

ICAS PAPER
No. 72 - 11



ETUDE EXPERIMENTALE DES ECOULEMENTS
DANS LES COMPRESSEURS SUPERSONIQUES

par

Jean Surugue, Directeur Scientifique et
Jean Fabri, Chef de Division de Recherches
O.N.E.R.A., Chatillon, France

**The Eighth Congress
of the
International Council of the
Aeronautical Sciences**

INTERNATIONAAL CONGRESCENTRUM RAI-AMSTERDAM, THE NETHERLANDS
AUGUST 28 TO SEPTEMBER 2, 1972

Price: 3. Dfl.

ERRATUM

ICAS Paper 72-11

par J. Surugue et J. Fabri

page 10, Annexe II, 3ème avant-dernière case, 3ème colonne:
au lieu de "polissage du carter" il faut lire "polissage du moyeu".

Jean SURUGUE et Jean FABRI

Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques - (O.N.E.R.A.)
92 - Châtillon-sous-Bagneux

Résumé

Divers montages expérimentaux, grilles d'aubes supersoniques planes ou annulaires, fixes ou mobiles, sont utilisés pour mieux comprendre les processus fondamentaux régissant le fonctionnement des compresseurs supersoniques. Cette étude porte essentiellement sur l'analyse des conditions déterminant le débit du compresseur dans les régimes transsonique, supersonique et supersonique amorcé. Les conditions de compatibilité de l'écoulement issu de la grille avec le milieu aval sont également analysées en détail dans le cas d'une contrepression faible aussi bien que dans le cas d'une forte contrepression

EXPERIMENTAL STUDY OF FLOWS
IN SUPERSONIC COMPRESSORS

Various experimental set-ups, straight and annular, fixed or moving supersonic blade cascades are used for a better understanding of the fundamental processes in supersonic compressor operation. This study aims essentially to the analysis of the conditions determining the mass flow of the compressor in the transonic, supersonic and saturated supersonic regimes. Compatibility conditions of the flow issuing from the blade cascade with the downstream pressure conditions are analyzed both in the case of low and high blade pressure.

La représentation théorique de l'écoulement de l'air dans les compresseurs supersoniques par les seules considérations théoriques se heurte à de nombreuses difficultés tenant essentiellement à l'incertitude encore attachée à la configuration des ondes de choc qui s'établissent dans les canaux interaubes. L'emploi de l'analogie hydraulique [1] permet déjà de se faire une première idée du schéma de l'écoulement. Mais pour obtenir les bases valables nécessaires à l'établissement de programmes de calcul, l'O.N.E.R.A. a réalisé des montages expérimentaux faisant largement appel à la visualisation. Ils sont constitués de grilles d'aubes planes ou annulaires, fixes ou mobiles (*), destinées à l'étude aérodynamique d'ensembles d'aubages supersoniques par la comparaison des configurations des écoulements et des systèmes d'ondes de choc lorsque l'on passe de l'une à l'autre, en se rapprochant par étapes successives de l'écoulement dans un compresseur réel.

* On trouvera en annexe une description sommaire des montages expérimentaux utilisés pour cette étude.

1 - Écoulement à l'entrée

Deux conditions interviennent, une globale qui est celle de la compatibilité des écoulements dans les diverses coupes superposées radialement de l'aube, une locale qui est celle de la périodicité des canaux interaubes, sur laquelle nous nous arrêterons plus particulièrement.

Cette condition, bien connue sous le nom d'incidence unique [2] prend des formes différentes suivant le nombre de Mach et la géométrie de la coupe étudiée [3]. Elle distingue fondamentalement le compresseur transsonique ou supersonique de son homologue subsonique qui, à une vitesse de rotation donnée, accepte des débits, donc des incidences, largement variables.

1.1 - Condition de périodicité dans le fonctionnement transsonique ou désamorcé

Aux faibles vitesses des compresseurs supersoniques comme aux grandes vitesses des compresseurs subsoniques, il apparaît dans les canaux interaubes une section sonique qui limite le débit [4]. Pour toute ligne de courant, le nombre de Mach débitant prend une valeur telle que le nombre de Mach après déflexion et accélération à l'entrée de la grille devient égal à l'unité, mais la description précise de l'écoulement n'en est pas moins difficile.

On peut notamment hésiter entre un schéma suivant lequel une onde de choc droite se produit après déflexion (fig. 1) et celui où l'onde de choc précède la déflexion (fig. 2).

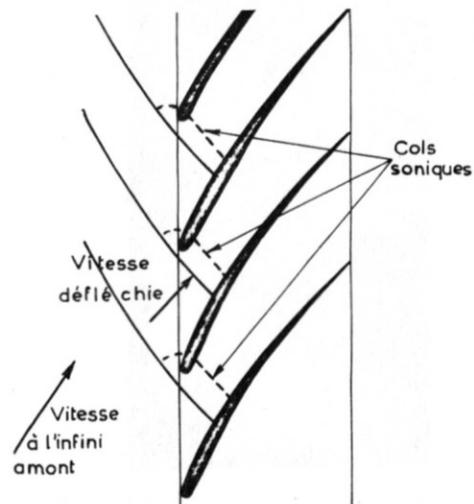


Fig. 1 - Schéma d'écoulement avec onde de choc normale à la vitesse défléchie.

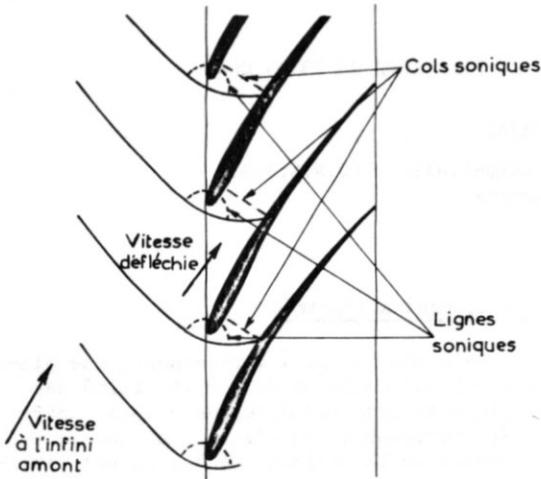


Fig. 2 - Schéma d'écoulement avec déflexion après onde de choc.

Des essais effectués sur grille annulaire transsonique montrent une bonne corrélation empirique du blocage sonique dans l'hypothèse de pertes concentrées dans la section d'entrée [5]. C'est donc la seconde hypothèse qui nous semble la plus plausible.

De telles configurations d'ondes ont été mises en évidence sur un étage de compresseur à faible hauteur d'aubes (cf. annexe AI.4 [6]) par visualisations des ondes de choc au moyen de la striescopie par réflexion sur moyeu poli [7]. Dans le domaine transsonique des ondes de choc sensiblement droites, fermant le canal interaubes, ont été visualisées (fig. 3). Ce résultat est conforme aux prévisions théoriques, mais il ne peut être obtenu en grilles fixes rectilignes ou annulaires car le désamorçage de l'écoulement est obtenu avant que ce schéma ne s'établisse.

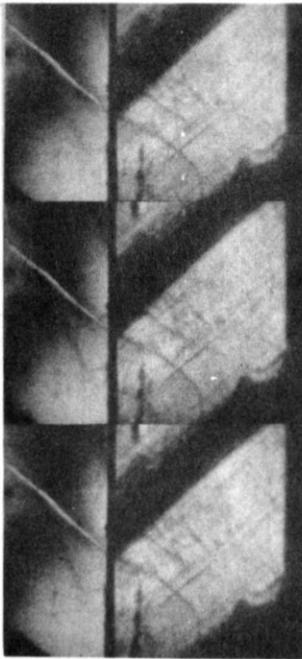


Fig. 3 - Configuration d'ondes dans une grille annulaire transsonique mobile.

Globalement, il faut tenir compte du blocage des différentes sections radiales. Dans l'écoulement tridimensionnel ainsi réalisé, un certain déplacement radial des surfaces de courant est possible. Ce phénomène joue un grand rôle dans les compresseurs transsoniques où une faible variation de débit local peut changer notablement les conditions de blocage sonique et facilite l'amorçage de l'écoulement.

Le montage expérimental destiné à l'étude du rôle du blocage sonique sur la répartition radiale du débit en mouvement transsonique est une grille annulaire fixe constituée d'aubes symétriques et axiales (cf. annexe AI.2). Le blocage sonique se produit dans toute une partie de la section minimale comprise entre deux aubes. Deux hypothèses différentes peuvent encore être faites suivant que le mouvement s'effectue

- par quasi-tranches planes normales à l'axe du montage et avec pression radialement constante ;
- sur des cylindres concentriques sans transfert radial de débit.

L'expérience montre que le déplacement radial des surfaces de courant existe mais qu'il modifie peu la répartition radiale de pression, du moins en amont du col sonique où le nombre de Mach est pratiquement constant le long d'un rayon (fig. 4). En aval du col, en écoulement supersonique, le nombre de Mach peut varier d'un rayon à un autre du fait de l'importance plus ou moins grande des zones de décollement dues à la contrepression.

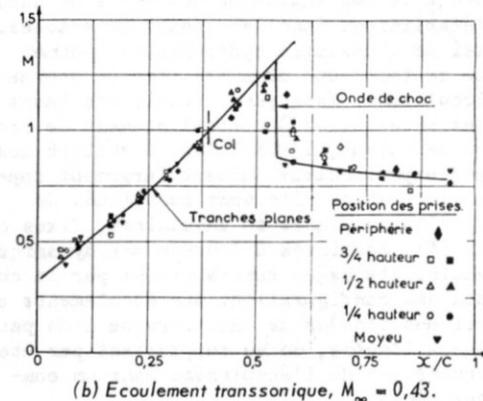
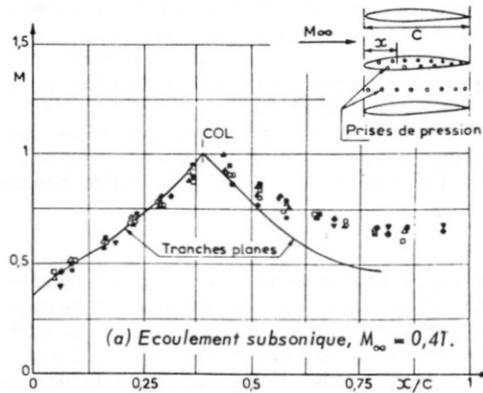


Fig. 4 - Répartitions axiale et radiale du nombre de Mach dans une soufflerie transsonique de grille d'aubes annulaire sans déflexion.

Dans le cas général d'une grille d'aubes cambrées où jouent à la fois les effets d'épaisseur et de déflexion, la composante azimutale de la vitesse induit un gradient radial de pression qui devient le facteur prépondérant dans l'équilibre radial des surfaces de courant. Sur la figure 5a qui représente des résultats expérimentaux obtenus dans la même soufflerie annulaire transsonique munie cette fois d'aubes de la série NACA 65000 destinées à ramener dans la direction axiale un flux de nombre de Mach 0,41 faisant à l'entrée de la grille un angle de 28° avec l'axe, on observe bien l'amorçage progressif du canal interaube la coupe de tête étant encore complètement subsonique lorsqu'une poche supersonique apparaît à mi-envergure sur l'extrados et que la section minimale du canal de moyeu est déjà amorcée. Les mêmes essais effectués au nombre de Mach amont $M = 0,43$, c'est-à-dire à peine supérieur au précédent, montrent un blocage sonique complet des canaux interaubes à tous les rayons et un écoulement supersonique avec ondes de choc dans le divergent aval (fig. 5b).

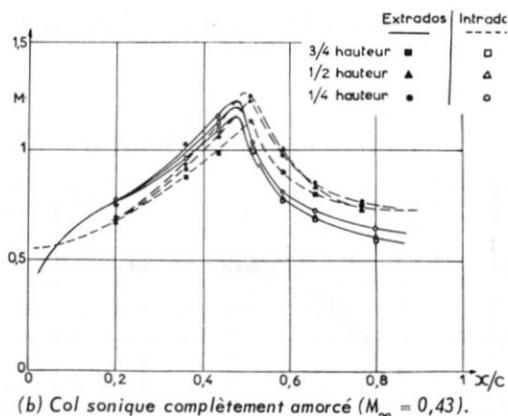
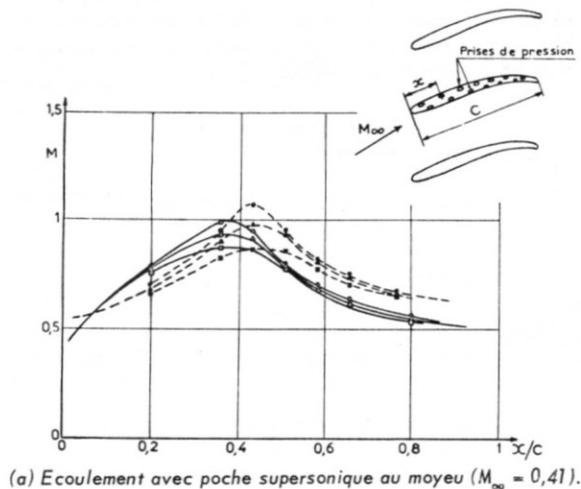


Fig. 5 - Répartition du nombre de Mach sur la surface d'une aube en grille annulaire transsonique.

1.2 - Condition de périodicité dans le fonctionnement supersonique non-saturé

L'établissement de ce régime se produit lorsque la vitesse de la machine croît, et par

conséquent le nombre de Mach relatif, jusqu'à rendre possible l'amorçage des canaux interaubes.

Le passage du régime transsonique désamorçé au régime supersonique amorcé est régi par une condition de débit. En effet suivant que l'on fait l'hypothèse d'un fonctionnement à col sonique bloqué ou encore, comme nous le verrons ci-dessous, d'un fonctionnement réglé par la condition de périodicité d'un écoulement entièrement supersonique, le débit correspondant à une vitesse d'entraînement donnée est différent. Pratiquement, c'est le régime qui, pour une vitesse de rotation donnée, conduit au plus petit débit qui s'établit.

Cette condition de périodicité ou d'incidence unique conduit dans le cas d'une grille d'aubes à extrados plan à un écoulement parallèle à cet extrados, des ondes de choc n'apparaissant au voisinage du bord d'attaque que du côté de l'intrados (fig. 6a). Lorsque l'extrados est convexe la configuration de choc est plus complexe car elle exige une suite d'ondes de choc et de détente pour obtenir à l'entrée de chaque canal le même écoulement (fig. 6b) [3][8]. Ces conditions sont bien réalisées en soufflerie (fig. 7) obtenues sur le montage décrit en annexe AI.1) et en moyenne l'écoulement est facile à interpréter [9] [10].

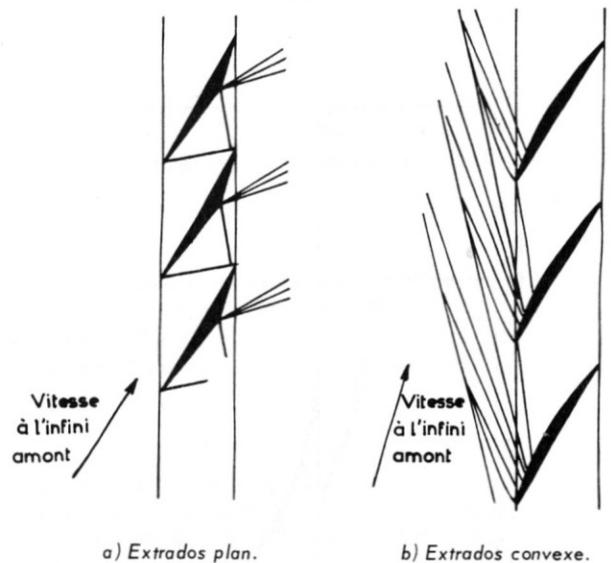
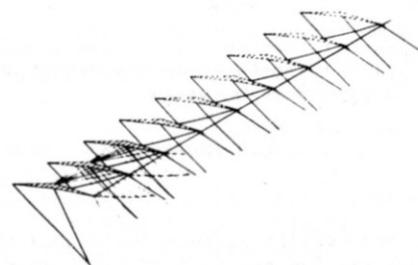
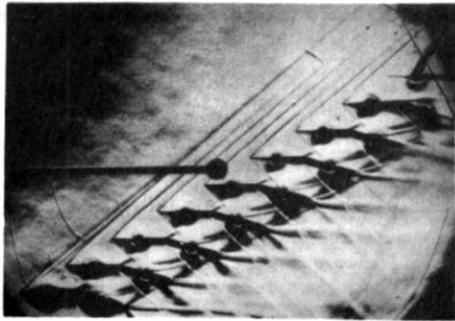


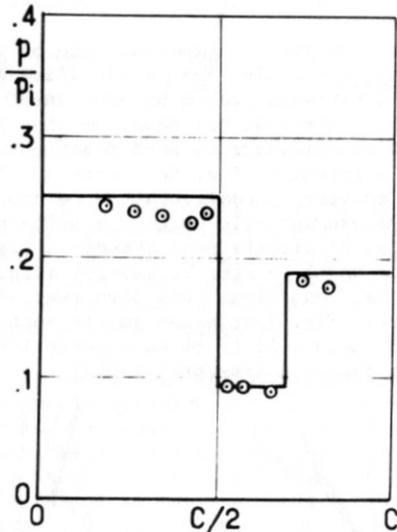
Fig. 6 - Configurations d'écoulements dans une grille d'aubes supersoniques.



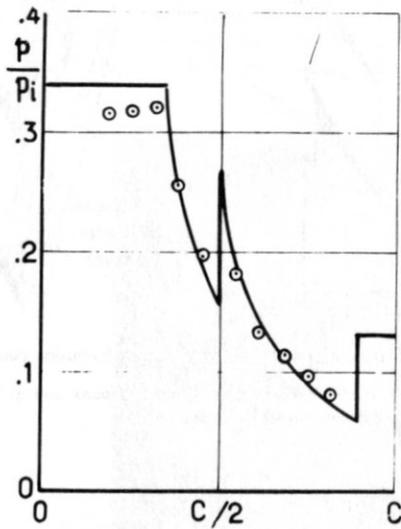
Configuration d'ondes obtenue par la méthode des caractéristiques.



Cliché strioscopique de la configuration d'ondes.



Répartition de pression sur l'extrados.



Répartition de pression sur l'intrados.

Fig. 7 - Comparaison théorie - expérience pour une grille d'aubes en forme de chevrons.

— théorie
○ relevé expérimental

La compatibilité radiale des coupes cylindriques ne soulève pas de difficulté pourvu que le calcul du compresseur soit fait de manière à satisfaire la condition de périodicité ou d'incidence unique à tous les rayons.

1.3 - Fonctionnement supersonique saturé

Ce fonctionnement est obtenu à une plus grande vitesse de rotation, le conduit d'amenée précédant le rotor limitant alors le débit du compresseur dans lequel la vitesse axiale est sonique.

Un tel régime est facile à réaliser en soufflerie, il suffit que la composante de la vitesse normale au front de grille soit supersonique. En grille annulaire mobile, il peut être masqué par des phénomènes secondaires.

C'est ainsi que dans la grille mobile supersonique O.N.E.R.A. (annexe AI.4) la légère différence de hauteur des aubes avec celle du canal cylindrique dans lequel elles tournent (fig. 8) est l'origine d'une contraction de la veine fluide et d'un accroissement corrélatif de vitesse dans quelques millimètres précédant le rotor [11] [12]. Effectivement, aux grandes vitesses de rotation, le débit aspiré par le rotor, apparemment inférieur à celui qui correspondrait à la saturation sonique du canal d'amenée, est bien égal au débit correspondant à une vitesse axiale sonique sur la hauteur des aubes (fig. 9).

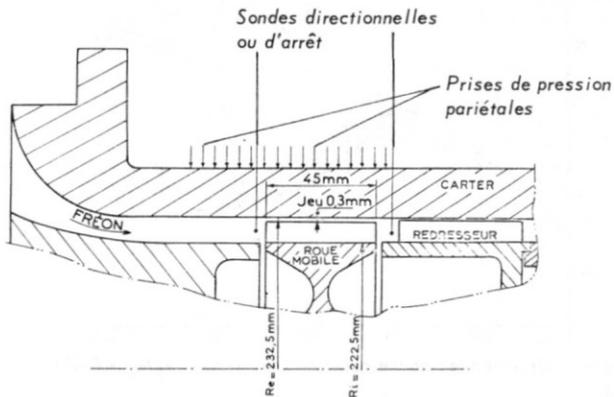


Fig. 8 - Coupe schématique du rotor et du carter de la grille annulaire supersonique mobile.

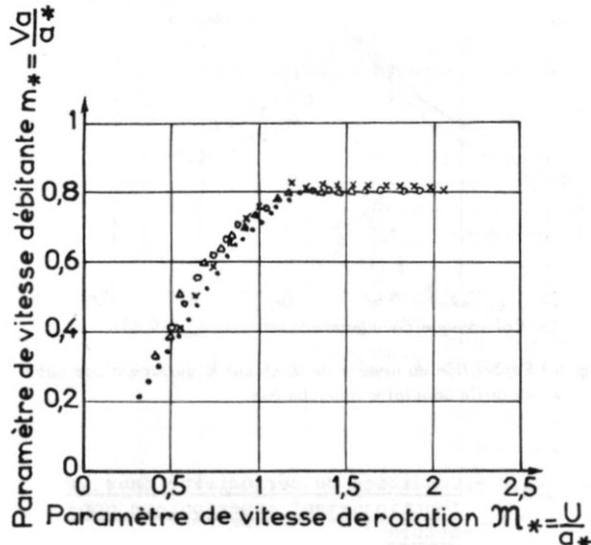


Fig. 9 a) Canal d'amenée.

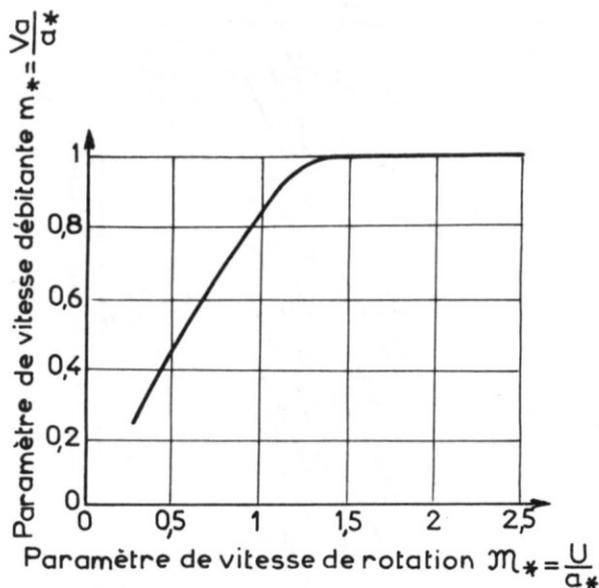


Fig. 9 b) Entrée du rotor.

Fig. 9 - Variation de la vitesse axiale maximale avec la vitesse de rotation dans une grille annulaire mobile (a_* célérité critique du son dans les conditions amont).

Il n'existe pas encore de données expérimentales sur compresseur axial à aubes longues fonctionnant en régime supersonique saturé, c'est-à-dire à une vitesse de rotation très élevée. Il n'apparaît cependant pas de difficulté théorique du point de vue aérodynamique.

2 - Écoulement à la sortie d'une grille d'aubes supersonique

La détermination des conditions de compatibilité de l'écoulement issu d'une grille d'aubes supersoniques fixes ou mobiles avec le domaine aval se présente différemment suivant qu'il est supersonique ou subsonique dans le plan de sortie.

2.1 - Cas d'un milieu aval à pression faible par rapport à la pression d'entrée (compresseur à action)

Il s'établit alors un écoulement supersonique dans la partie divergente des canaux interaubes, mais les conditions de compatibilité ne sont pas les mêmes suivant que le milieu aval est infini et à une pression imposée ou contient au voisinage immédiat du plan de sortie considéré une autre grille, fixe ou mobile. La discussion qui suit est relative à des grilles annulaires, fixes ou mobiles, et ne s'applique pas nécessairement à des grilles planes pour lesquelles d'autres paramètres peuvent intervenir [13] [14].

2.1.1 - Écoulement issu d'une grille d'aubes supersoniques et débouchant dans une enceinte isobare

La configuration d'ondes rendant compatible l'écoulement interne avec la condition de pression aval se détermine de la façon la plus simple dans l'hypothèse d'une grille d'aubes composée de segments rectilignes.

Une onde de choc oblique issue du bord de fuite d'une aube à l'extrados de celle-ci, rencontre l'intrados de l'aube voisine et s'y réfléchit pour assurer la condition de parallélisme de la vitesse avec la paroi. De ce fait, au voisinage du bord de fuite la pression est plus grande sur l'intrados que sur l'extrados. Un système double, de faisceaux de détente sur l'intrados et d'ondes de choc sur l'extrados rétablit à la fois la condition d'égalité de pression et de parallélisme des vitesses des deux flux confluant au bord de fuite. Ce système se répète périodiquement et en moyenne la vitesse issue du canal interaube n'est pas parallèle à la direction géométrique imposée par les parois (fig. 10).

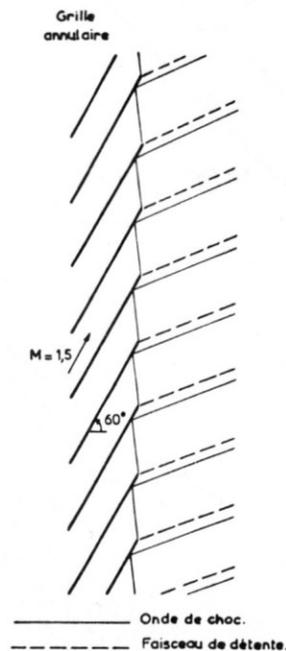
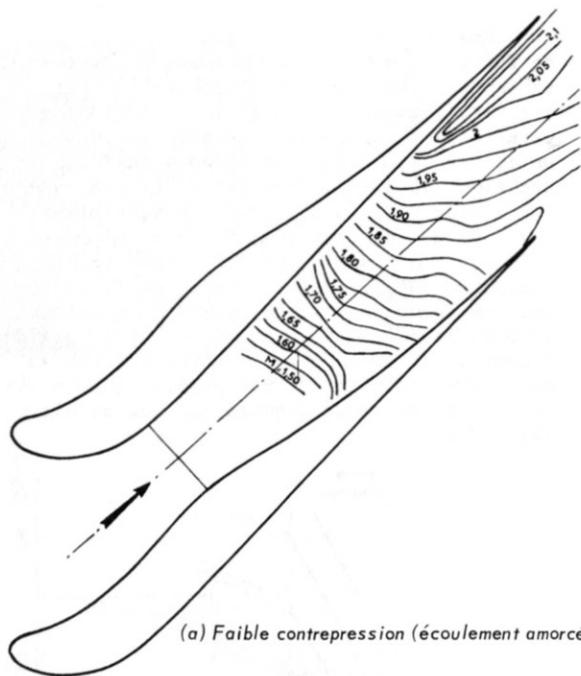


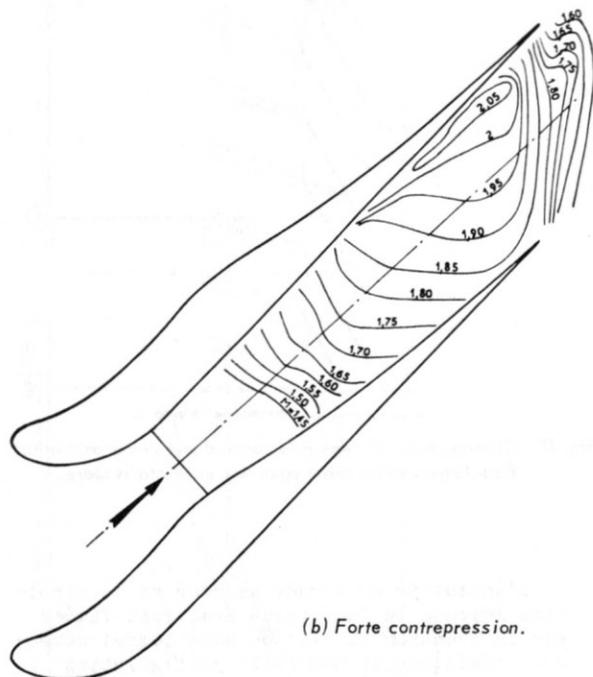
Fig. 10 - Configuration d'ondes à la sortie d'une grille annulaire. Écoulement débouchant dans une enceinte isobare.

L'intensité de l'onde de choc et la direction moyenne de la vitesse aval sont fixées par la pression du caisson dans lequel débouche l'écoulement. Une telle configuration d'ondes ne s'établit que dans la mesure où l'onde de choc d'extrados peut prendre appui sur l'intrados voisin, ce qui définit une condition d'existence et un nombre de Mach limite pour une direction géométrique de sortie donnée [15].

Expérimentalement, on a pu obtenir sur grille annulaire supersonique fixe (annexe AI.3) ce type de fonctionnement. La figure 11 représente la répartition du nombre de Mach dans un canal interaube prévu pour fournir à la sortie un écoulement de nombre de Mach $M = 2$ incliné de 45° sur la direction axiale : on notera l'influence de la contrepression sur la configuration de l'écoulement.



(a) Faible contrepression (écoulement amorcé).



(b) Forte contrepression.

Fig. 11 - Influence de la contrepression sur la répartition du nombre de Mach dans un canal interaube de grille annulaire fixe.

2.1.2 - Cas où il existe une seconde grille en aval de la première

Lorsque la grille fixe ou mobile est suivie d'une seconde grille (sur la figure 12, nous avons supposé deux grilles fixes se suivant, le raisonnement est plus simple dans ce cas mais cette hypothèse n'enlève rien à sa généralité) c'est cette dernière qui, par le jeu de systèmes compliqués d'ondes de choc, impose la direction de l'écoulement à la sortie de la première grille de façon à assurer à l'entrée de la seconde la condition de périodicité de l'écoulement.

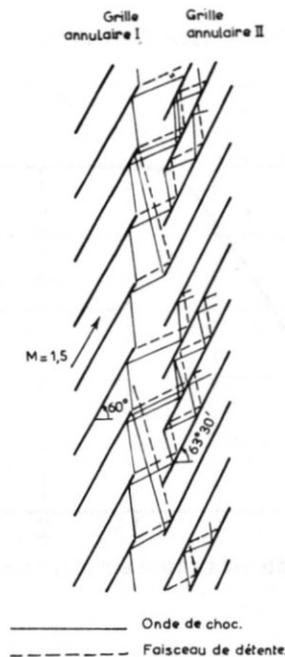


Fig. 12 - Configuration d'ondes dans l'espace séparant deux grilles de segments rectilignes.

2.2 - Cas d'un milieu aval à pression élevée par rapport à la pression d'entrée (compresseur à choc dans le rotor)

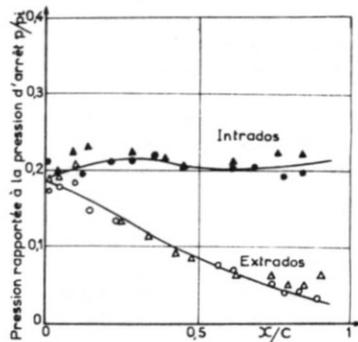
Un compresseur supersonique est souvent réalisé de façon à fournir dès la traversée de la roue mobile un accroissement de pression.

Il s'établit alors une ou plusieurs ondes de choc intenses à l'intérieur des canaux interaubes et l'écoulement issu du rotor est subsonique en axes liés à la roue mobile. L'écoulement en axes absolus peut être subsonique ou supersonique.

A titre d'exemple, nous présentons sur les figures suivantes des répartitions de pression obtenues sur grilles d'aubes fixes ou mobiles, planes ou annulaires [16]. La figure 13 compare les relevés de pression sur l'extrados et l'intrados en grille plane (Annexe AI.1) et en grille annulaire (Annexe AI.3). On notera qu'à faible contrepression on trouve la même répartition de pression. Par contre, pour une contrepression élevée, seules les mesures sur l'extrados donnent des résultats semblables, les mesures sur l'intrados diffèrent sensiblement. L'analyse des vues striescopiques (fig. 14) montre un décollement plus important sur grille plane que sur grille annulaire. On est donc amené à penser qu'un décollement sur l'extrados existe dans les deux montages mais que la striction plus importante de la veine, due au décollement plus étendu en grille plane, conduit à une détente dans la seconde partie du canal interaube, que l'on ne retrouve pas sur grille annulaire.

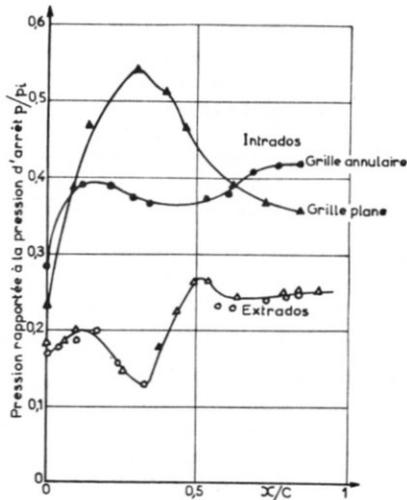
Une comparaison analogue a été faite entre relevés longitudinaux de pression sur grilles annulaires fixes (Annexe AI.3) et mobiles (Annexe AI.4). Ici encore (fig. 15), la con-

cordance est bonne à faible contrepression sauf en ce qui concerne l'onde de choc de fermeture des canaux qui est due, comme nous l'avons vu, à l'interaction avec le milieu aval.



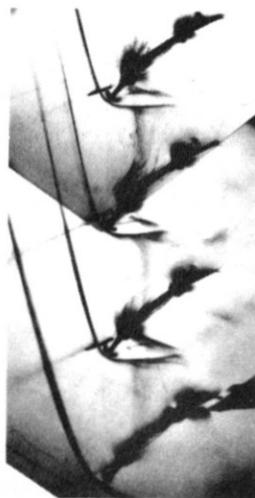
(a) Faible contrepression.

	Extrados	Intrados
Grille plane	△	▲
Grille annulaire	○	●



(b) Forte contrepression.

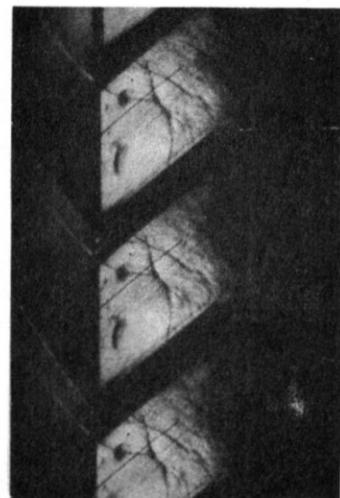
Fig. 13 - Comparaison des répartitions de pression sur intrados et extrados en grilles rectiligne et annulaire.



Grille rectiligne



Grille annulaire fixe



Grille annulaire mobile

Fig. 14 - Comparaison de la configuration d'ondes en grilles rectiligne ou annulaire, fixes ou mobile.
($M = 1,5$ - contrepression élevée).

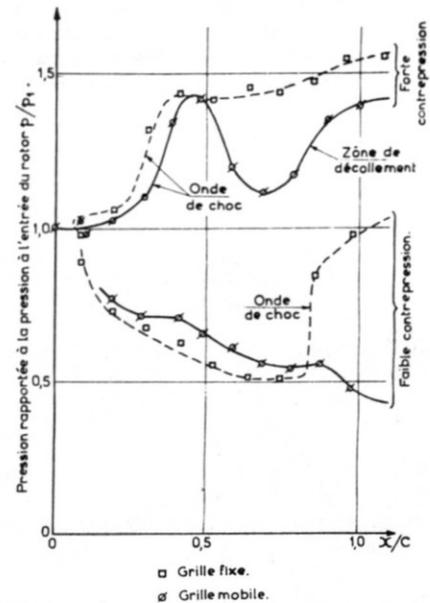


Fig. 15 - Comparaison des répartitions de pression moyenne sur grilles annulaires fixe et mobile.

A forte contrepression, on trouve sur grille annulaire fixe une détente dont l'équivalent ne se retrouve pas sur grille annulaire mobile. Elle semble liée, comme l'indiquent les vues strioscopiques de la figure 14b à des décollements qui seraient plus marqués en grille fixe qu'en grille mobile, où la centrifugation de la couche limite joue un rôle favorable.

3 - Conclusion

Les montages d'étude expérimentale des associations d'aubages supersoniques permettent d'obtenir des résultats qui contribuent à une meilleure représentation de la structure des écoulements dans les compresseurs.

Chaque type de montage présente des avantages (cf. annexe II) mais la comparaison des renseignements qu'il fournisse permet de

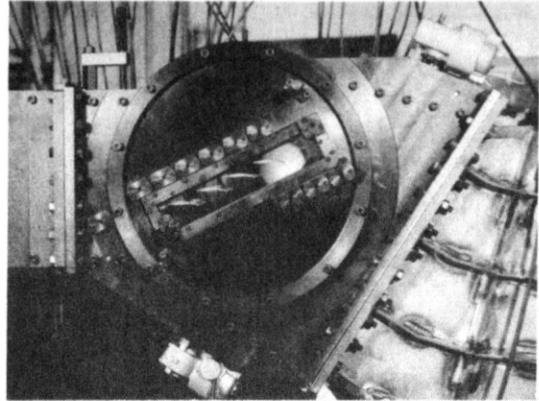
qui régissent le fonctionnement des machines, notamment le blocage en débit et la compatibilité de l'écoulement issu des aubages avec les conditions régissant dans le domaine aval.

Références

- [1] R. SOVRANO, Y. LEBOT - Etude par analogie hydraulique de la configuration d'ondes dans les compresseurs supersoniques AGARD - CP 34, 1968
- [2] J. CHAUVIN, F. BRENGELMANS, A. JANIGRO - Supersonic compressors - Von Karman Institute for Fluid Mechanics, C.R. 7, 1967.
- [3] J. FABRI - Mass flow limitation in supersonic compressors - in "Advanced Compressors" AGARD LS 39-70, 1970
- [4] J. FABRI, R. SIESTRUNCK - La limitation du débit dans les compresseurs supersoniques - Entropie n° 11, sept., oct. 1966
- [5] J. PAULON, M. BRENOD - Influence de l'angle d'attaque sur les performances d'une grille d'aubes de redresseur à fort La Recherche Aérospatiale 1972/3.
- [6] J. FABRI - La visualisation de l'écoulement dans un compresseur axial supersonique - Aéronautique et Astronautique n° 32 1971-8
- [7] M. PHILBERT, G. FERTIN - Dispositifs de visualisation pour soufflerie de grilles annulaires fixes ou tournantes - La Recherche Aérospatiale n° 1971-2
- [8] H. STARKEN, H. LICHTFUSS - Supersonic cascade performance in "Advanced Compressors" AGARD LS 39-70, 1970
- [9] J. PAULON, G. JANSSENS - La soufflerie de grilles d'aubes O.N.E.R.A. - Premiers résultats expérimentaux - La Recherche Aérospatiale 1969/2
- [10] J. FABRI, J. PAULON, G. JANSSENS - Use of supersonic cascades made of blades of simple geometric shapes for cascade wind tunnel performance evaluation - ASME 70-GT 110
- [11] C. CAPILLON, J. REBOUX - Critères de cohérence pour essais de compresseurs supersoniques - La Recherche Aérospatiale n° 1971-3
- [12] J. FABRI, J. REBOUX - Similitude des performances de compresseurs utilisant des gaz à thermodynamiques différents - ATMA Paris 1971
- [13] J. MEYER - Theoretical and experimental investigation of the flow downstream of two dimensional transonic turbine cascades ASME paper n° 72-GT-47, 1972
- [14] H. LICHTFUSS, H. STARKEN - Supersonic exit flow of two dimensional cascades ASME paper n° 72-GT-49, 1972
- [15] J.P. GUYOT, G. JANSSENS - Amorçage d'un écoulement supersonique dans une grille d'aubes annulaire La Recherche Aérospatiale (à paraître)
- [16] J. FABRI, R. SOVRANO - Comportement de la couche limite sur grilles d'aubes supersoniques planes et annulaires, fixes ou mobiles - AGARD - Groupe Ad Hoc sur les couches limites dans les turbomachines - Paris 1972

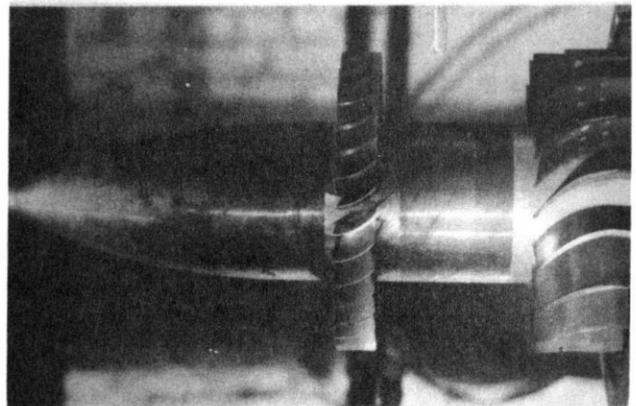
A.1 - Grille plane d'aubes supersoniques

Débit d'air $11 < Q < 13$ kg/sec
 Pression génératrice P_{i_0} 2,3 - 2,8 - 3,2 bars
 Température génératrice $T_{i_0} = 360^\circ\text{K}$
 Hauteur $h = 247$ mm
 Largeur $l = 100$ mm
 Nombre de Mach $M = 1,45 - 1,63 - 1,85$



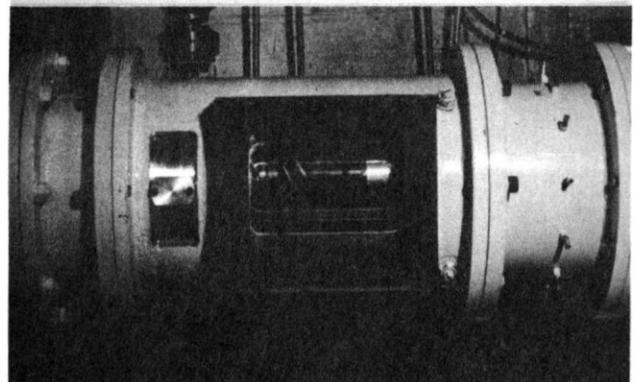
A.2 - Grille annulaire fixe d'aubes transsoniques

Débit d'air $Q = 7$ kg/sec
 Pression génératrice $p_{i_0} = 2,4$ bars
 Température génératrice $T_{i_0} = 290^\circ\text{K}$
 Rayon externe $r_e = 103$ mm
 Rayon interne $r_i = 55$ mm
 Nombre de Mach $0,30 < M < 0,80$
 Angle de l'écoulement avec axe $\beta = 58^\circ$



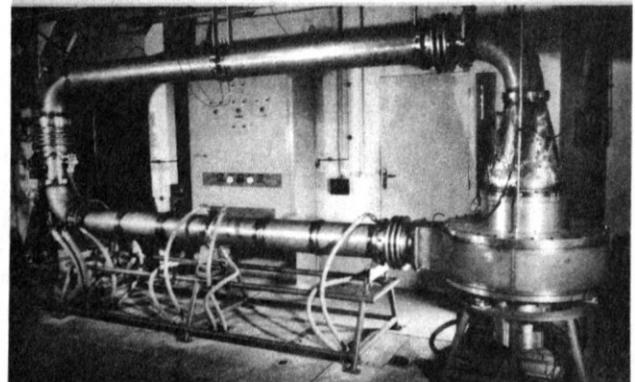
A.3 - Grille annulaire fixe d'aubes supersoniques

Débit d'air $Q = 7$ kg/sec
 Pression génératrice $p_{i_0} = 7$ bars
 Température génératrice $T_{i_0} = 370^\circ\text{K}$
 Rayon externe $r_e = 113$ mm
 Rayon interne $r_i = 96$ mm
 Nombre de Mach $M = 1,52$
 Angle de l'écoulement avec axe $\beta = 58^\circ$



A.4 - Grille annulaire mobile d'aubes supersoniques

Gaz utilisé : Fréon 114 ou mélange Fréon-azote
 Pression génératrice amont $0,10 < p_{i_0} < 0,20$ bars
 Température génératrice amont $T_{i_0} = 330^\circ\text{K}$
 Rayon externe $r_e = 232,5$ mm
 Rayon interne $r_i = 222,5$ mm
 Nombre de Mach d'entraînement $0 < \mathcal{M} < 2,25$



ANNEXE II

COMPARAISON DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS

DES DIVERS MONTAGES D'ESSAIS DE GRILLES D'AUBES SUPERSONIQUES

	Grille plane fixe	Grille annulaire fixe	Grille annulaire mobile
a) - Paramètres géométriques			
Calage des aubes	Variation du nombre de Mach par changement de calage.	Sensible aux erreurs de calage qui induisent des perturbations parasites.	Par définition, le calage des aubes est correct.
Vannage de l'écoulement	Désamorçage dissymétrique de la veine.	Vannage aval facile à réaliser	
Forme de la veine	Cylindrique pour la visualisation, de forme variable s'il s'agit de restituer des filets de courant d'un compresseur réel.		
b) - Paramètres aéro et thermodynamiques			
Nature du gaz	Air atmosphérique pour essais continus ; air desséché pour rafales ou en fonctionnement en circuit fermé.		Fréon 114 pour essais à nombres de Mach élevés. Mélange Fréon-Azote pour nombres de Mach modérés.
Nombre de Mach	Fonctionnement à nombres de Mach discrets définis par la géométrie du montage.		Gamme continue de nombres de Mach.
Périodicité de l'écoulement	Impossible à réaliser en toute rigueur.	Difficile à réaliser avec perfection mais solution approchée valable.	Automatiquement réalisée.
Couches limites pariétales	La section médiane peut échapper aux effets de la couche limite pariétale.	Effets secondaires peu connus.	
	Amélioration possible de l'écoulement par aspiration des couches limites pariétales		
Exploration de l'écoulement	1) Facile en amont et en aval de la grille, possibilité de munir les aubes de prises de pression. Nécessité d'effectuer des moyennes pondérées.		1) Facile en amont et en aval de la roue ; résultats intéressants donnés par prises de pression pariétales
	2) Mesures locales, valeurs moyennes obtenues après explorations longitudinale ou azimutale suivant le cas.		2) Valeurs moyennes, possibilité d'obtenir valeurs locales au moyen de capteurs de pression à réponse rapide.
Visualisation de l'écoulement	Facile avec grand champ ou avec champ limité et mesures.	Moins facile (polissage du carter, vibrations) et champ limité.	Nécessité de courts temps de pose et un polissage très précis des canaux utilisés.
Cadence des essais	Rapide pour un calage donné de la grille et pour un nombre de Mach donné ; relativement rapide s'il faut changer les paramètres.	Rapide pour un calage donné ; raisonnable pour changer de calage ; très lente pour changer le nombre de Mach.	Rapide pour un rotor donné (variation du nombre de Mach et de la contrepression).
Exploitation des essais	Résultats limités.	Résultats limités.	Résultats plus détaillés.
Validité des essais	Fraction d'une coupe cylindrique d'un compresseur.	Coupe cylindrique d'un compresseur ou représentation de l'écoulement compris entre deux surfaces de courant matérialisées ; fonctionnement à nombres de Mach discrets.	Etude à n'importe quel nombre de Mach d'une coupe cylindrique ou non d'un compresseur (problèmes des écoulements secondaires).