



Les ventilateurs de plafond

M. Santamouris
Université d'Athènes, Grèce

1 Introduction

Les ventilateurs de plafond sont l'une des techniques les plus susceptibles de réduire la consommation énergétique de la climatisation et d'améliorer le confort. Historiquement, les ventilateurs de plafond ont vu le jour dans les climats chauds et humides puis se sont répandus progressivement dans certaines parties du monde au cours des premières décennies du siècle passé.

La Figure 1 présente des exemples de ventilateurs de plafond.

Lorsqu'ils sont en service, les ventilateurs de plafond peuvent étendre la zone de **confort estival**, c.-à.-d. qu'ils améliorent le confort thermique à des températures plus élevées (p.ex. jusqu'à 29 °C). Ils présentent comme tels plusieurs avantages substantiels:

1. Dans les bâtiments non climatisés, les ventilateurs de plafond peuvent élargir substantiellement les périodes où les conditions de confort thermique sont acceptables, améliorant ainsi le confort thermique et la productivité.

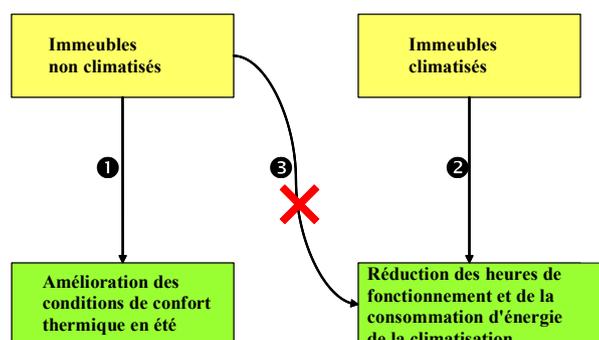


Figure 1 : Exemples de ventilateurs de plafond

2. Dans les bâtiments climatisés, ils permettent de réduire le recours à la climatisation (en heures de fonctionnement et en consommation énergétique) en réglant le thermostat d'ambiance sur une température plus haute.
3. Les ventilateurs de plafond permettent d'éviter l'installation de systèmes de refroidissement actif.

Les ventilateurs de plafond peuvent également améliorer le rendement énergétique pendant la **saison de chauffe**, en réduisant la stratification verticale: l'air chaud qui stagne dans le haut des pièces est chassé vers le bas. Il suffit habituellement pour cela d'inverser le sens de rotation des pales.

Des études, menées principalement aux Etats-Unis, ont démontré que des gains énergétiques importants étaient associés à l'usage de ventilateurs de plafond dans les bâtiments climatisés. Toutefois, l'observation d'un grand nombre de bâtiments a montré que des gains énergétiques n'étaient possibles qu'en association avec un relèvement de la température de consigne.

Le présent article entend présenter les principaux avantages des ventilateurs de plafond, les connaissances actuelles à propos de leur impact sur le confort ainsi que les connaissances quant aux gains énergétiques escomptés. Enfin, nous émettrons quelques recommandations sur le bon usage de ces ventilateurs.

2 L'utilisation des ventilateurs de plafond

Les ventilateurs de plafond ont largement pénétré sur les marchés américain et asiatique, alors que leur pénétration sur le marché européen est quasi négligeable. Selon une étude effectuée par Ecos Consulting et le USA Natural Resources Defence Council (2001), deux maisons américaines sur trois ont au moins un ventilateur de plafond, et chaque ventilateur consomme – en moyenne – environ 130 kWh par an. Il y a, en tout, près de 193 millions de ventilateurs de plafond aux Etats-Unis.

Selon DOE (2002), 107 millions de ménages vivaient aux Etats-Unis en 2001 et 70 millions – soit 65 pour-cent – de ces ménages possédaient des ventilateurs de plafond. Ce chiffre représentait une augmentation de 14 pour-cent par rapport aux 61 millions de ménages équipés de ventilateurs de plafond relevés dans le RECS de 1997. On trouvait un total de 193 millions de ventilateurs de plafond

dans l'ensemble des ménages américains en 2001. Ce chiffre représente une moyenne de 2.8 ventilateurs de plafond par ménage ayant au moins 1 ventilateur dans la maison et de 1.8 ventilateur de plafond sur l'ensemble des ménages américains (Tableau 1).

3 Plafond et confort: Informations sur les études de terrain

Lorsqu'on les utilise, les ventilateurs de plafond peuvent accroître la vitesse de l'air intérieur et, de ce fait, améliorer le confort thermique (Chand, 1973, Chandra 1985). Selon Omer (2006), cet effet semble dû à une réaction de pointe des thermorécepteurs humains situés juste sous la peau.

Rohles et al. (1983) et Scheatzle et al. (1989) ont montré que les ventilateurs de plafond pouvaient prolonger la zone de confort au-delà de la zone de confort ASHRAE typique (Figure 2). Les expériences ont été menées à la K.S.U (Université d'Etat du Kansas) et ont exposé 256 sujets humains au déplacement d'air créé par des ventilateurs de plafond. On a découvert, en particulier, qu'avec une vitesse de l'air de 1.02m/s, on parvenait à réaliser un confort thermique à:

- 27.7 °C, pour 73 % d'humidité relative,
- 29.6 °C pour 50 % d'humidité et
- 31 °C pour 39 % d'humidité relative.

Tableau 1 : Caractéristiques des ménages par ventilateurs de plafond aux Etats-Unis

Housing Unit and Household Characteristics	Total Households (million)	Households With Fans (million)	Percent of Households With Fans	Number of Ceiling Fans (million)	Average Number of Fans		RSE Row Factors
					Per Households With Fans	Per Total Households	
RSE Column Factor:	1.0	1.2	0.7	1.5	0.7	1.1	
Percentage of Rooms Air-Conditioned							
100%	58.8	42.6	72.5	131.2	3.1	2.2	2.3
50% to 99%	12.1	8.6	71.2	22.5	2.6	1.9	4.8
25% to 49%	6.4	4.0	62.2	8.9	2.2	1.4	6.3
1% to 24%	3.5	2.1	59.8	5.8	2.8	1.7	8.8

Clark (1989) conclut que:

- Les ventilateurs de plafond créent un mouvement d'air très turbulent et de qualité variable qui contribue à des effets plus confortables qu'un mouvement uniforme de l'air;
- Des vitesses de l'air proches de 1.0 m/s ne sont pas perçues comme une gêne ou un courant d'air. De plus, on n'a pas trouvé que la vitesse de 1.0 m/s était la vitesse maximum autorisée;
- Lorsqu'on utilise des ventilateurs de plafond, une vitesse de l'air de 1.0 m/s à 29 °C peut représenter l'équivalent de 24 °C sans ventilateur de plafond.

Selon la norme EN 15251, 'en conditions de confort estival' (températures opératives intérieures > 25 °C), une hausse de la vitesse de l'air peut servir à compenser des hausses de la température l'air. En présence de ventilateurs (qui peuvent être commandés directement par les occupants) ou d'autres moyens d'ajustement personnel de la vitesse de l'air (p.ex. des systèmes de ventilation individuels), les limites supérieures présentées peuvent être relevées de quelques degrés. La correction exacte de la température dépend de la vitesse de l'air générée par le ventilateur et peut être déduite de la Figure 3. Cette méthode peut aussi servir à surmonter des températures excessives dans les immeubles climatisés si l'on dispose d'une méthode de contrôle local du mouvement de l'air (ventilateur, etc.).

Concernant la vitesse maximale de l'air, des expériences réalisées par McIntyre (1976) ont conclu qu'une vitesse de l'air de 2 m/s était la limite supérieure acceptable.

On trouve des informations sur la répartition de la vitesse dans une pièce équipée de ventilateurs de plafond dans Vieira (1983), Clark et al. (1983), Chandra et al. (1983) et Bailor (1986). Le mouvement d'air créé par un ventilateur de plafond forme un tore dont le noyau descend à haute vitesse dans le courant directement sous le ventilateur de plafond. A 1 m de haut, il y a une région de vitesse moyenne à proximité des murs, d'un côté à l'autre du plafond. La vitesse est assez basse dans la région intermédiaire.

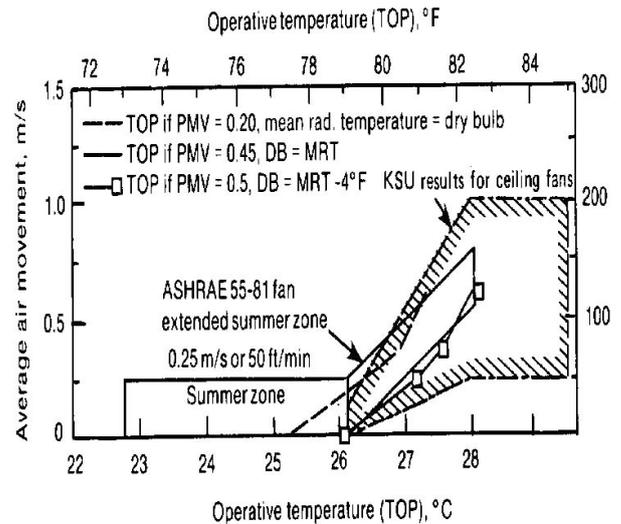


Figure 2 : Zone de confort étendue avec des ventilateurs de plafond

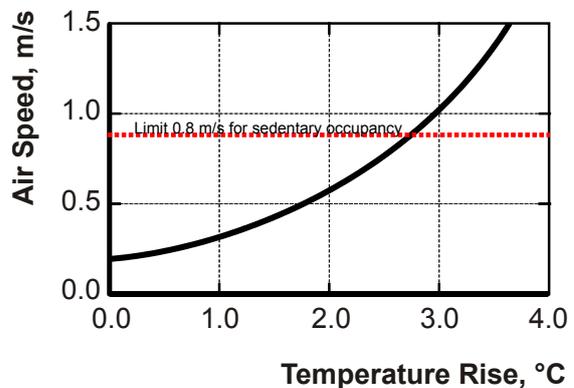


Figure 3: Vitesse de l'air nécessaire pour compenser une hausse de température (ASHRAE Standard 55, EN ISO 7730). La vitesse de l'air augmente dans la proportion nécessaire pour conserver le même transfert thermique total depuis la peau. L'acceptation de la vitesse plus élevée de l'air nécessitera le contrôle par les occupants du dispositif qui crée la vitesse locale de l'air.

La vitesse de l'air générée par les ventilateurs de plafond et les conditions de confort créées de la sorte ont été étudiées par Mallick (1996). Les mouvements de l'air générés à différentes vitesses dans une pièce sont repris au Tableau 2. On a conclu que les températures de confort augmentent avec le mouvement de l'air mais uniquement au-dessus d'une vitesse minimum de l'air.

- Jusqu'à une vitesse de 0.15 m/s, le confort ne s'améliore pas lorsqu'on augmente la vitesse de l'air.
- A une vitesse de 0.3 m/s, les limites supérieure et inférieure de la zone de

confort classique ont été étendues respectivement de 2.4 et 2.2 °C.

- La zone de confort correspondant aux différentes vitesses de l'air générées par les ventilateurs de plafond est donnée au Tableau 3.

Par conséquent, les ventilateurs de plafond tournant à vitesse moyenne ou supérieure peuvent contribuer dans une large mesure à l'amélioration des conditions de confort dans les bâtiments.

4 Ventilateurs de plafond et consommation d'énergie

Il va sans dire que les ventilateurs de plafond consomment de l'énergie. La puissance du moteur est habituellement comprise entre 10 et 100 W.

Pourtant, le recours aux ventilateurs de plafond permet d'éviter l'installation de climatiseurs ou de réduire les heures de fonctionnement des climatiseurs et leur consommation. Les ventilateurs de plafond permettent des économies d'énergie à condition que leurs utilisateurs remontent les réglages des thermostats de climatisation.

Il est évident que les ventilateurs de plafond consomment moins d'énergie que les

climatiseurs car leurs moteurs utilisent entre 10 et 100 Watts, alors que les climatiseurs d'ambiance consomment de 600 à 3000 Watts. De nombreuses études ont été réalisées, surtout aux Etats-Unis, afin d'identifier les éventuels gains énergétiques.

Fairey et al. (1986) ont démontré que le recours à des ventilateurs de plafond ou des ventilateurs oscillants pouvait contribuer de manière significative à la réduction de la charge de refroidissement de bâtiments dans le sud des Etats-Unis si l'on relevait les réglages du thermostat en conséquence. Comme ils le rapportent, on évalue à environ 30 % les économies d'énergie qui seraient réalisées dans les bâtiments typiques à ossature à Orlando et Atlanta si l'on remontait le point de consigne du thermostat de 25.6 C à 27.8 C. Les économies d'énergie peuvent monter jusqu'à 50 % pour les bâtiments massifs.

Dans les conditions climatiques de la Floride, les économies sont grosso modo de 14% pour une augmentation de 1.2 °C, selon le Florida Solar Energy Center. Bien que des études suggèrent une hausse de 1.2 – 3.4 °C du point de consigne du thermostat, James et al. (1996) rapportent que, dans 386 ménages de Floride qu'ils ont étudiés, ils n'ont pas identifié de différences statistiquement valables dans les réglages des thermostats entre les maisons qui utilisaient des ventilateurs et celles qui n'en utilisaient pas, bien que les ventilateurs soient utilisés en moyenne 13.4 heures par jour.

Tableau 2 : Mouvements de l'air générés par différents réglages de vitesse d'un ventilateur de plafond (Mallick, 1996).

Fan speed setting	Room 1	Room 2	Room 3	Room 4	Room 5	Room 6	Average
Slow (m/s)	0.17	0.17	0.12	0.14	0.14	0.16	0.15
Medium (m/s)	0.3	0.29	0.31	0.28	0.3	0.32	0.3
Fast (m/s)	0.54	0.39	0.42	0.5	0.42	0.43	0.45

Tableau 3 : Températures de confort à différentes vitesses d'air (Mallick, 1996)

Fan speed setting	Air movement (m/s)	Comfort range (°C)	Mean comfort temperature (°C)
None	0	24–33	28.9
Slow	0.15	24–33	29.5
Medium	0.3	26.4–35.2	30.9
Fast	0.45	27–35.8	31.6

5 Ventilateurs de plafond de la nouvelle génération

En ce qui concerne le design de ventilateurs de plafond efficaces, Schmidt et Patterson (2001) ont conçu un nouveau ventilateur de plafond à haut rendement qui permet de réduire d'un facteur 2 à 3 la consommation électrique et, par conséquent, les factures d'électricité. Parker et al. (1999) ont conçu et testé un ventilateur de plafond très efficace dont ils ont amélioré l'aérodynamisme des pales. Ce ventilateur de plafond affiche une performance de débit d'air nettement supérieure à celle des ventilateurs existants et utilise une technologie de commande de pointe. Il se caractérise par un débit d'air beaucoup plus élevé par watt d'entrée, une augmentation d'environ 100% de la performance de débit d'air (m^3/h par watt) en comparaison d'un ventilateur classique à pales plates équipé d'un moteur identique, une distribution améliorée et plus uniforme dans la pièce grâce à un ajustement constant du pas ou du degré de torsion de la lame sur toute la longueur de la lame, et un fonctionnement silencieux (Figure 4).

Des essais comparatifs avec des ventilateurs de plafond existants ont fait apparaître une augmentation de 40% du débit d'air (Figure 5).

6 Quelques recommandations

Dans un travail de pionnier, Chand (1973) a étudié le mouvement d'air produit par un ventilateur de plafond et a conclu par les recommandations suivantes (Figure 6):

- Le jeu minimum entre les pales du ventilateur et le plafond doit être d'environ 30 cm;
- Pour répondre aux besoins d'une pièce de L mètres de long, le pouvoir d'écoulement d'un ventilateur doit être égal à environ $55 L m^3/min$, tandis que
- la réduction de la hauteur de plafond de 2.9 m à 2.6 m produit une augmentation du mouvement de l'air dans la zone.

En ce qui concerne le mode de fonctionnement, la plupart des ventilateurs de



Figure 4 : Le ventilateur de plafond Gossamer Windward II de Hampton Bay

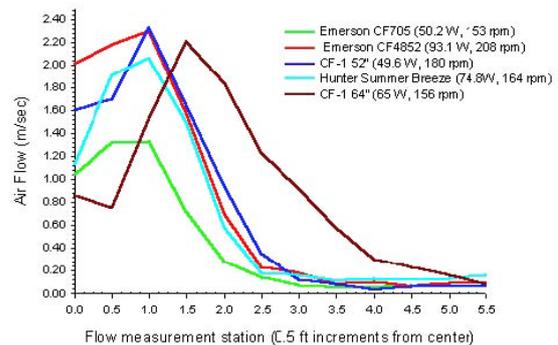


Figure 5 : Résultats de l'essai de différents ventilateurs de plafond (Parker, 1999)

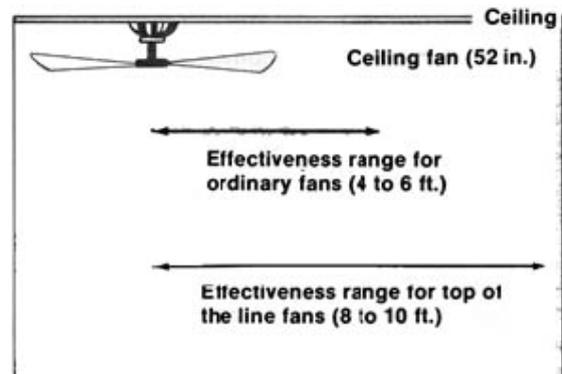


Figure 6 : Recommandations quant à l'emploi des ventilateurs de plafond

plafond sont fournis avec une marche avant et une marche arrière:

- En mode "avant", le ventilateur souffle l'air vers le bas. On sent ainsi une brise quand on se tient sous le ventilateur.
- En mode "arrière", le ventilateur souffle l'air vers le haut et une personne qui se tient sous le ventilateur ne perçoit pas de brise directe. Etant donné que l'air chaud se tient près du plafond, en hiver, le ventilateur doit fonctionner en mode "arrière" pour faire circuler l'air chaud sans souffler l'air vers le bas. Un ventilateur qui tourne en mode arrière brasse tranquillement l'air et

contribue à déplacer l'air chaud vers le bas. Durant l'été, par contre, le ventilateur de plafond doit fonctionner en mode "avant" pour créer un effet de refroidissement éolien car l'air refroidit le corps en se déplaçant contre la peau.

7 Refroidissement passif

Les ventilateurs de plafond peuvent élargir le marché des techniques de refroidissement passif, y compris la ventilation intensive nocturne.

Au cours des dix dernières années, les stratégies de refroidissement passif basées sur la ventilation nocturne (en ce compris la ventilation hybride) ont suscité beaucoup d'intérêt. Quel que soit le climat, de telles techniques permettent de réduire substantiellement la température du bâtiment durant la nuit. Si on les combine avec un contrôle solaire approprié et une réduction drastique des gains internes, elles permettent d'améliorer substantiellement le confort thermique de nombreux bâtiments et réduisent, de ce fait, la nécessité d'installer un refroidissement actif.

En pratique, on observe que durant certaines périodes de forte chaleur, le confort thermique des bâtiments équipés de techniques de refroidissement passif peut être critique. L'emploi de ventilateurs de plafond durant ces périodes peut garantir des conditions de confort acceptables sans qu'il faille procéder à un refroidissement actif.

8 Références

1. Bailor B. , 1986. Floor Overall Heat Transfer Coefficients and room air velocity characteristics of a typical ceiling fan. Thesis for the M.Sc. in Applied Solar Energy, Trinity University, San Antonio, TX.
2. Chand I. Studies of air motion produced by ceiling fans. Research and industry. 18, 3, 50-53, 1973.
3. Chandra S, P. Fairey and M. Houston, 1983. A Handbook for Designing Ventilated Buildings. Final Report, USDOE.
4. Chandra S. Fans to reduce cooling cost in the South East, Florida Solar Energy Center, EN, 13-1985.
5. Clark G., F. Loxsom, P. Haves and E. Doderer. 1983. Results of a validated simulation of roof pond cooled residences. Proc. Eight National Passive Solar Conference, Santa Fe, NM.
6. Clark G. Passive Cooling Systems. In Passive Cooling. J. Cook, (Editor), MIT Press, 1989.
7. Department of Energy : Characteristics of Residential Housing Units by Ceiling Fans, US, 2002.
8. Ecos Consulting and the Natural Resources Defense Council. New Ceiling Fan Takes Flight. Environmental Building News. Vol. 10, No. 3, March 2001
9. Fairey P., S. Chandra and A. Kerestecioglu. Ventilative Cooling in Southern Residences : a Parametric Analysis. FSEC-PF-108-86, 1986
10. James PW, Sonne JK, Vieire R, Parker D, Anello M. Are energy savings due to ceiling fans just hot air? In: Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, USA. 1996.
11. Mallick F. H. Thermal Comfort and Building Design in the tropical climates. Energy and Buildings, 23, 161-167, 1996.
12. McIntyre D.A. 1976. Preferred air speeds for comfort in warm conditions. Ashrae Transactions, 84, 2, 264.
13. Omer A. M. Renewable Building Energy Systems and Passive Human Comfort Conditions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, In Press, 2006. Parker Danny S., Michael P. Callahan, Jeffrey K. Sonne. Development of a High Efficiency Ceiling Fan "The Gossamer Wind". FSEC-CR-1059-99, 1999
14. Rohles F.H., S.A. Konz, and B.W Jones. Ceiling fans as extenders of the summer comfort envelope, ASHRAE Transactions, 89, 1A, 245-263, 1983.
15. Scheatzle D.,H. Wu and J. Yellot. Extending the summer comfort with ceiling fans in hot arid climates. ASHRAE Transactions, 95, 1, 1989.
16. Schmidt K and Dean J. Patterson. Performance results for a high efficiency tropical ceiling fan and comparisons with conventional fans. Demand side management via small appliance efficiency. Renewable Energy 22 (2001) 169-176
17. Vieira R. 1983. Energy Saving Potential of Dehumidified Roof Pond Residences. Thesis for the M.S. in Applied Solar energy, Trinity University, San Antonio, Texas

L'**Air Infiltration and Ventilation Centre** a été inauguré par l'Agence Internationale de l'Energie et est financé par les pays suivants: Belgique, Danemark Etats-Unis d'Amérique, France, Grèce, Japon, Norvège, Pays-Bas, République de Corée et République Tchèque.

L'Air Infiltration and Ventilation Centre apporte son soutien technique à la recherche théorique et appliquée sur l'infiltration d'air et la ventilation. Il ambitionne de promouvoir la compréhension de la complexité de la circulation de l'air dans les bâtiments. Il entend également faire progresser l'application efficace de mesures d'économie d'énergie dès la conception des nouveaux bâtiments et l'amélioration du parc immobilier existant.