacceptable for an automotive driver. The surge limit of a centrifugal compressor is highly dependent to the geometrical configuration of his associated system (network). During these instabilities a "surge cycle" is describe with frequency and amplitude depending of upstream and downstream configuration. Tests have been down on our turbocharger test bench. The resistivity of the downstream duct is controlled by a valve. The upstream compressor configuration corresponds to the geometry usually met on the intake circuit air of the automotive engine. Three volumes of plenum (air filter box) have been experimented. In this paper is presented the influence of the resistivity on downstream circuit and upstream configuration on the amplitude and frequency of the instationnary fluctuations at low rotational speed, in the surge area. The results of these test series highlight the mutual influence of the upstream an downstream configuration in term of frequency and amplitudes fluctuations of surge cycles. Indeed, as well as the valve is closed, the surge frequency decrease more especially when the volume of plenum increases. Moreover, the amplitude fluctuations of surge cycle are less important when the volume of plenum increases.

Le pompage d'un compresseur turbomachine est un phénomène fortement instationnaire et dangereux qui affecte le compresseur et son circuit associé lorsqu'il est contraint de fonctionner à très faible débit. L'utilisation de compresseurs centrifuges pour la suralimentation des moteurs d'automobiles, peut les amener vers ce régime susceptible de provoquer des instabilités de fonctionnement de l'ensemble moteur et turbocompresseur. La limite de pompage d'un compresseur varie fortement en fonction de la géométrie de son circuit associé. La courbe caractéristique durant ce fonctionnement instationnaire décrit un « cycle » dont la fréquence et l'amplitude dépendent directement des géométries amont et aval du circuit associé. On présente dans ce papier l'influence de longueurs de conduites et de volumes de réservoirs disposés à l'amont du

¹ Chercheur, EA21 Turbomachines, CNAM Paris, France

² Doctorant, ADEME/ CNAM Paris, France

compresseur. Ces longueurs et capacités représentent, par exemple, les conduites d'aspiration et le filtre à air présents dans une configuration moteur-turbosuralimenté.

Keywords: centrifugal compressor, surge limit, surge cycle, turbocharger.

1. Introduction

L'utilisation de turbocompresseurs pour la suralimentation des moteurs d'automobiles permet, malgré la diminution de cylindrée (downsizing) imposée par le respect des normes sur les rejets de GES, de conserver un niveau de performance équivalent. En augmentant la masse volumique de l'air admis dans les cylindres, il devient possible de réaliser des moteurs de cylindrées réduites développant une puissance identique voire supérieure aux moteurs non downsizés. La turbosuralimentation quasi généralisée dans le cas du moteur diesel, impose de concevoir des compresseurs centrifuges à taux de compression plus élevé et plage de fonctionnement plus étendue, pour répondre aux besoins du moteur.

2. Le pompage des compresseurs

On rappelle simplement ici, que tout compresseur turbomachine subit un régime de fonctionnement fortement instationnaire et dangereux lorsqu'il est contraint de fonctionner à très faible débit. L'utilisation des compresseurs centrifuges pour la suralimentation des moteurs peut les amener vers ce régime qui a reçu le nom de "pompage", régime susceptible de provoquer des instabilités de fonctionnement de l'ensemble moteur-turbocompresseur.

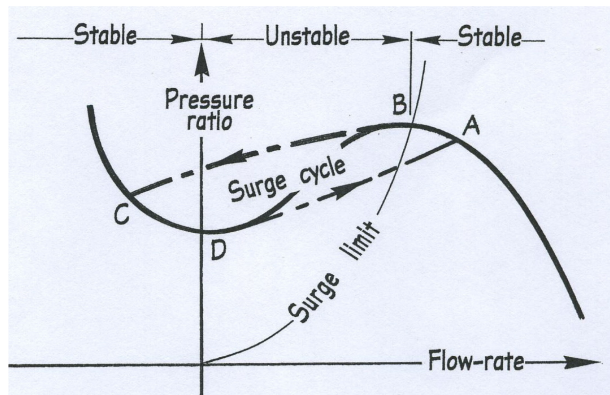


Fig. 1. Cycle d'instabilité.

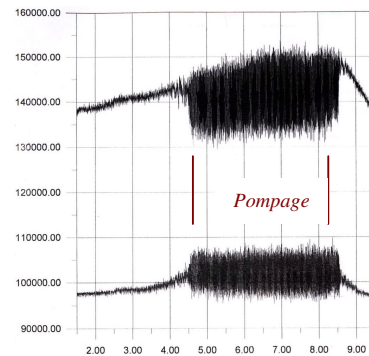


Fig. 2. Fluctuations de pressions

Le pompage est l'instabilité aérodynamique d'ensemble du compresseur et de son circuit associé, lors du fonctionnement à faible débit. Le "décrochage

aérodynamique” des aubages (incidence élevée) provoque une inversion du débit interne depuis le refoulement (haute pression) vers l’aspiration (basse pression). Lorsque le réseau refoulement s’est suffisamment vidé dans le réseau aspiration, le compresseur retrouve des conditions de fonctionnement lui permettant de rétablir le débit dans la bonne direction, jusqu’à ce qu’un nouveau cycle d’instabilité recommence. Les travaux de Bidart [1] et Sédille [2] ainsi que l’article plus récent de Pugnet [3] expliquent et décrivent ces instabilités, qui peuvent être représentées sur la caractéristique taux de compression/débit du compresseur par le schéma de la figure 1. La figure 2 représente alors les fluctuations de pressions affectant le compresseur.

3. Etude expérimentale

Les premières études expérimentales portant sur les caractéristiques des boucles de pompage ont fait l’objet de deux précédents papiers. [4, 5]. Les instationnarités rencontrées en pompage sont décrites par une “boucle de pompage” et la limite d’apparition de ces instationnarités dépend du circuit associé au fonctionnement du compresseur. Les résultats présentés dans ce papier concernent l’influence de la géométrie amont du circuit compresseur.

Cette géométrie peut être schématisée par une capacité et des tuyauteries alimentant le compresseur. Pour se rapprocher de la configuration moteur automobile turbosuralimenté, nous avons adopté le circuit suivant (figure 3).

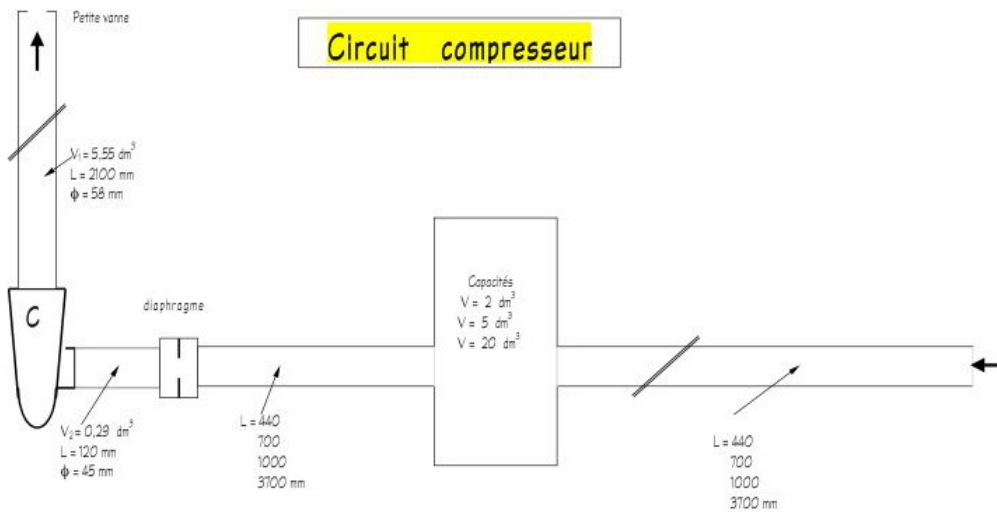


Fig. 3. Circuit compresseur.

Ainsi, à l'amont du compresseur, la capacité peut représenter le volume du filtre à air, et les différentes longueurs de tuyauteries le circuit plus ou moins complexe d'aspiration du compresseur.

La géométrie au refoulement du compresseur a été maintenue constante ($L=2,1$ m). Les essais ont été réalisés pour des vitesses de rotation du compresseur de 80000, 100000 et 120000 rpm.

4. Résultats

La figure 4 présente l'évolution des boucles de pompage et de la fréquence caractéristique des instationnarités pour 3 valeurs du volume disposé en amont du compresseur : 2, 5 et 20 dm³.

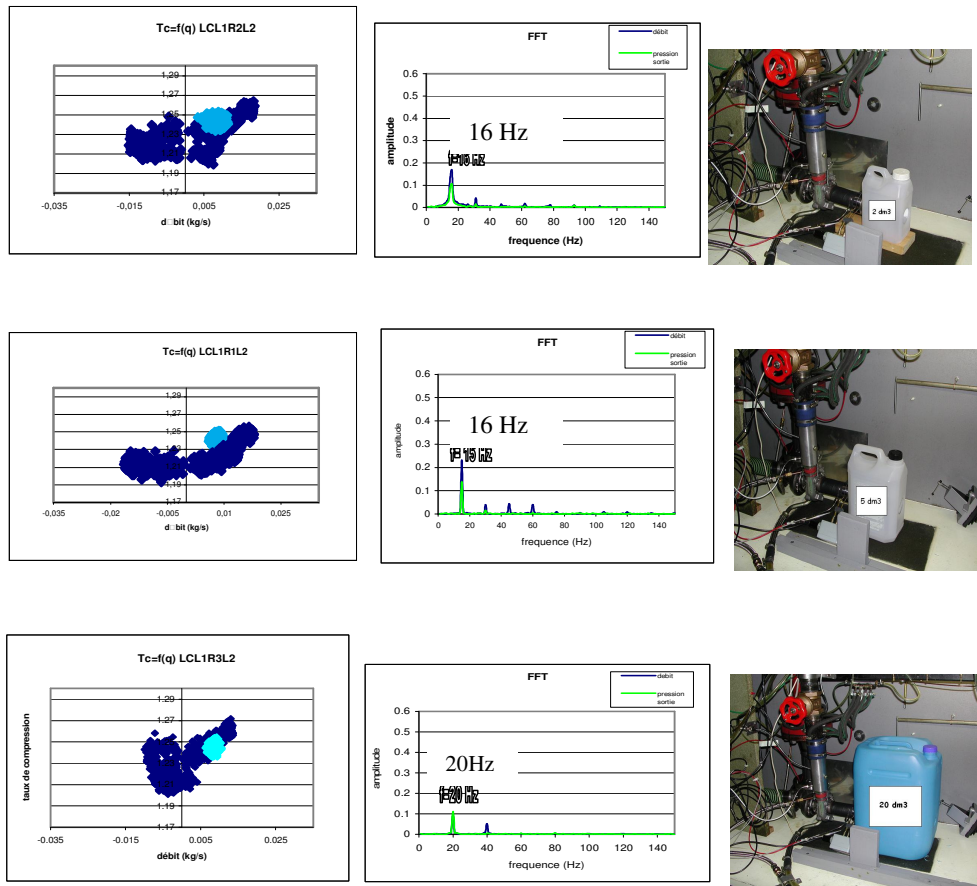


Fig. 4. Courbes caractéristiques et analyses spectrales FFT pour 3 valeurs du volume amont.

L'augmentation de ce volume permet de réduire l'amplitude des fluctuations de débit et, dans une moindre mesure, également celle des fluctuations de pression. La fréquence, par contre suit une évolution inverse. La ligne de pompage (débit critique d'apparition du phénomène) ne semble pas être modifiée par ces variations de capacité amont. Ces résultats sont résumés sur la figure 5, qui présente l'influence du volume sur l'amplitude et la fréquence des instationnarités.

Pour l'influence des longueurs de conduits l'axe de réflexion porte sur l'importance des effets acoustiques (fréquence propre du circuit dans sa globalité) sur le pompage du compresseur.

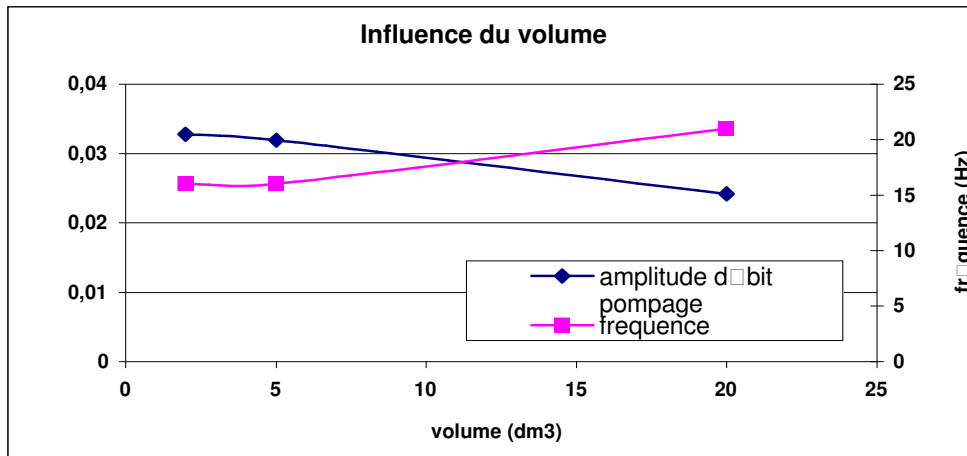


Fig. 5. L'influence du volume sur l'amplitude et la fréquence des instationnarités.

Sur la figure 6, on a représenté l'amplitude des fluctuations de débit vues par le compresseur, en fonction du degré de fermeture de la vanne de refoulement et pour les trois capacités testées.

Les fluctuations de débit provoquées par le pompage du compresseur sont maximales pour le volume de 2 dm³ et pour un débit proche du débit critique d'entrée en pompage. Ces fluctuations semblent stabilisées et de même intensité pour les deux autres volumes de 5 et 20 dm³. Il semble donc qu'il existe un volume optimum (de filtre à air) compris entre 2 et 5 dm³.

La caractérisation acoustique des circuits associés au compresseur constitue une approche supplémentaire dans l'analyse du phénomène de pompage. En effet, la détermination des fréquences de résonances propres à chaque géométrie en plus de facteurs aérodynamiques comme les pertes de charges ou l'effet de coude à l'entrée compresseur apporte un élément complémentaire dans la compréhension du processus. Il est possible qu'interviennent des phénomènes

de résonances entre les circuits amont et aval pouvant favoriser l'apparition du pompage.

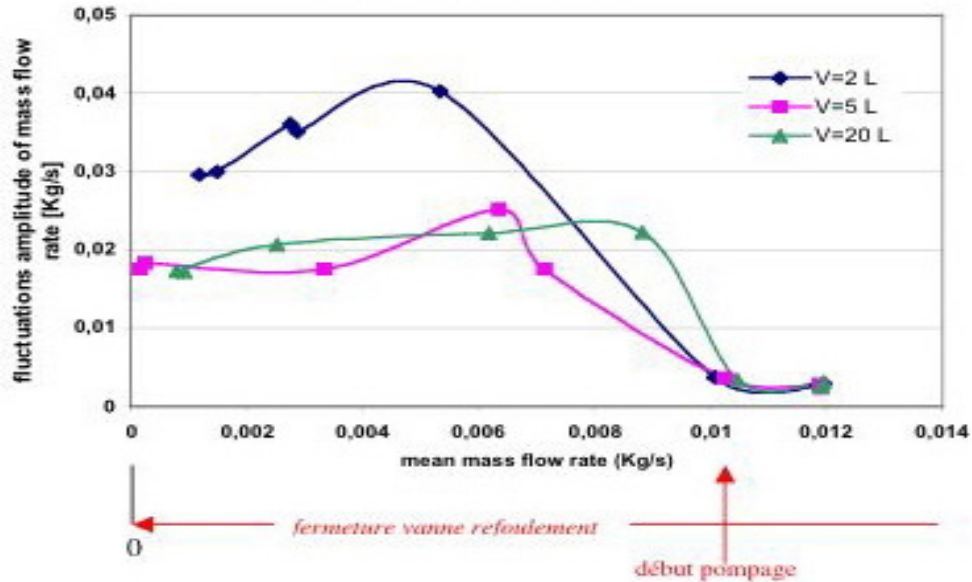


Fig. 6. L'amplitude des fluctuations de débit.

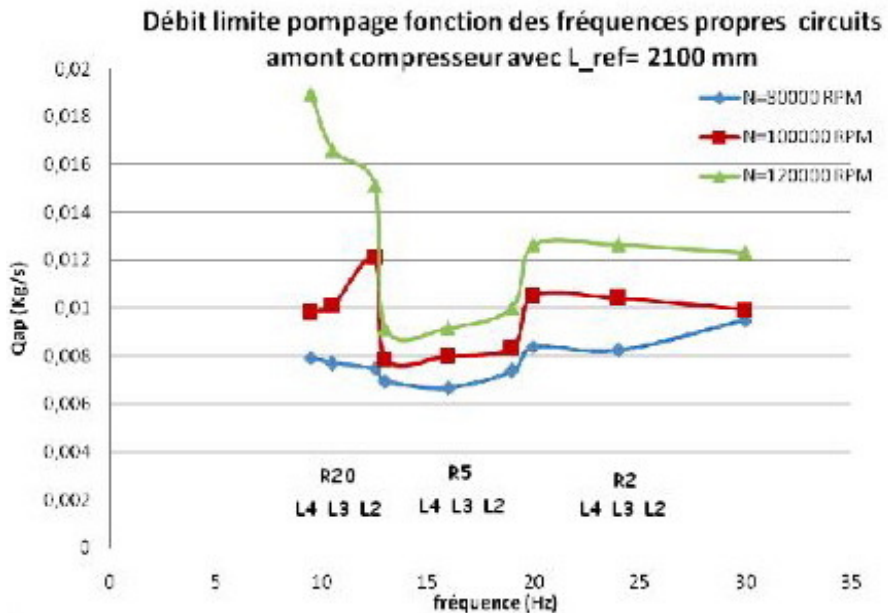


Fig. 7. Débit critique d'apparition du pompage.

Cependant, il ne faut pas faire abstraction des phénomènes purement aérodynamiques. Un possible couplage des effets aérodynamiques et acoustiques est à prendre en compte, et en particulier l'estimation de la prépondérance d'un effet par rapport à l'autre dans l'apparition et sur l'amplitude des cycles de pompage. Dans ce qui suit, on analysera donc les résultats expérimentaux provenant du banc compresseur en mettant l'accent sur les effets acoustiques.

On a reporté sur le graphe de la figure 7 ci-dessus le débit critique d'apparition du pompage en fonction des fréquences fondamentales caractéristiques des géométries à l'amont compresseur avec une longueur de conduit aval compresseur $L = 2100$ mm pour trois vitesses de rotation compresseur. On peut remarquer que la tendance des trois courbes est sensiblement la même quelque soit la vitesse de rotation compresseur. Il existe une gamme de fréquences (entre 12 et 20 Hz) pour laquelle on constate que le pompage apparaît pour des débits plus faibles, situation favorable puisque la plage de fonctionnement stable du turbocompresseur s'en trouve élargie.

5. Conclusions

Les expérimentations se poursuivent actuellement par l'étude de l'influence du circuit aval. Notre laboratoire vient également de s'équiper d'un système PIV (Particle Image Velocimetry) permettant la mesure par technique laser de champs de vitesses. Il est prévu une investigation des fluctuations de vitesse à l'amont du compresseur durant son fonctionnement en pompage.

Remerciements

Nos remerciements au PREDIT (Programme de recherche et d'innovation dans les transports), à l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) et aux automobiles RENAULT.

REFERENCES

- [1]. *R. Bidard*, "La stabilité de régime des compresseurs", CR de l'Académie des Sciences, Paris, 1946.
- [2]. *M. Sedille*, Ventilateurs et compresseurs centrifuges et axiaux, Tomes 1 et 2, Masson-Eyrolles, Paris, 1973.
- [3]. *J.-M. Pagnet*, Le pompage des compresseurs, Les Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2000.
- [4]. *M. Toussaint et T. Delavallee*, "Etude expérimentale du pompage des compresseurs", CIEM2005, octobre 2005, Bucarest.
- [5]. *M. Toussaint et P. Podevin*, "Influence de la géométrie sur le pompage des compresseurs", 8ème Congrès de Mécanique, avril 2007, El Jadida, Maroc.

