



HAL
open science

INFLUENCE DE LA GEOMETRIE ASSOCIEE SUR LES CARACTERISTIQUES EN POMPAGE DES COMPRESSEURS CENTRIFUGES.

Michel Toussaint, Georges Descombes, Alain Lefebvre, Georges Marchal

► **To cite this version:**

Michel Toussaint, Georges Descombes, Alain Lefebvre, Georges Marchal. INFLUENCE DE LA GEOMETRIE ASSOCIEE SUR LES CARACTERISTIQUES EN POMPAGE DES COMPRESSEURS CENTRIFUGES.. COFRET 2012 Sozopol., Sophia university., Jun 2012, SOZOPOL, Bulgarie. hal-01294047

HAL Id: hal-01294047

<https://hal.science/hal-01294047v1>

Submitted on 30 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

INFLUENCE DE LA GEOMETRIE ASSOCIEE SUR LES CARACTERISTIQUES EN POMPAGE DES COMPRESSEURS CENTRIFUGES.

TOUSSAINT Michel, DESCOMBES Georges : Conservatoire National des Arts et Métiers LGPEES 292, rue Saint Martin 75003 PARIS
LEFEBVRE Alain et MARCHAL Alexandre RENAULT SAS. Centre de recherche 1, allée Cornuel 91510 LARDY.

Résumé:

Les compresseurs centrifuges présentent, à faible débit et fort taux de compression une zone de fonctionnement très dangereuse se caractérisant par d'importantes fluctuations du débit et du taux de compression. (Figure 1) Ces instationnarités (observées à des fréquences de quelques dizaines de hertz) de l'écoulement interne dans le compresseur se manifestent également par des vibrations et un bruit intense mais aussi par une température compresseur qui ne se stabilise jamais. Des tentatives (voulues ou non voulues) de fonctionnement sous ce régime conduisent rapidement à une détérioration du compresseur et du circuit qui lui est associé. Durant ce régime prohibé car dangereux le point de fonctionnement décrit une boucle plus ou moins étendue qui caractérise l'intensité de ce phénomène appelé « pompage du compresseur ». Sur la figure 2, on montre la boucle de pompage relevée expérimentalement sur un compresseur centrifuge « en pompage » pour un régime de rotation de 100 000 rpm.

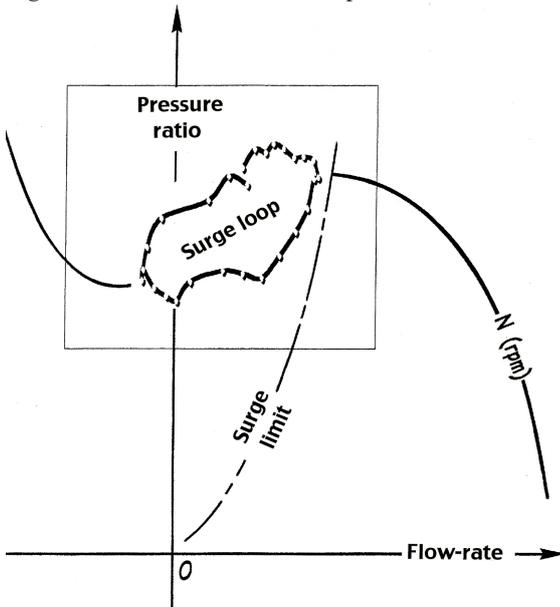


Figure 1.

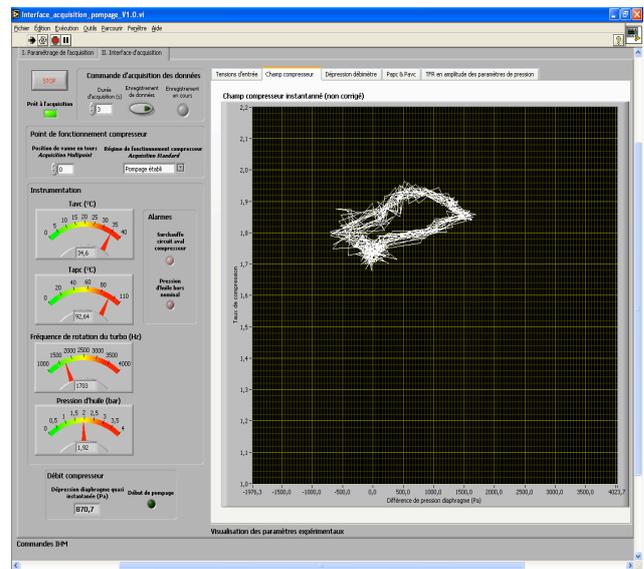


Figure 2.

1) Introduction:

Lors de l'utilisation des compresseurs centrifuges pour la suralimentation des moteurs d'automobiles, celui-ci est associé à un circuit plus ou moins complexe comportant des volumes et des longueurs de conduits [filtre à air, RAS: réfrigérant air de suralimentation, conduits d'admission et de refoulement, coude, résonnateur...] Ces différentes géométries ont une grande influence sur la position de la "ligne de pompage" (surge limit), ainsi que sur l'intensité des instationnarités de pression et de débit affectant le compresseur et son circuit associé lorsque le pompage se produit. Nous présentons dans ce papier l'analyse expérimentale des caractéristiques en pompage d'un compresseur, et plus particulièrement de la forme de sa boucle de pompage, boucle qui caractérise l'intensité des instationnarités pressions - débits qui affectent l'installation. L'intensité du pompage peut être caractérisée par l'amplitude des fluctuations de taux de compression, associée à la fréquence de ces fluctuations.

Les contraintes subies par les aubes du compresseur varient comme les fluctuations de pressions. La fatigue imposée aux aubages est plus intense si ces fluctuations de pressions se produisent à fréquence élevée. Si l'on souhaite représenter l'intensité du pompage par la surface de la boucle de pompage, l'analyse est alors la suivante:

- à iso-surface boucle, une boucle allongée dans le sens des fluctuations du taux de compression sera plus préjudiciable au compresseur qu'une boucle allongée dans le sens des fluctuations de débit. Du seul point de vue compresseur, ce sont les fluctuations de pression à fréquence élevée qui sont préjudiciables à son intégrité.

- pour les paliers et la butée, les fluctuations de débit et leur fréquence sont sans doute plus importantes que les seules fluctuations de pressions.

- dans le cas de la suralimentation d'un moteur à explosion, c'est certainement les fluctuations de débit à fréquence élevée dues au pompage du compresseur qui vont le plus affecter le moteur. En effet, les fluctuations de pression de l'air de suralimentation dues au pompage seront amoindries et noyées par la compression dans le cylindre moteur.

Nous présentons dans ce papier, l'influence de la géométrie des circuits amont et aval associés au compresseur sur l'intensité des instationnarités auxquelles est soumis ce compresseur lorsqu'il entre dans sa zone de pompage.

2) Etudes expérimentales.

De nombreuses expérimentations ont été réalisées durant les deux dernières années. Les résultats présentés ici ne concernent que l'influence des géométries amont et aval sur la boucle de pompage.

Les configurations géométriques testées, tant à l'amont qu'à l'aval font l'objet de la figure 3. Trois capacités de tuyauteries de 440, 700 et 1000 mm ont permis de faire varier les géométries amont et aval.

2.1) Etude de la "boucle de pompage".

La surface balayée par la boucle de pompage représente l'intensité ou l'énergie de dissipation durant le pompage. Les planches des figures 4, 5, 6 et 7 résument l'évolution de ces boucles en fonction des différentes géométries testées. Chaque planche présente la forme de la boucle pour trois vitesses de rotation du compresseur: 6000, 8000 et 10000 rpm.

Influence du volume amont:

La planche Figure 4 montre le peu d'influence d'un volume à l'amont du compresseur sur son comportement en pompage. Une valeur proche de 5 dm³ semble optimale pour minimiser les effets du pompage qui se traduisent surtout par des fluctuations du taux de compression. Le volume amont réduit les fluctuations de débit, mais augmente par contre la fréquence de celles-ci.

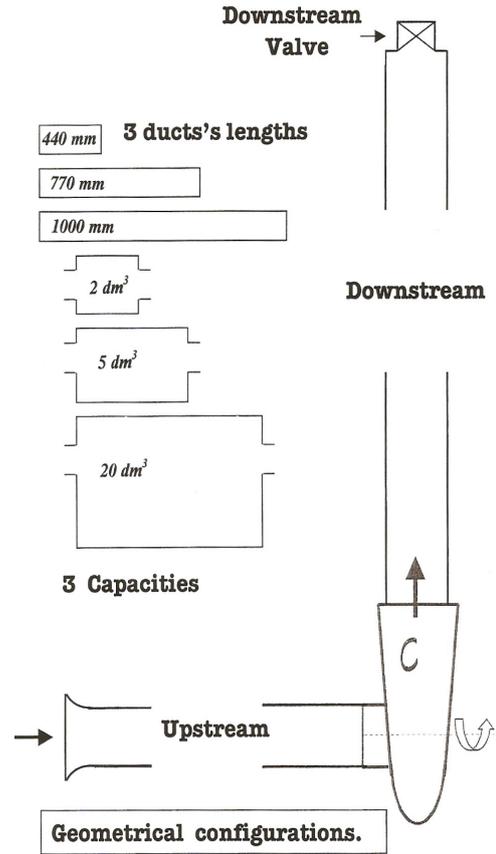


Figure 3.

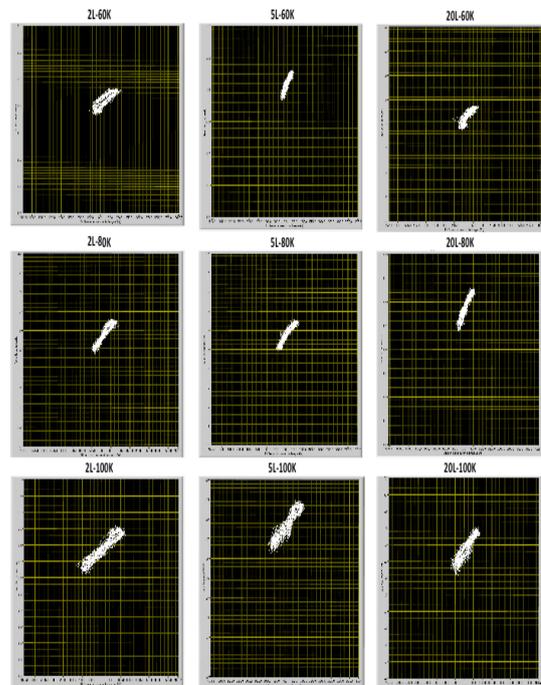


Figure 4- Surge loop Evolution_ upstream volume

Figure 4.

Influence du volume aval:

La planche Figure 5 montre une influence beaucoup plus importante d'un volume disposé au refoulement du compresseur. La "surface" des boucles, donc l'intensité du pompage) est importante pour le volume de 2 litres, comparativement aux 5 et 20 litres. Le "tampon" énergétique que représente ce volume réduit donc les fluctuations de débit et de pressions. La fréquence des instationnarités est également quasiment divisée par deux par la présence de ce volume à l'aval du compresseur. (voir paragraphe 4).

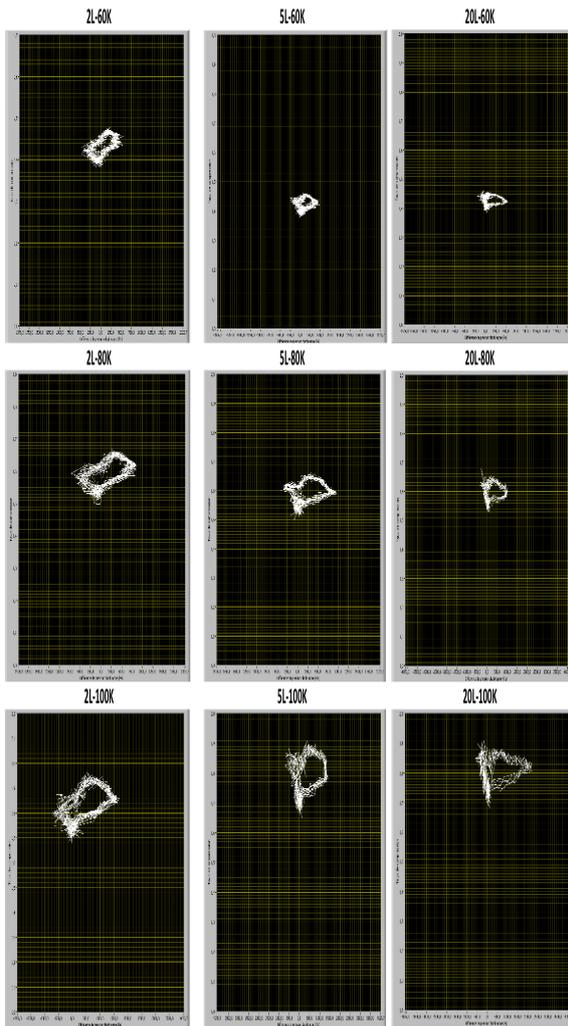


Figure 10- Surge loop Evolution _downstream volume

Figure 5.

Influence de la longueur de conduit amont:

La planche Figure 6 montre une influence peu importante également de la longueur de conduit amont sur les fluctuations de pressions. Par contre les fluctuations de débit s'amplifient avec l'augmentation de la longueur de conduit. La boucle décrite par le point de fonctionnement

présente un ou deux "noeuds" suivant la valeur de la longueur de conduit. Ces singularités relevées sur les boucles de pompage ne sont, pour l'instant, pas clairement expliquées. La position de la mesure du débit par rapport à l'entrée du compresseur semble influencer l'acoustique dans cette conduite amont.

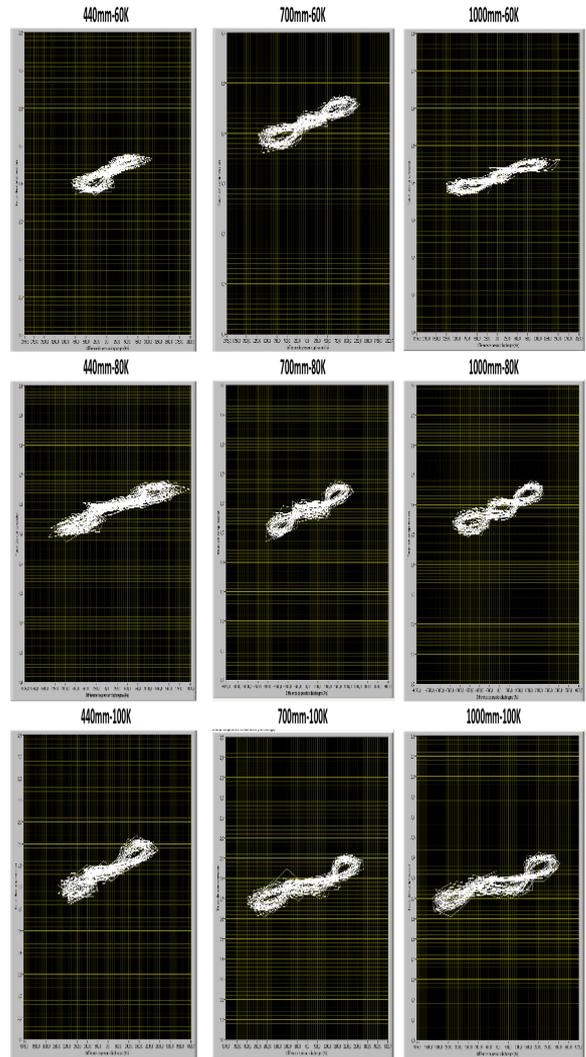


Figure 11- Surge loop Evolution _upstream duct

Figure 6.

Influence de la longueur de conduit aval:

La planche Figure 7 montre un effet de la longueur aval qui se manifeste surtout sur les fluctuations de pressions. L'augmentation de la longueur du conduit aval diminue la fréquence des instationnarités. Les amplitudes des fluctuations de pression observées ici peuvent être comparées avec celles induites par l'effet du volume en aval (figure 5). L'augmentation de longueur correspondant également à une augmentation du volume peut expliquer la similitude entre ces deux géométries.

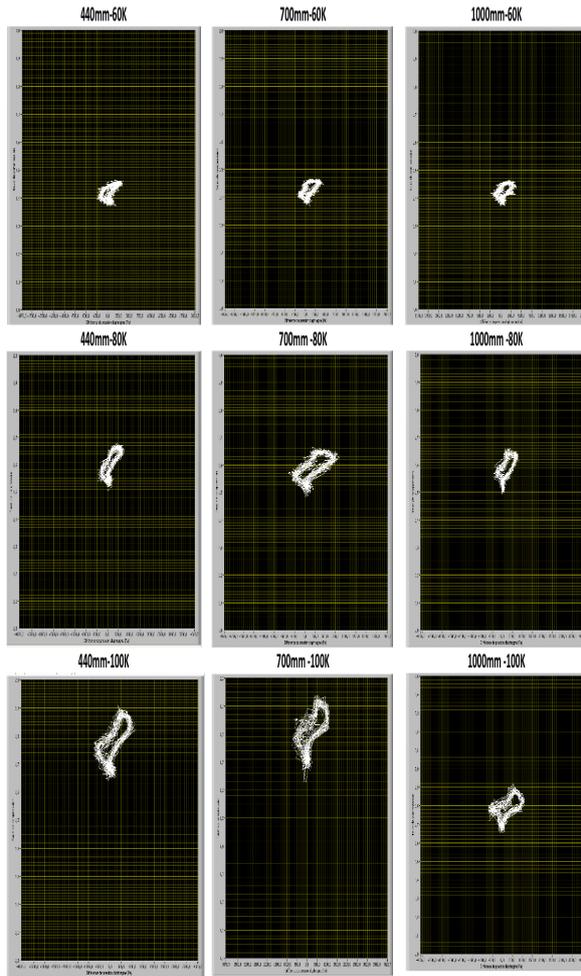


Figure 11- Surge loop Evolution _downstream duct

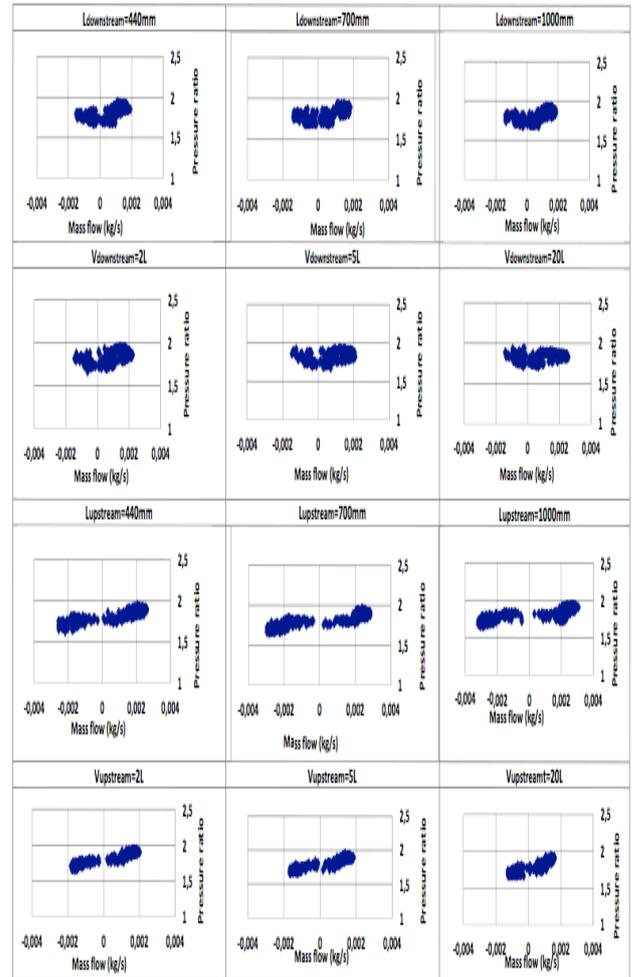


Figure13- Surge loop_100K RPM

Figure 7.

2.2) Evolution de la boucle de pompage.

La planche de la Figure 8 récapitule l'influence des différentes géométries amont – aval sur "l'intensité" du phénomène de pompage, (représentée par l'aire de la boucle), pour un point de "fonctionnement" identique à $N_{\text{compresseur}} = 100000$ rpm. Le compresseur centrifuge objet des expérimentations présentées dans ce papier est celui de la figure 9.

- Les fluctuations du taux de compression sont quasi identiques quelque soit la géométrie amont ou aval. Ce taux de compression, en pompage établi, fluctue entre 1,6 et 2 pour cette vitesse de rotation de 100000 rpm.

- Les variations du débit sont, par contre, plus sensibles à la géométrie et sont par exemple, maximales avec une longueur de conduit amont importante. Les effets de volume sont plus influents lorsque ce volume est placé en aval du circuit compresseur.

Les 6 vues supérieures de cette figure représentent respectivement l'influence d'une longueur puis d'un volume disposés en aval du compresseur.

Les 6 vues inférieures représentent l'influence de ces mêmes géométries disposées en amont du compresseur

Figure 8.



Figure 9.

2.3) Variation de la fréquence du phénomène de pompage en fonction de la géométrie du circuit.

La figure 10 ci-dessous montre la fréquence des instationnarités en fonction des 6 configurations géométriques testées.

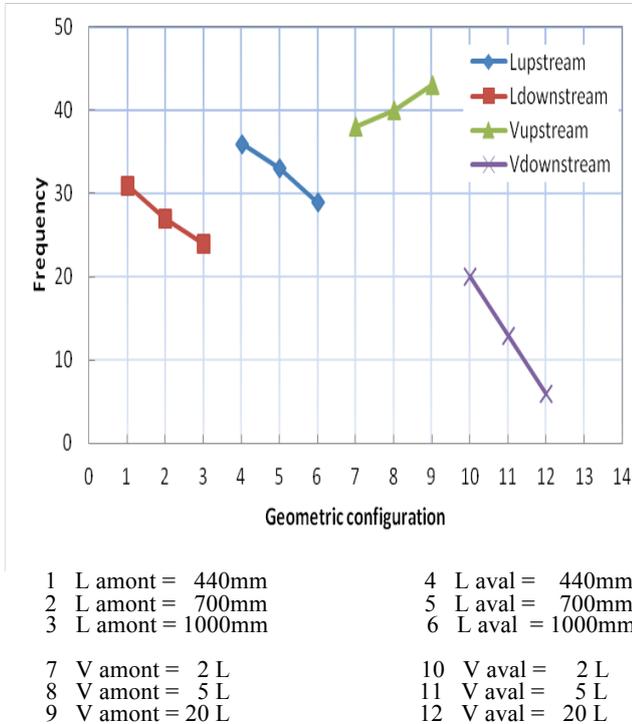


Figure 10.

- L'augmentation de la longueur des conduits (amont ou aval) diminue la fréquence des instationnarités, ce qui est bénéfique pour le compresseur.

- Un volume disposé en amont est le dispositif le plus préjudiciable, car il augmente très fortement la fréquence et donc les sollicitations à la fatigue du compresseur.

- A l'inverse, la présence d'une capacité à l'aval du compresseur calme ces instationnarités, ce qui est évidemment souhaitable pour la ligne de compression et le compresseur lui-même.

3) Conclusions.

3.1) Détection de la limite de pompage:

Il est connu qu'un compresseur fonctionnant dans sa zone de pompage est le siège d'importantes fluctuations de pressions et de débit. Pour déterminer précisément la limite du fonctionnement "stable", aucun critère, aucune méthode de détection n'est réellement satisfaisant. Sur notre banc d'essais, la vitesse de rotation est régulée par action sur la vanne d'alimentation de la turbine qui entraîne le compresseur. Simultanément, une action sur la vanne au refoulement du compresseur permet d'amener son débit à la valeur critique où apparaissent les premières instationnarités signalant l'entrée en pompage de celui-ci. Dans l'optique de déterminer ce point limite pour chacune des configurations testées, nous visualisons en temps réel le point de fonctionnement (taux de compression – débit) sur écran. Le point "limite de

pompage" est atteint juste avant le remplacement du point "stable" de fonctionnement par la boucle de pompage liée aux instationnarités.

Cette substitution point – boucle s'accompagne d'une modification importante du bruit émis par le compresseur. (Le niveau et la fréquence acoustique du bruit émis sont très fortement modifiés par l'entrée en pompage). Les nombreuses expérimentations effectuées au laboratoire LGP2ES nous permettent d'affirmer que la détermination précise de la limite de pompage d'un compresseur ne peut être réalisée qu'en détectant simultanément ces deux phénomènes graphique et acoustique.

3.2) Modèle de GREITZER [1], [2] et [3].

Contrairement aux hypothèses formulées par Greitzer dans son modèle de prévision du pompage des compresseurs, on constate que le circuit amont a une grande importance et influe sur les instationnarités et la position de la limite de pompage. Il doit donc impérativement être pris en compte dans toute modélisation du pompage.

3.3) Influence des circuits associés au compresseur:

Sur cette influence, les conclusions à tirer restent pour l'instant délicates.. On peut cependant affirmer que:

- dans le but d'approfondir le rôle joué par la longueur du conduit amont sur l'allure "croisée" des boucles de pompage, des expérimentations complémentaires, abordées sous une approche acoustique semblent nécessaires.

- lors de l'utilisation des compresseurs centrifuges à la suralimentation des moteurs d'automobiles, le motoriste devra porter une attention toute particulière au circuit aval. (volume du RAS et longueur des conduits de raccordement au moteur)

- Il faut cependant noter l'influence bénéfique de ce volume en aval qui réduit très significativement la fréquence et donc les sollicitations à la fatigue des installations de compression.

- l'aspect "aérodynamique" des circuits associés (présence de coudes ou autres singularités géométriques) qui n'a, pour l'instant pas encore été évoqué, doit également faire l'objet d'expérimentations.

Remerciements.

Les auteurs remercient l'ADEME (Agence française pour la maîtrise de l'énergie) et RENAULT SAS (constructeur automobile français.)

Bibliographie.

- [1] E M GREITZER: "Surge and rotating stall in axial flow compressors." Part 1. Journal of Engineering for Power, (vol 98–pp 190-198) 1976.
- [2] BOHAGEN B and GRAVDAHL J T: "On active surge control of compressors using a mass flow observer." Department of Engineering Cybernetics NTNU N-7491 Trondheim Norway
- [3] HANSEN K E and al: "Experimental and theoretical study of surge in small centrifugal compressors." Journal of Fluids Engineering – Transactions of the ASME 103 pp 391-395 1981

Contact auteurs :
michel.toussaint@cnam.fr