

Lexique concernant l'article sur le bruit des ventilateurs axiaux couplés à un échangeur de chaleur

Ventilateur de paroi : voir figure A

Virole : voir figure A

Stator redresseur : aubage fixe en aval de la roue (voir figure B)

Corde : distance entre le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale (voir figure C)

Cambrure : (voir figure C)

Dévers : une pale d'hélice déversée est une pale dont l'empilement des sections de pale sur l'envergure est incliné au lieu d'être radial (voir exemple de pales déversées figure 1)

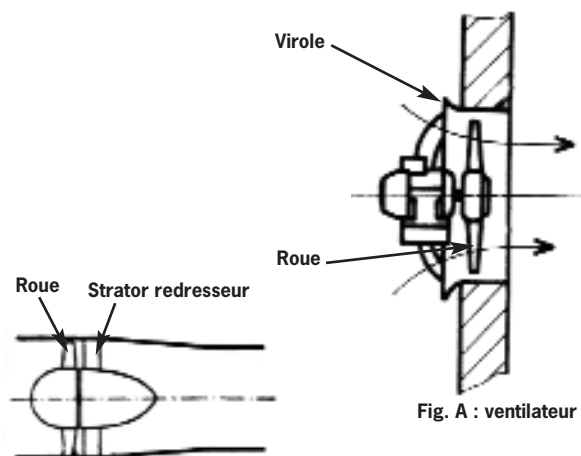


Fig. A : ventilateur de paroi

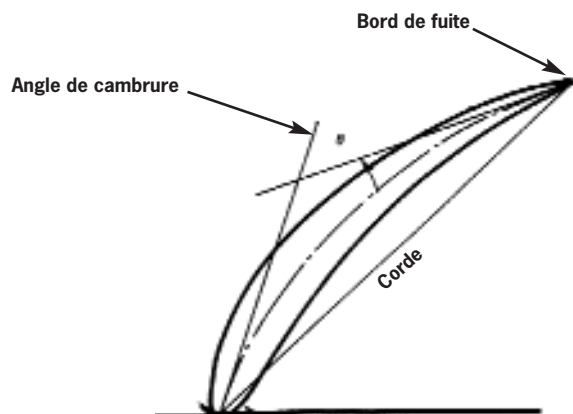


Fig. C : profil de section de pale

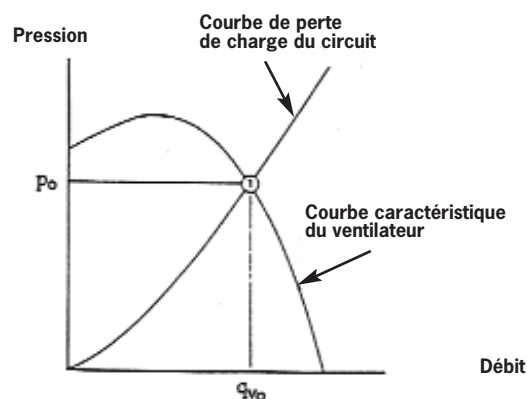


Fig. D : Courbe caractéristique du ventilateur

Fluidyn-dB: Simulation acoustique

en présence de VENT sur terrain complexe

- Modélisation: 3D mixte, interactivité, interface graphique de génération de maillage et visualisation des résultats
 - Source de bruits: linéaires (véhicules, trains) ou ponctuelles (usines, avions)
 - Terrain: plat ou montagneux
 - Météorologie: vent, température, humidité, pression atmosphérique
 - Autres facteurs: végétation, écrans antibruit, bâtiments, nature du sol.
- Applications: Prédiction des bruits dûs au trafic de véhicules, conception d'écrans antibruit, d'autotoutes et de bâtiments industriels pour réduire l'impact des bruits sur l'environnement.
- Utilisation: interactive sur PC ou Station de travail

Transoft

INTERNATIONAL 82 rue de Paris 93804 EPINAY-SUR-SEINE Cx
tél.: 42.35.30.30 fax.: 42.35.25.26 email: environ @ transoft.fr

Bruit des ventilateurs axiaux couplés à un échangeur de chaleur

Partie 1 : Ventilateur

Alain Guédel

CETIAT,
BP 6084, 69604 Villeurbanne Cedex

L'objectif de cet article est de présenter les principaux paramètres qui influent sur les performances aérauliques et acoustiques des ventilateurs axiaux ou hélicoïdes basse pression, montés en paroi et généralement couplés à un échangeur de chaleur. Dans ce numéro, on examine les caractéristiques du ventilateur seul ; le prochain parlera des effets d'intégration liés à la présence d'un échangeur de chaleur à proximité du ventilateur.

Les ventilateurs sont considérés comme l'une des principales sources de bruit dans un grand nombre de secteurs industriels. Pourtant, malgré de nombreuses études théoriques et expérimentales, on ne sait pas encore prévoir de façon précise le niveau de bruit des ventilateurs en fonction de leur type (hélicoïdes, centrifuges,...), de la géométrie des pales, de l'environnement de la roue (stator, volute, conduits,...), des caractéristiques aérauliques de la machine.

Dans la présente note, nous ne nous intéressons qu'à un type précis de ventilateurs, les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes de paroi, appelés dans la terminologie anglo-saxonne "propeller fans", que nous associons à un échangeur de chaleur immédiatement en amont ou en aval du ventilateur.

Ces ventilateurs "propeller" sont capables de délivrer des débits importants, fonction du diamètre et de la vitesse de rotation de la roue, mais les pressions restent en revanche faibles (de l'ordre d'une centaine de Pa maximum) par comparaison à celles des ventilateurs hélicoïdes montés en gaines ou a fortiori des ventilateurs centrifuges. Ils ne disposent pas de stator redresseur et sont montés sur la paroi qui délimite les circuits amont et aval par le biais d'une virole fixe de faible largeur solidaire de la paroi, voire d'un simple diaphragme.

Les principales applications visées concernent l'industrie du froid et du conditionnement d'air (aérocondenseurs ou aéroréfrigérants), le refroidissement des moteurs thermiques et des circuits hydrostatiques. Une autre application importante, qui présente des analogies évidentes avec la notre, concerne le refroidissement automobile. Les contraintes propres à cette utilisation, en particulier les contraintes d'encombrement, ne permettent cependant pas d'appliquer à la lettre les résultats de cette étude aux ventilateurs automobiles.

Le contenu de cet article repose sur des travaux en cours menés au CETIAT ou dans d'autres laboratoires, qui visent à réduire le niveau sonore des ensembles ventilateur + échangeur. Ceci peut se faire au détriment du rendement du ventilateur, qui dans ce type d'applications n'est en général qu'un paramètre secondaire.

Un Congrès international, le premier de cette importance consacré exclusivement au bruit des ventilateurs, s'est tenu au CETIM à Senlis en 1992. A l'époque, il avait permis de faire le point sur l'état des connaissances en la matière [1].

Caractéristiques principales des ventilateurs hélicoïdes de type "propeller"

On trouve des informations succinctes sur ces ventilateurs dans différents ouvrages ou publications ([2] à [5]). Ils sont montés sur une paroi dans un plénum de dimensions transversales sensiblement supérieures au diamètre de la roue. Leur nombre de pales est généralement compris entre 2 et 6, les pales étant d'épaisseur constante et de grande corde, notamment en périphérie (figure 1).

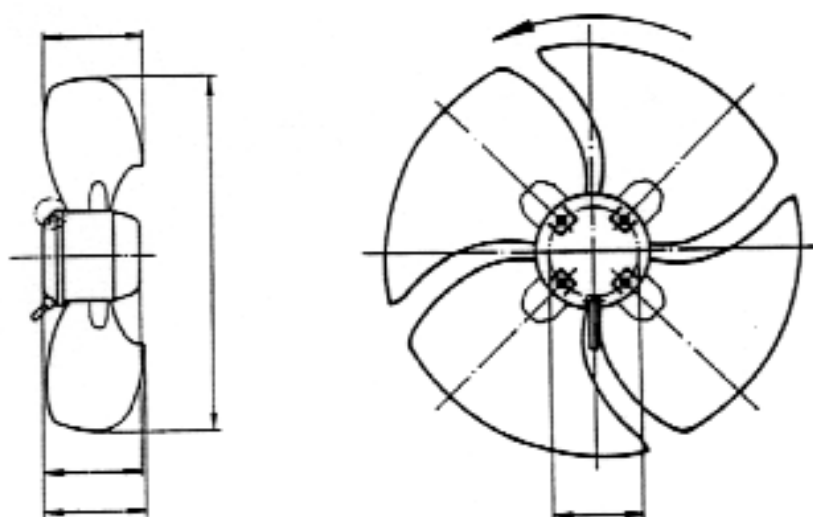


Fig. 1 : Schéma d'un ventilateur hélicoïde de type "propeller"

La géométrie des pales, mais également la forme, la largeur et la position axiale de la virole fixe par rapport à la roue jouent un rôle important sur les performances aérauliques et acoustiques, comme nous le verrons par la suite.

La pression statique maximale délivrée par ces ventilateurs n'excède guère 100 à 150 Pa, ce qui est la plupart du temps suffisant dans des applications telles que le conditionnement d'air, les tours de refroidissement, les extracteurs de toiture où ceux-ci sont utilisés.

Ils peuvent fonctionner dans des conditions satisfaisantes jusqu'au point de débit maximum correspondant à une pression statique nulle. Leur rendement total est au maximum de l'ordre de 60 %, ce qui est peu par rapport à des ventilateurs hélicoïdes ou centrifuges performants. Le rendement optimum est situé dans la plage de débit comprise entre 50 et 100 % du débit maximum [2].

Morphologie de l'écoulement dans le ventilateur

Contrairement aux ventilateurs hélicoïdes classiques où l'écoulement, guidé par le conduit, présente une composante radiale de vitesse faible, l'écoulement dans un "propeller" est fortement tridimensionnel, sa morphologie se rapprochant de celle de l'écoulement à travers un diaphragme (figure 2).

En fait, l'expérience montre que la structure de l'écoulement dépend du point de fonctionnement du ventilateur ([2], [5] et figure 3) :

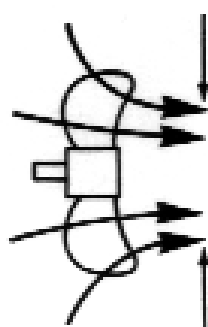
- au point de débit maximum et de pression nulle, l'écoulement en sortie de roue est pratiquement axial.
- aux débits inférieurs, la composante radiale de vitesse en sortie s'accroît jusqu'à devenir prépondérante au point de débit nul.

Cette structure de l'écoulement explique le rôle particulièrement important de la virole sur les performances du ventilateur.

Influence de la géométrie de la virole

Largeur de virole

L'expérience montre qu'une roue de type propeller insérée dans un conduit de même diamètre et de grande longueur voit ses performances aérauliques se dégrader par rapport à celles obtenues avec la même roue placée dans une virole de faible largeur ou un diaphragme, ceci



Vena contracta

Fig. 2 : Morphologie de l'écoulement d'un ventilateur (d'après [5])

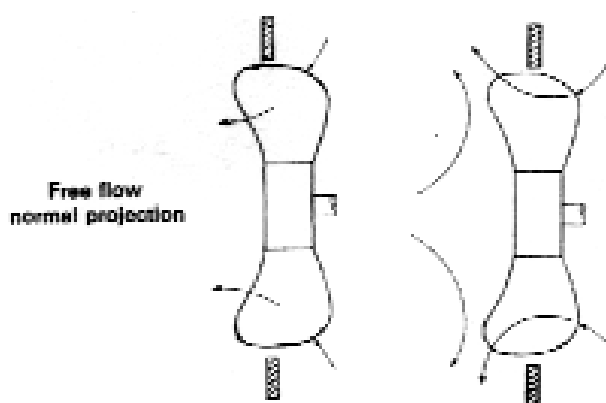


Fig. 3 : Morphologie de l'écoulement en fonction du point de fonctionnement (d'après [5])
a) Grand débit b) Petit débit

quelle que soit la hauteur du jeu périphérique entre la roue et le conduit [2]. La figure 4, déduite de travaux CETIAT, illustre ce point.

La référence [2] précise que pour conserver des performances aérauliques optimum, le diamètre des conduits de raccordement doit être supérieur d'au moins 25 % au diamètre de la roue.

La figure 5, tirée d'une étude CETIAT sur une unité extérieure de climatiseur individuel, montre l'évolution du niveau global de bruit d'un ventilateur en fonction de la largeur de la virole, à puissance thermique constante de l'unité. Le bruit du compresseur frigorifique est dans tous les cas négligeable devant celui du ventilateur. Pour maintenir constante la puissance thermique de l'appareil, on joue sur la vitesse de rotation du ventilateur.

Le minimum de bruit observé lorsque la largeur de virole est de 70 mm (soit moins de la moitié de l'encombrement axial de la roue en tête de pales) est ainsi obtenu en réduisant la vitesse de rotation. La puissance ther-

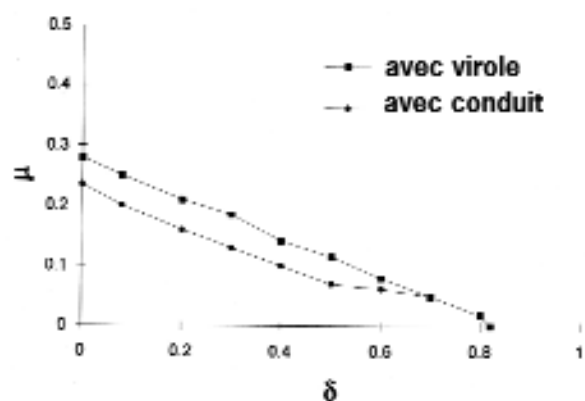


Fig. 4 : Comparaison des caractéristiques débit-pression d'un propeller monté dans une virole ($L/D = 0,07$) et dans un conduit ($L/D = 3,6$)
 L = largeur de la virole ou du conduit
 D = diamètre de la roue
 δ = coefficient de débit (adimensionnel)
 μ = coefficient de pression (adimensionnel)

mique de l'appareil étant proportionnelle au débit d'air à travers l'échangeur, ceci indique que la modification de la largeur de virole affecte principalement les performances aérauliques du ventilateur, plus que le niveau sonore. En d'autres termes, à vitesse de rotation constante le niveau de bruit est peu affecté par la largeur de la virole. En revanche, les performances aérauliques le sont.

Position axiale de la virole par rapport à la roue

La figure 6 illustre l'influence de la position axiale de la virole par rapport à la roue sur les performances aérauliques du ventilateur.

Lorsque la virole est située au bord de fuite de la roue, on favorise le débit au détriment

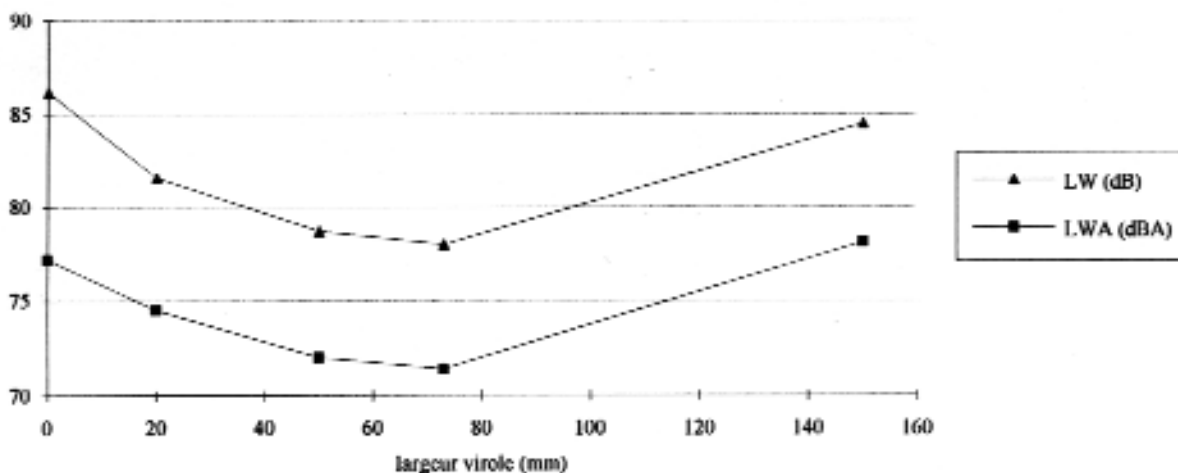


Fig. 5: Influence de la largeur de la virole sur le niveau sonore d'un ventilateur à même performance débit-pression
Diamètre roue : 598 mm
Corde axiale en tête : 170 mm

de la pression maximum du ventilateur. Inversement, lorsque la virole est près du bord d'attaque on augmente fortement le maximum de pression du ventilateur mais on réduit très sensiblement son débit maximum. Des tendances très similaires sont obtenues par d'autres auteurs [5], [7]. Daly [5] donne une explication physique à ce résultat.

Sur le plan acoustique, le déplacement axial de la virole se traduit, pour une résistance aéroulique de circuit donnée, par une évolution quasi stable du niveau sonore ([7], [8]).

Ainsi, la position de la virole permet d'ajuster le fonctionnement du ventilateur en fonction de la résistance aéroulique qui lui est opposée.

Lorsque la perte de charge de l'échangeur est faible, ce qui est généralement le cas sur les appareils de climatisation, il est

préférable de disposer la virole à proximité du bord de fuite. La figure 7, déduite de [9], illustre cette remarque en montrant l'évolution du débit et du niveau global de bruit d'une unité extérieure de climatiseur en fonction de la position axiale de la virole par rapport à la roue. Dans le cas présent la virole est constitué d'un simple diaphragme. On observe que le débit de l'unité est maximum lorsque le diaphragme est dans le plan du bord de fuite de la roue. Le niveau sonore n'évolue en revanche pratiquement pas avec la distance d .

Cet effet de la position de la virole par rapport à la roue est en fait plus sensible avec un diaphragme qu'avec une virole. A position optimale du diaphragme, on atteint des performances aérouliques et acoustiques comparables à celles d'une virole.

En conclusion, la position de la virole par rapport à la roue apparaît comme un paramètre encore plus important que la largeur de la virole, ceci dans la mesure où cette largeur n'excède pas 0,3 à 0,4 fois la largeur axiale de la roue. Au-delà, les performances se dégradent dans tous les cas.

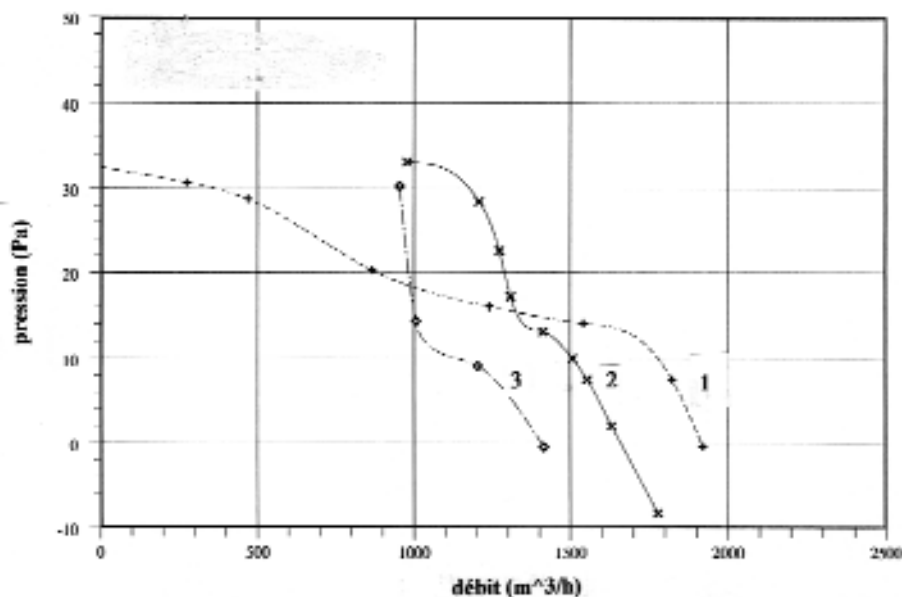
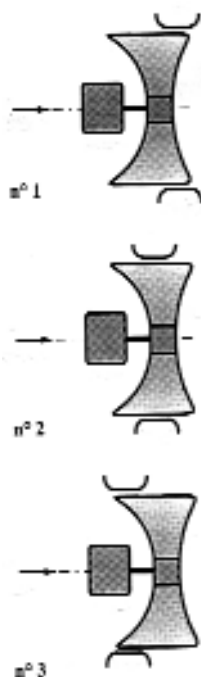


Fig. 6 : Influence de la position axiale de la virole par rapport à la roue sur les performances aérouliques du ventilateur (d'après [6])
a) Configurations expérimentales. Diamètre roue : 360 mm. Largeur virole : 40 mm. Corde axiale en tête : 88 mm
b) Résultats

Forme de la virole

classique et avec cette nouvelle virole.

Jeu périphérique entre la roue et la virole

Sur les ventilateurs hélicoïdes en conduit, il est générale-

On a vu précédemment l'incidence de la largeur de la virole. Concernant sa forme, on ne dispose que de peu d'informations sur le sujet.

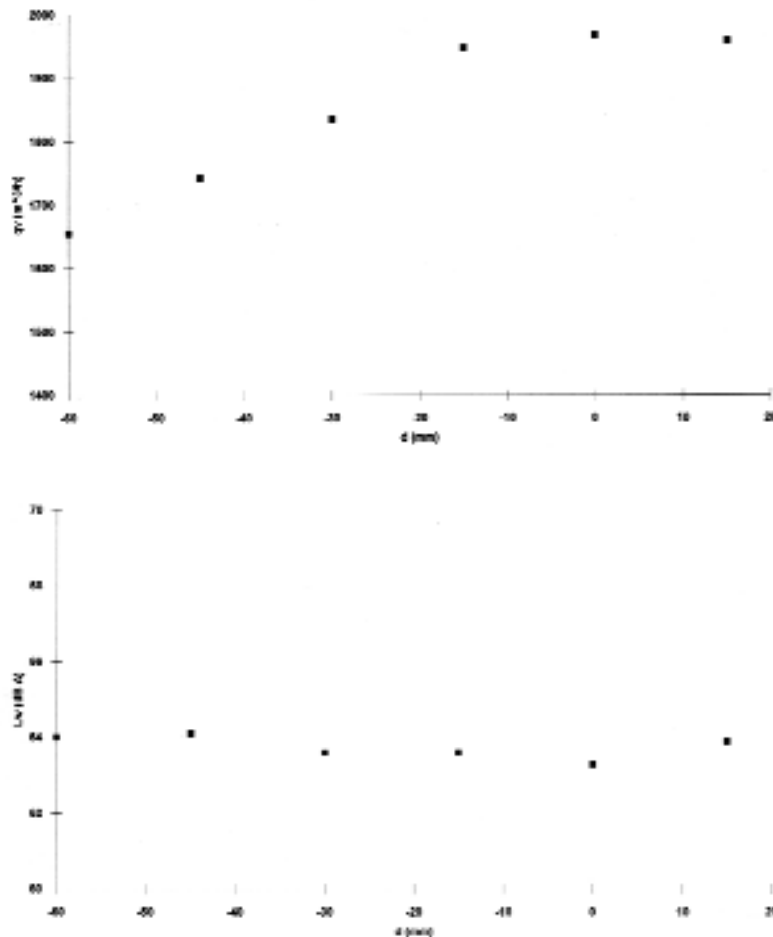


Fig. 7 : Evolution du débit (a) et du niveau de puissance acoustique (b) d'un ventilateur de climatiseur en fonction de la distance axiale d entre la virole (diaphragme) et le bord de fuite de la roue : $d < 0$ diaphragme en amont du bord de fuite roue diamètre roue : 405 mm (d'après [9])

La plupart des viroles sont de forme cylindrique (figure 8). Dans la configuration 8-b, il est nettement préférable de mettre un pavillon à l'entrée de la partie cylindrique de la virole pour minimiser les pertes de charge, agissant sur les performances aérauliques, et les turbulences susceptibles de rehausser le bruit du ventilateur [5].

Un dessin plus sophistiqué de la virole peut conduire à des améliorations significatives des performances du ventilateur. Ainsi Mishima et al. [10] de Toshiba ont mis au point une nouvelle virole de climatiseur (figure 9).

Cette géométrie de virole permet de réduire de 2 dB(A) le bruit du ventilateur en guidant mieux l'écoulement à l'entrée de l'hélice et en rendant plus homogène l'écoulement en sortie. La figure 10 compare les vecteurs vitesses en sortie du ventilateur mesurés avec une virole

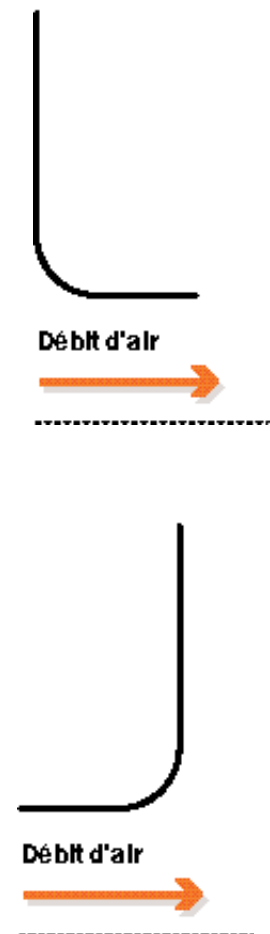


Fig. 8 : Formes de virole les plus simples

ment observé une amélioration sensible des performances aérauliques et acoustique lorsqu'on réduit la hauteur du jeu périphérique (voir par exemple [11]). Un jeu important conduit en effet à l'apparition de tourbillons en périphérie des pales, qui se traduit par une augmenta-

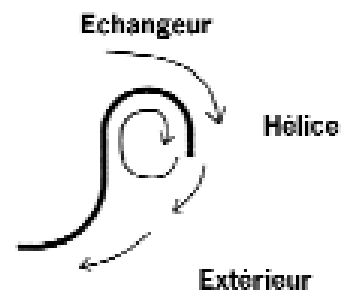


Fig. 9 : Schéma d'une nouvelle forme de virole pour ventilateur de climatiseur (d'après [10])

tion des pertes et du niveau sonore.

L'expérience montre que l'influence du jeu est nettement moins importante sur un ventilateur "propeller" dont la structure de l'écoulement est, on l'a vu, très différente

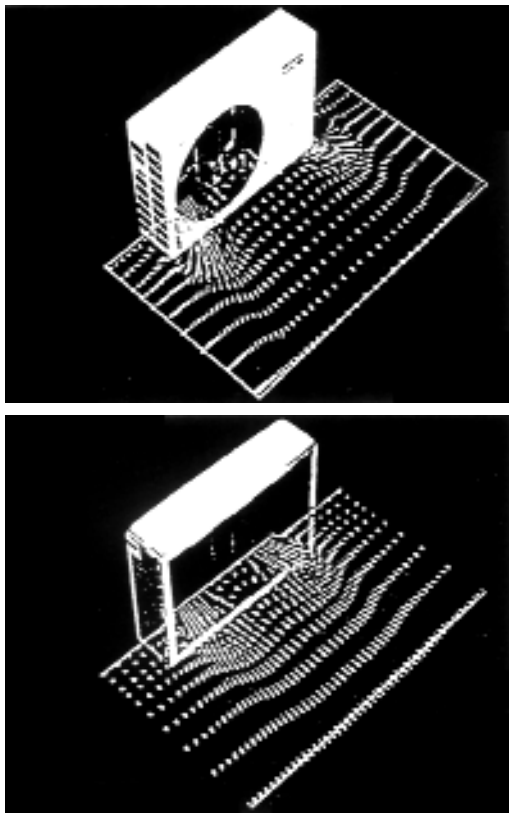


Fig. 10: Comparaison des vecteurs vitesse en sortie de ventilateur avec virole classique (a) et virole modifiée (b) (d'après [10])

de celle d'un hélicoïde classique. En fait, l'effet de jeu est lié au dessin même de la pale. Les hélicoïdes en conduit sont généralement dessinés suivant une loi de charge de type tourbillon libre, c'est-à-dire que le travail de la pale est constant sur l'envergure. Dans ce cas l'influence du jeu sur les performances du ventilateur est primordiale.

Inversement, les propellers sont dans la majorité des cas dessinés suivant une loi de type tourbillon constant ou tourbillon forcé, ce qui signifie que le travail de la pale est plus important en périphérie qu'au moyeu. L'effet de jeu est alors beaucoup moins marqué. Le tableau ci-dessous, tiré de [8], montre l'évolution du débit et du niveau global de bruit d'une unité extérieure de climatiseur en fonction du jeu périphérique J pour une roue de 405 mm de diamètre.

J (mm)	q _v (m ³ /h)	LwA (dBA)
10	1831	65,1
5	1810	64,5
3	1808	65,3

La réduction du jeu d'un facteur 3 par rapport au jeu d'origine de 10 mm n'entraîne aucune réduction du bruit

et conduit même, pour ce cas de figure, à une légère diminution du débit. La mise en place d'une virole tournante solidaire des pales à leur périphérie a peu de chance de conduire à une amélioration des caractéristiques du ventilateur car une virole tournante n'est intéressante que si l'on ne peut réduire, pour des raisons mécaniques ou constructives, le jeu périphérique [12]. Sur les propellers, ce jeu n'ayant pas d'influence, une virole tournante est a priori inutile.

Influence de la géométrie des pales

La géométrie des pales joue bien évidemment un rôle fondamental sur les performances aéraulique et acoustique du ventilateur, au même titre que la virole.

A titre indicatif, la figure 11 compare les niveaux de pression acoustique à 1 mètre de différents ventilateurs d'unités extérieures de climatiseurs du commerce, à plusieurs points de fonctionnement. L'échangeur est dans ce cas retiré et la charge aéraulique est assurée par le biais d'un plénum à ouverture réglable placé au refoulement du ventilateur. La variable Ø en abscisse est l'ouverture aéraulique réduite :

Ø = (qv / (S * sqrt(2 * Δp / ρ))) ou S = (π * D² / 4)

D : diamètre du ventilateur
qv : débit du ventilateur
p : pression statique du ventilateur

En ordonnée, K représente le niveau de bruit du ventilateur ramené à une même référence de vitesse et de diamètre par la formule de transposition classique :

K = Lp + 50 log (N / Nréf) + 70 log (D / Dréf)

La forme des pales des différentes roues, de diamètres

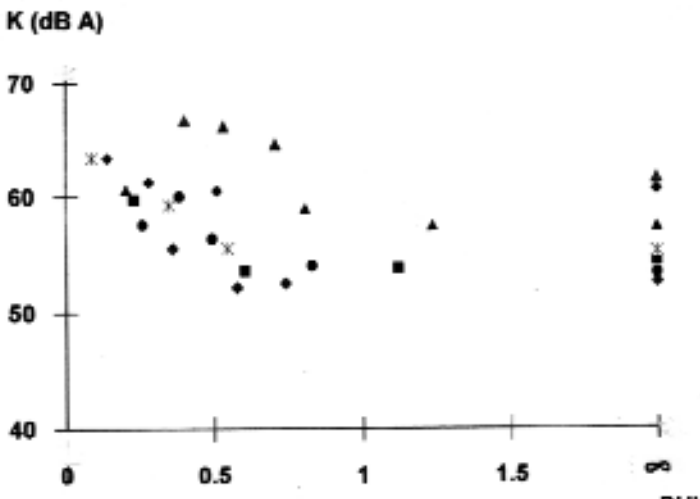


Fig. 11: Comparaison des niveaux de bruit spécifique de différents ventilateurs de climatiseurs en fonction de l'ouverture aéraulique réduite. compris entre 250 et 460 mm, est très variable.

Certaines pales sont de simples tôles de forme quasi rectangulaire. D'autres en plastique moulé ont des géométries beaucoup plus élaborées.

Les viroles ne sont pas toutes identiques mais respectent dans l'ensemble les critères énoncés précédemment.

On constate sur la figure 11 une large dispersion des résultats acoustiques. Les courbes pression-débit de ces ventilateurs, représentées en paramètres adimensionnels, sont également assez différentes, quelques unes se détachant nettement du lot (figure 12).

Ce type de comparaisons permet de dégager des tendances en vue d'une optimisation acoustique de la géométrie des pales. Ces tendances sont exposées dans une synthèse bibliographique [13] dont on donne ici les principales conclusions.

Si l'on adopte comme critère de choix le niveau acous-

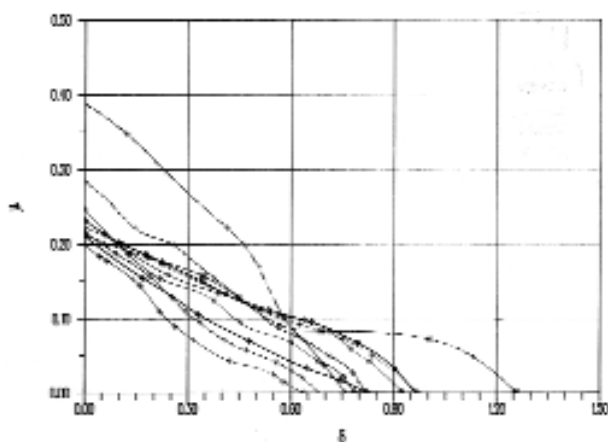


Fig. 12 : Comparaison des courbes aérauliques réduites des ventilateurs de la figure 11

δ : coefficient de débit

μ : coefficient de pression

tique global du ventilateur en dB(A), on peut déduire les principes généraux suivants :

- le niveau de bruit est essentiellement piloté par le bruit large-bande, les raies à la fréquence fondamentale du ventilateur (nombre de tours/s x nombre de pales) et ses éventuels harmoniques émergeant à des fréquences trop basses pour donner une contribution significative au niveau global pondéré A,
- le bruit large-bande provient de trois mécanismes principaux, le bruit de bord de fuite (lui-même décomposable en plusieurs phénomènes distincts), le bruit associé à l'ingestion de turbulence incidente et le bruit dû aux décollements sur les pales (voir par exemple [14] et [15] pour une description de ces mécanismes). Les gammes de fréquences caractéristiques de ces sources sont différentes, le bruit produit par la turbulence amont se produisant en basses et moyennes fréquences, le bruit de bord de fuite en moyennes et hautes fréquences [15],
- il est préférable de choisir un ventilateur avec peu de pales (3 ou 4) de grande corde plutôt qu'un ventilateur comportant beaucoup de pales à faible corde. Le niveau de bruit au-delà de 500 Hz est nettement réduit dans le premier cas,

- un dévers des pales dans le sens de la rotation est bénéfique sur le plan acoustique à condition de maîtriser les modifications du fonctionnement aéraulique induites par le dévers,
- la distribution de charge moyenne le long de l'envergure doit être préférentiellement de type tourbillon forcé, c'est-à-dire que la pale doit travailler plus en tête qu'au moyeu. Ceci peut avoir cependant des répercussions sur le rendement, qui est généralement un paramètre secondaire dans ce cas,
- les pales peuvent être assez fortement cambrées à condition d'éviter les décollements inhérents à un profil de pales trop cambré,
- à performance pression-débit constante, la vitesse de rotation doit être la plus faible possible. Ceci revient à privilégier les ventilateurs ayant des caractéristiques réduites débit-pression élevées.

Ces principes généraux étant établis, il y a encore de nombreuses recherches à faire, aussi bien fondamentales qu'appliquées, pour bien maîtriser les phénomènes en jeu et être capable d'optimiser la géométrie des ventilateurs sur le plan aéraulique et acoustique en fonction des applications considérées.

Conclusion

Nous présenterons dans le prochain numéro d'Acoustique et Techniques une suite à cet article, consacrée aux effets d'installation du ventilateur en présence de l'échangeur.

Références bibliographiques

- [1] Symposium international sur le bruit des ventilateurs CETIM, Senlis (1-3 septembre 1992)
- [2] C.L.B. Noon, Fans in air-conditioning systems, Federal Conference of Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating, mai 1969
- [3] B. Eck, Fans, Pergamon Press, 1973
- [4] W.C. Osborne, Fans, Pergamon Press, 1977
- [5] B.B. Daly, Woods practical guide to fan engineering, Edited by Woods of Colchester Limited, 1979
- [6] N. Yazigi, Intégration des ventilateurs dans les appareils de conditionnement d'air, Note technique CETIAT, NTO 92517, 1992
- [7] H. Fujita, Noise characteristics and outlet flow field of axial flow fans. Proceedings of Noise-Con 79, p 79-85, 1979
- [8] A. Guédel, Amélioration des performances aérauliques et acoustiques du système de ventilation des unités extérieures de climatiseurs, Note technique CETIAT, NTV 93082, 1993
- [9] A. Guédel, JH Salazar, Amélioration du système de ventilation des unités extérieures de climatiseurs, Note technique CETIAT NTV 94082, 1994
- [10] T. Mishima et al., Développement d'une unité extérieure dotée d'une nouvelle forme d'inverter. 28^e conférence de la Japan Association of Refrigeration, avril 1994
- [11] T. Fukano et al., The effects of tip clearance on the noise of low pressure axial and mixed flow fans, JSV, Vol 105(2) pp. 219-308, 1986
- [12] R.E. Longhouse, Control of tip-vortex noise axial flow fans by rotating shrouds, JSV, Vol. 58(2) pp. 201-214
- [13] A. Guédel, Influence de la géométrie d'un ventilateur hélicoïde sur son niveau de bruit, Note technique CETIAT, NTV 93078, 1993
- [14] A. Guédel, Bruit des ventilateurs hélicoïdes, Document technique CETIAT VTL 2, 1989
- [15] S.T. Chou and A.R. George, An analytical parametric study of the broad-