

Ventilation Information Paper n° 04

Mars
2004

© INIVE EEIG
Operating Agent
and Management
Lozenberg 7
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
info@inive.org- www.inive.org

International Energy Agency
Energy Conservation in Buildings
and Community Systems Programme

1 Besoin accru de refroidissement

Ces dernières années, on a constaté une pénétration très importante de la climatisation, principalement en raison de l'augmentation du niveau de vie dans le monde développé et suite à l'adoption de normes architecturales non adaptées au climat. Les dernières statistiques du secteur, (IIR 2002), montrent qu'actuellement plus de 240 millions de systèmes de climatisation ont été installés dans le monde, tandis que les ventes annuelles de systèmes de climatisation approchent la barre des \$60 milliards. Le marché de la climatisation ne cesse d'augmenter. Alors qu'en 1998, le volume total des ventes annuelles approchait les 35.188.000 unités, il est passé à 41.874.000 unités en 2000 et à 44.614.000 unités en 2002, (JARN et JRAIA, 2002), avec un volume prévu de 52.287.000 unités en 2006 (Tableau 1).

Rappelons que les secteurs de la réfrigération et de la climatisation consomment environ 15% de toute l'électricité consommée dans le monde. En Europe, la pénétration de la climatisation est nettement plus basse qu'au Japon et aux USA. Comme l'indique le Tableau 2 (Adnot 1999) on s'attend à une forte progression des climatiseurs au cours des prochaines années.

La climatisation entraîne de nombreux problèmes; les plus importants étant l'augmentation des pics de consommation électrique, la dégradation de la couche d'ozone et l'augmentation des polluants intérieurs.



Air Infiltration and Ventilation Centre

Stratégies de ventilation nocturne

Matheos Santamouris
Université d'Athènes, Grèce



En Europe et en particulier dans les pays du Sud, on constate une augmentation très importante des pics de charge électrique principalement en raison de la pénétration très rapide de la climatisation. À titre d'exemple, nous présentons, à la Figure 1, les courbes de charges réelles ainsi que l'évolution projetée du pic de charge électrique en Espagne (Adnot, 1999). De même, l'Italie a été confrontée à de gros problèmes de fourniture d'électricité durant l'été 2003 en raison de la forte demande d'électricité due aux systèmes de climatisation.

Il est très important pour l'avenir de trouver des solutions efficaces pour réduire la consommation électrique et contrer les effets de la climatisation sur l'environnement. Les solutions possibles portent sur l'utilisation des techniques de refroidissement passif et en particulier les techniques de protection contre la chaleur et le soleil et les techniques d'inertie et de dissipation thermique. Des recherches récentes ont montré que les techniques de ventilation nocturne peuvent contribuer à améliorer nettement le confort thermique dans les bâtiments non climatisés et à réduire la consommation d'énergie pour le refroidissement des bâtiments climatisés.

Tableau 1: Ventes actuelles et prévues de climatiseurs dans le monde (JARN and JRAIA, 2002) (en milliers d'unités).

	Réel				Prévisions				
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Total mondial	35.188	38.500	41.874	44.834	44.614	46.243	47.975	50.111	52.287
Japon	7.270	7.121	7.791	8.367	7.546	7.479	7.344	7.459	7.450
Asie (Japon non inclu)	11.392	11.873	13.897	16.637	16.313	17.705	19.227	20.890	22.705
Moyen Orient	1.720	1.804	1.870	1.915	1.960	2.010	2.060	2.112	2.166
Europe	1.731	2.472	2.709	2.734	3.002	3.157	3.318	3.489	3.670
Amérique du Nord	10.437	12.408	12.322	11.894	12.521	12.522	12.524	12.525	12.525
Amérique centrale & du Sud	1.588	1.665	2.109	1.939	1.866	1.906	1.973	2.043	2.114
Afrique	511	670	664	758	781	806	833	861	887
Océanie	539	487	512	593	625	659	693	731	770

Tableau 2: Pénétration des climatiseurs dans le secteur tertiaire et résidentiel aux USA, au Japon et en Europe pour 1997, (Adnot, 1999).

Pays	Tertiaire	Résidentiel
Japon	100%	85%
USA	80%	65%
Europe	<27%	<5%

Load curves for 1995 and 2020

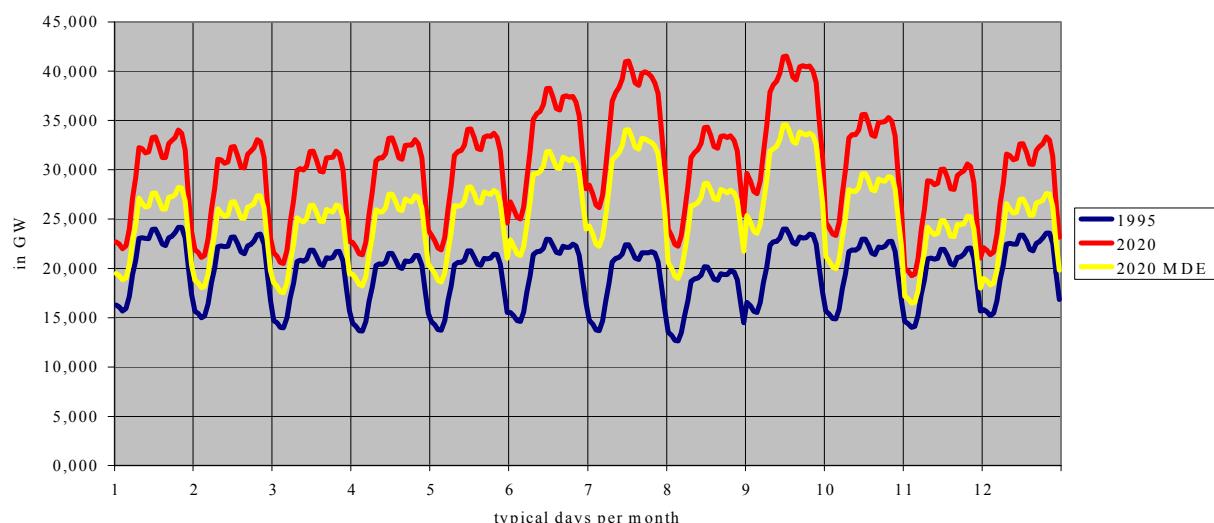


Figure 1: Courbes de charge pour 1995 et 2020 en Espagne, (Adnot 1999).

2 Principes de la ventilation nocturne

Les techniques de refroidissement passif impliquent d'utiliser les techniques de protection contre la chaleur et le soleil, de l'inertie en utilisant la masse thermique du bâtiment et de la dissipation de la chaleur dans un refroidisseur environnemental à plus basse température.

Le refroidissement par convection est une méthode très efficace pour améliorer le confort intérieur et la qualité de l'air et réduire la température intérieure. Une vitesse d'air intérieur accrue peut améliorer le confort thermique quand elle ne dépasse pas certaines valeurs limites. La ventilation en journée contribue de manière positive au confort quand la température extérieure est inférieure à la température intérieure et qu'elle reste dans les limites du confort. La ventilation nocturne est associée à la circulation de l'air ambiant à basse température dans le bâtiment et à la réduction de la température d'une masse de stockage. Dès lors, les conditions thermiques dans le bâtiment seront plus favorables le lendemain. La ventilation nocturne convient pour les zones ayant une plage de température diurne importante et où la température nocturne n'est pas assez basse pour entraîner un inconfort.

Les systèmes de ventilation nocturne sont de type direct ou indirect selon le mode de transfert de la chaleur entre la masse de stockage thermique et l'espace conditionné. Avec le système direct, l'air frais circule dans les zones du bâtiment et la chaleur est transférée dans les éléments opaques exposés du bâtiment. La température réduite de la masse du bâtiment contribue à abaisser la température intérieure le lendemain par convection et rayonnement. La circulation de l'air peut être assurée par une ventilation naturelle ou mécanique. Avec le système direct, la masse du bâtiment doit être exposée et il faut éviter l'utilisation de revêtements, de planchers surélevés ou de faux plafonds.

Avec les systèmes indirects, l'air frais circule pendant la nuit à travers un vecteur de stockage thermique qui accumule les frigories et les libère en journée. En général, le vecteur de stockage est une dalle en béton recouverte par

un faux plafond ou un sol surélevé et la circulation de l'air est toujours forcée. Bien entendu, en journée, la température de l'air en circulation doit être supérieure à la température de la masse de stockage. Les systèmes de ventilation nocturne directs et indirects sont souvent utilisés de manière combinée.

La performance des systèmes de rafraîchissement nocturne dépend de trois paramètres importants :

- a) la température et le débit de l'air circulé dans le bâtiment pendant la nuit ;
- b) la qualité du transfert thermique entre l'air circulé et la masse thermique ;
- c) la capacité thermique de la masse de stockage.

L'optimisation de la performance des systèmes de ventilation nocturne demande des techniques de simulation détaillées tenant compte de tous les paramètres énergétiques et environnementaux. Il existe des outils de simulation simplifiée conçus spécialement pour les applications de ventilation nocturne. Ils peuvent fournir des informations très utiles.

3 Limitations des techniques de ventilation nocturne

Tout en étant une technique très intéressante, la ventilation nocturne présente des limitations importantes. Elle impose de réguler l'humidité et la condensation en particulier dans les zones humides. Les techniques de ventilation naturelle peuvent présenter des problèmes de pollution, de bruit et d'intimité.

La pollution extérieure est une sérieuse limitation en particulier dans les zones urbaines. On estime (Stanners et Bourdeau, 1996) que dans 70 à 80 % des villes européennes comptant plus de 500.000 habitants, les niveaux de pollution de l'air, concernant un ou plusieurs polluants, dépassent les normes de l'OMS au moins une fois par an. La filtration et l'épuration de l'air n'est possible qu'en utilisant des systèmes de ventilation naturelle à flux contrôlé ou de ventilation mécanique. Le bruit est aussi une importante limitation quand on utilise la ventilation naturelle. D'après les études de Stanners et Bourdeau (1996), des niveaux de bruit inacceptables supérieurs à 65 dB(A), affectent 10 à 20% des habitants de la plupart

des villes européennes. En outre, l'OCDE, (OCDE, 1991), a évalué que 130 millions de personnes des pays de l'OCDE sont exposés à des niveaux de bruit intolérables.

Cependant, on estime que la principale limitation des techniques de ventilation nocturne vient des conditions climatiques spécifiques au milieu urbain. L'augmentation de la température ambiante due à l'effet des îlots de chaleur ainsi que la forte baisse de la vitesse du vent dans les canyons urbains réduisent considérablement le potentiel de refroidissement des techniques de ventilation nocturne.

Les expériences visant à étudier la réduction du débit d'air dans les bâtiments ventilés naturellement par un seul côté ou de façon transversale dans dix canyons urbains à Athènes (Geros et al, 2001) montrent que le débit de l'air peut être réduit de 90 % (Figure 2) en raison de la vitesse du vent réduite. Dès lors, l'intégration efficace des techniques de ventilation naturelle et nocturne dans les zones urbaines denses demande une bonne connaissance des caractéristiques du vent ainsi qu'une adaptation des éléments de ventilation aux conditions locales.

Les mêmes auteurs (Geros, 1999) ont comparé la charge de refroidissement d'un bâtiment avec ventilation nocturne quand il est situé

dans un canyon urbain ou dans un site dégagé. Ils constatent que la différence relative de la charge de refroidissement entre les deux lieux varient de -6 à 89%, pour une ventilation d'un seul côté et entre -18 et 72% pour une ventilation transversale en fonction des caractéristiques du canyon (Figure 3).

Par ailleurs, on a effectué la même comparaison pour un bâtiment non climatisé à ventilation nocturne. On a calculé que la différence des températures intérieures maximales dans le bâtiment vont de 0.0 à 2.6 °C pour la ventilation transversale et de 0.2 à 3.5 °C pour la ventilation par un seul côté, en fonction des caractéristiques du canyon. La Figure 4 illustre les différences spécifiques pour dix canyons urbains.

Par conséquent, un dimensionnement et une conception corrects des bâtiments à rafraîchissement nocturne utilisant les techniques de ventilation naturelle doivent reposer sur des données appropriées à l'environnement urbain.

Pour les climats plus frais, on peut utiliser une ventilation à effet de tirage pendant la nuit. Dans de tels cas, la température nocturne extérieure (alors que l'intensité de l'ilot de chaleur urbain est à son maximum) peut atténuer l'efficacité de cette stratégie.

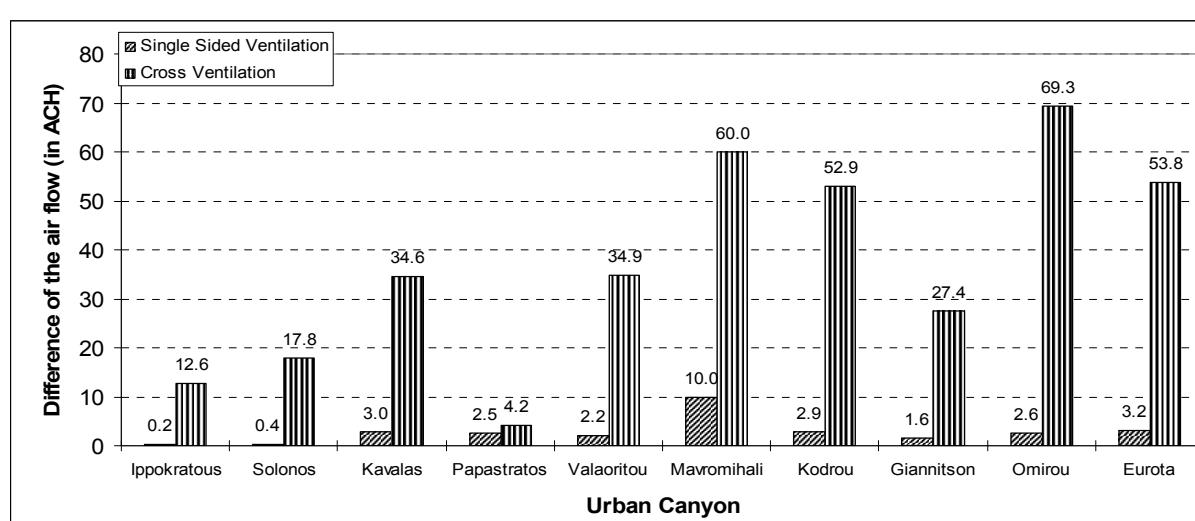


Figure 2: Réduction du taux de renouvellement d'air pour les bâtiments à ventilation par un seul côté (single sided) et transversale (cross) dans 10 canyons urbains (Geros et al, 2001).

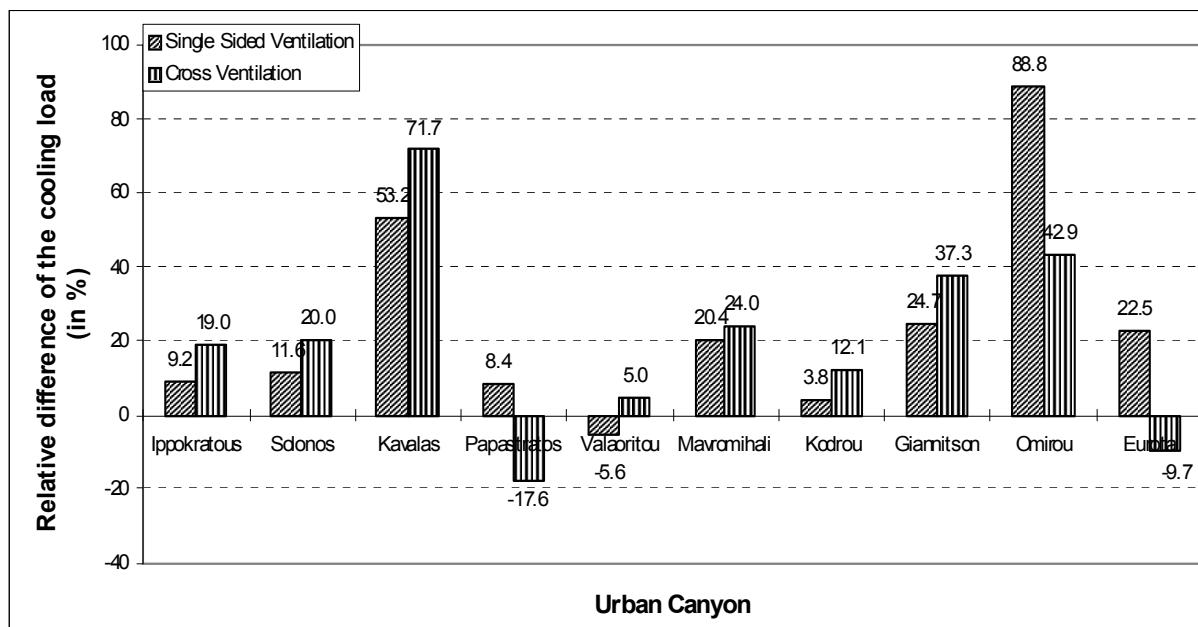


Figure 3: Différence de charge de refroidissement calculée pour un bâtiment ventilé la nuit situé dans un canyon et dans un endroit dégagé. L'analyse porte sur 10 canyons urbains où des expériences ont été menées. Les résultats sont donnés pour le bâtiment à ventilation par un seul côté (single sided) et transversale (cross).

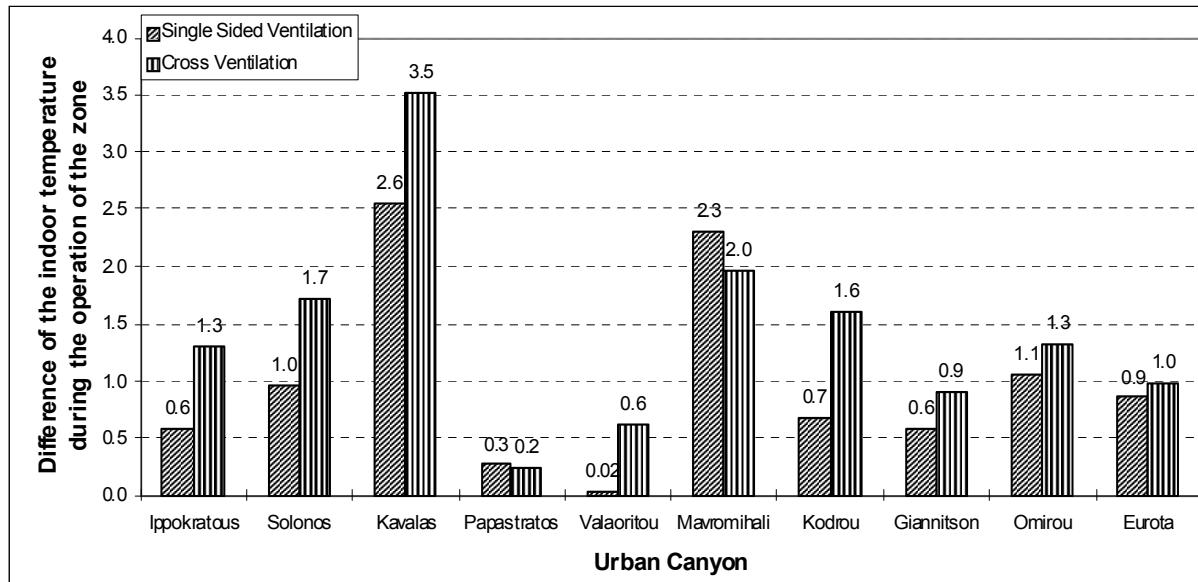


Figure 4: Différence de température d'air intérieur maximale calculée pour un bâtiment ventilé la nuit situé dans une canyon et dans un endroit dégagé. L'analyse porte sur 10 canyons urbains où des expériences ont été menées. Les résultats sont donnés pour le bâtiment à ventilation par un seul côté (single sided) et transversale (cross).

4 Performances attendues des techniques de ventilation nocturne

On a procédé à d'importantes recherches théoriques et expérimentales pour mieux comprendre les phénomènes, pour évaluer le refroidissement potentiel des techniques de ventilation nocturne et aussi pour élaborer des outils informatiques et des règles de conception.

Ces vastes recherches expérimentales sur les techniques de ventilation nocturne ont été présentées par Van der Maas et Roulet (1991), Agas et al. (1991), Geurra et al. (1992), Barnard N. (1994), Van der Maas et al. (1994), Hassid S. (1994), Santamouris et Assimakopoulos (1996), Givoni (1994, 1998), Blondeau et al. (1995, 2002), Ren (1995), Kolokotroni et al. (1996, 1997), Meierhans R A (1996), Santamouris et al. (1996), Behne (1997), Feustel H.E. et Stetiu C. (1997), Zimmerman et Anderson (1998), Geros et al. (1998), Dascalaki et Santamouris (1998), Aboul Naga et Abdrrabboh (1998), Burton (1998), Demeester et al. (1998), Wouters et al. (1998), Roucoult et al. (1999), Nicol et al. (1999), CEC (2000), Liddament (2000), Shaviv et al. (2000), Turpenny et al. (2000), Barnard et al. (2001), Blake Thomas (2001), Axley J W et Emmerich S J (2002), Herkel et al. (2002), Todorovich et al. (2002), Breesch et al. (2003).

Geros et al. (1999) ont effectué des mesures dans des immeubles de bureaux à ventilation nocturne climatisés et non climatisés à Athènes en Grèce. Ils ont trouvé que dans les bâtiments non climatisés cette technique permettait d'abaisser le pic de température diurne intérieure du jour suivant de 3 °C. Les résultats de l'analyse de sensibilité montrent que la réduction attendue des heures de surchauffe, varie entre 39% et 96% pour des débits d'air de 10 et 30 ACH respectivement (Figure 5). Dans les conditions de climatisation, la

température de l'air intérieur en début de matinée peut être réduite de 0.8 à 2.5°C en fonction de la consigne de température retenue. L'analyse de sensibilité a montré que dans des conditions de climatisation, la réduction attendue de consommation d'énergie varie entre 48% et 94% pour des débits d'air compris entre 10 et 30 ACH respectivement (Figure 6).

Behne (1996) a effectué une étude détaillée pour évaluer le potentiel des bâtiments à ventilation nocturne dans différentes conditions d'utilisation. L'étude a été réalisée pour Berlin, Locarno, Red Bluff et San Francisco. Il a étudié des bâtiments non climatisés à ventilation naturelle et mécanique et des bâtiments climatisés à ventilation mécanique. Comme l'indique le Tableau 3, avec une ventilation naturelle, la réduction de consommation varie entre 31 % pour San Francisco et 40 % pour Berlin, tandis que l'économie de puissance de pointe pour les bâtiments climatisés va de 9 % pour San Francisco à 30 % pour Berlin.

Kolokotroni et Aronis (1999) ont trouvé que dans les immeubles de bureaux climatisés du Royaume-Uni, il est généralement possible de réduire de 30 % la consommation d'énergie pour le refroidissement et de 40 % la capacité de refroidissement du système installé en utilisant la ventilation naturelle nocturne.

En conclusion, les techniques de ventilation nocturne peuvent contribuer à réduire nettement la charge de climatisation et à améliorer le niveau de confort des bâtiments non climatisés. La contribution exacte de la ventilation nocturne pour un bâtiment donné dépend des caractéristiques structurelles et de conception du bâtiment, des conditions climatiques et de l'emplacement du bâtiment, du débit de ventilation, de l'association efficace du flux d'air avec la masse thermique du bâtiment et des conditions d'utilisation.

Tableau 3: Réduction du pic de charge électrique d'un bâtiment en pourcentage pour les différentes stratégies de ventilation nocturne (de Behne, 1996).

		Berlin	Locarno	Red Bluff	San Francisco
Sans refroidisseur	VN naturelle	-40 ²⁾	-52 ¹⁾	-	-31
	VN mécanique	-38 ²⁾	-51 ¹⁾	-	-29
Avec refroidisseur	VN mécanique	-30	-28	0	-9

1) La température et l'humidité sont fréquemment en dehors de la plage de confort thermique

2) Le taux d'humidité de l'air intérieur pourrait excéder 60% pendant environ 200 h/a

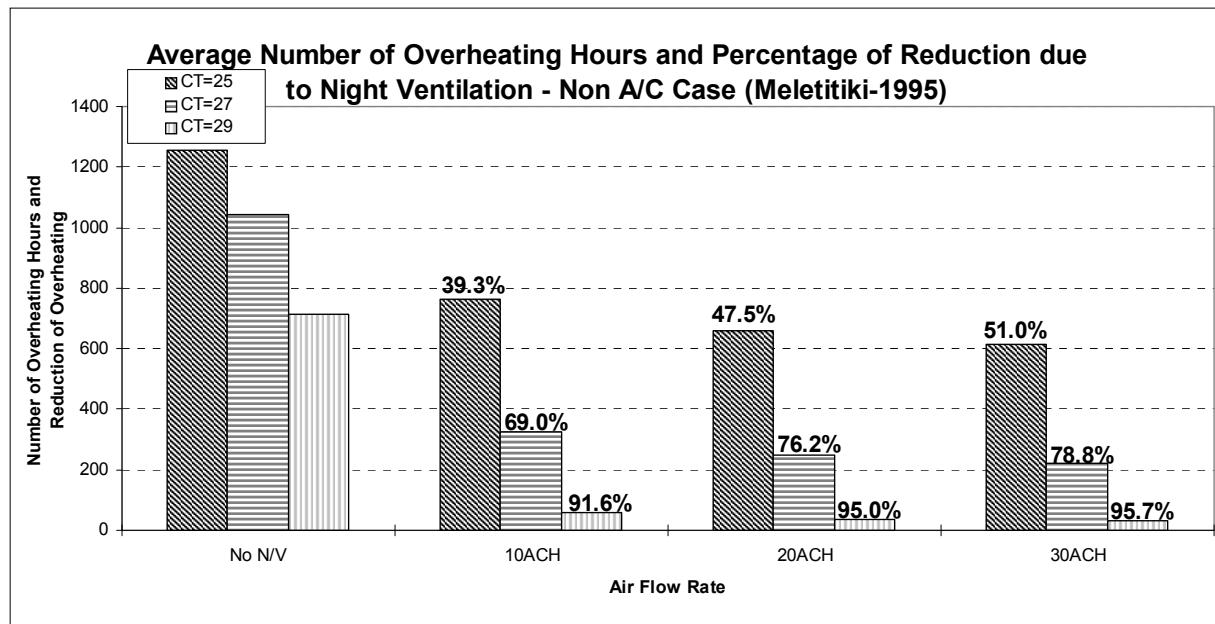


Figure 5: Moyenne du nombre d'heures de surchauffe et réduction de la surchauffe grâce à la ventilation nocturne dans le bâtiment Meletitiki à Athènes. On estime que le bâtiment fonctionne sans climatisation (Geros et al., 1999).

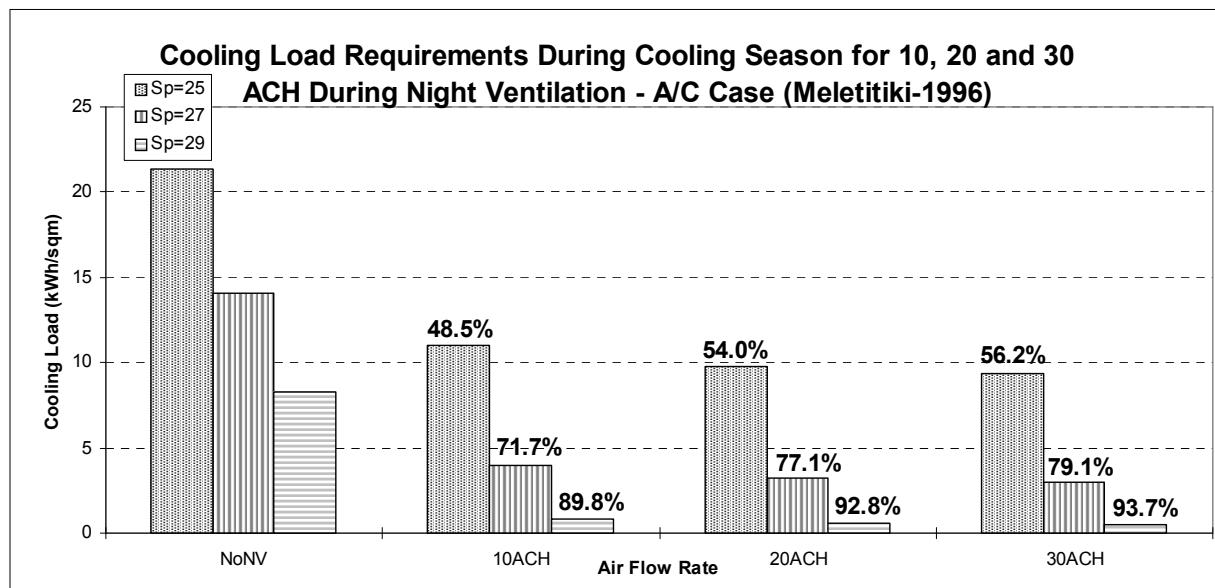


Figure 6: Réduction de la charge de refroidissement grâce à la ventilation nocturne dans le bâtiment Meletitiki à Athènes. On estime que le bâtiment fonctionne dans des conditions de climatisation (Geros et al., 1999).

5 Outils informatiques pour les techniques de ventilation nocturne

Une bonne conception des bâtiments à ventilation nocturne implique de prendre en compte tous les paramètres qui déterminent la performance énergétique du bâtiment. Une simulation détaillée en utilisant des logiciels éprouvés est la méthode la plus appropriée pour atteindre les meilleures performances possibles.

Plusieurs logiciels ont été élaborés pour calculer les performances spécifiques des techniques de ventilation nocturne. Ces outils sont conçus pour aider les architectes et les ingénieurs à envisager une manière plus simple mais précise de dimensionner les techniques de refroidissement nocturne. Quelques-uns de ces logiciels sont présentés ci-dessous.

NiteCool (Tindale et al., 1995) a été développé dans le cadre du Programme DOE de l'Energy Related Environmental Issues in Buildings (EnREI). Il est spécialement conçu pour évaluer différentes stratégies de ventilation nocturne. Le programme repose sur la ventilation d'une seule zone. Cet outil de conception simplifiée permet à l'équipe de conception d'explorer rapidement les effets de différents paramètres clés de performance et de veiller ainsi à la faisabilité de la conception de base eu égard à la stratégie retenue.

Millet (1997) a développé un modèle RC simplifié. Le modèle prend en compte l'inertie thermique du bâtiment et l'impact de la ventilation nocturne. Il tient compte de l'impact du bruit extérieur (en rapport avec l'ouverture des fenêtres la nuit). Ce modèle a été validé en comparant ses résultats à un modèle plus détaillé (TRNSYS) et a servi à émettre des lignes de conduite. Utilisés essentiellement pour les nouveaux bâtiments, ces outils pourront aussi servir pour les rénovations.

LESOCOOL est un outil informatique simple pour évaluer le potentiel de refroidissement par ventilation. Le petit nombre de variables à saisir et la convivialité du programme permettent à l'utilisateur de déterminer rapidement l'influence des principaux paramètres (Roulet et al., 1996). LESOCOOL calcule le refroidissement potentiel et les risques de surchauffe dans un bâtiment ventilé de façon naturelle ou mécanique en

montrant l'évolution de la température, le débit d'air et le transfert de chaleur par ventilation. Il peut aussi prendre en compte les apports de chaleur par convection ou rayonnement.

Santamouris et al. (1996) proposent une méthodologie détaillée pour calculer la performance de la ventilation nocturne dans des bâtiments climatisés ou non. La méthode repose sur le principe des Degrés Jours de Refroidissement Modifiés et il a fait l'objet d'une évaluation approfondie par rapport aux données théoriques et expérimentales. La méthode est intégrée dans l'outil de simulation SUMMER (Santamouris et al., 1995). Elle calcule la variation de la température du point d'équilibre d'un bâtiment climatisé ou non avec ventilation nocturne, ainsi que les heures de surchauffe et la charge de refroidissement. Il permet en outre de faire des comparaisons avec un bâtiment conventionnel climatisés ou non.

6 Études de cas

Des milliers de bâtiments sont conçus pour utiliser des techniques de ventilation nocturne. Quelques exemples sont présentés ci-dessous en bref. Les exemples choisis sont de vrais bâtiments qui n'ont pas été conçus à des fins expérimentales mais qui atteignent des performances exceptionnelles.

6.1 Le bâtiment Meletitiki – Athènes, Grèce

Il s'agit du bureau d'architectes de Meletitiki Ltd, A.N. Tombazis et Associés (Allard 1998). Le bâtiment a été construit en 1995. Le bâtiment est très original par sa conception et son aménagement intérieur. Le bâtiment offre une surface utile totale de 1000 m². Il comprend trois niveaux et un sous-sol. L'enveloppe du bâtiment utilise une structure lourde, constituée de murs extérieurs épais bien isolés. Toutes les ouvertures extérieures sont très bien protégées du soleil. Le bâtiment utilise des techniques de ventilation naturelle afin de prévenir la surchauffe en été. Des ventilateurs de plafond contribuent à améliorer le confort thermique. Le bâtiment utilise un refroidissement nocturne assisté mécaniquement. Le bâtiment est soumis à un monitoring important. On a constaté que sans climatisation, la ventilation nocturne abaisse le pic de température intérieur du jour suivant de 1 à 2°C. En tirant parti de la masse importante du bâtiment, cette stratégie contribue à retarder

l'heure de pic de charge de 4 à 5°C. Dans des conditions de régulation thermostatique, le bâtiment présente une très basse consommation énergétique pour le refroidissement qui ne dépasse pas 5 kWh/m² an.

6.2 Le bâtiment SD Worx à Courtrai (Belgique).

L'immeuble de bureaux situé à Courtrai en Belgique comprend deux étages en plus du rez-de-chaussée. Du côté sud, les étages sont reliés par une zone de circulation verticale ouverte. Un plafond en béton exposé assure une grande capacité thermique, qui réduit et postpose la charge de refroidissement. Deuxièmement, le bâtiment utilise un refroidissement passif. En journée, un échangeur de chaleur sol-air rafraîchit l'air frais de la ventilation. La nuit, l'air extérieur est admis dans les étages de bureaux par des grilles du côté nord, il refroidit le plafond exposé et sort du bâtiment en haut de la zone de circulation (Figure 8). Les performances du système sont indiquées par la Figure 9.

Le monitoring du bâtiment montre que la ventilation nocturne seule ou combinée avec un échangeur de chaleur sol-air procure un excellent confort thermique.

6.3 École Sofiendal au Danemark

Il s'agit d'un bâtiment à ventilation naturelle dans la banlieue de Copenhague au Danemark. Pour provoquer la ventilation et réaliser un flux d'air au travers des locaux, des fenêtres à commande motorisée sont installées dans le mur extérieur de chaque salle de classe. Le système domotique qui assure la sécurité et le confort thermique régule la ventilation nocturne en modulant la taille des ouvertures. La stratégie de refroidissement du bâtiment autorise l'utilisation de la ventilation naturelle seule pour des températures inférieures à 24°C, et l'utilise comme ventilation nocturne jusqu'à 19°C. On a recours à une assistance mécanique en fin de nuit uniquement pour accroître le refroidissement au cas où la ventilation naturelle ne refroidit pas suffisamment.



Figure 7: le bâtiment Meletitiki. (photo fournie par A.N. Tombazis)

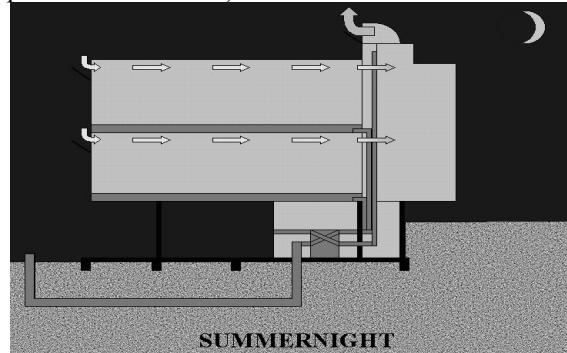


Figure 8: Fonctionnement nocturne du bâtiment SD Worx à Courtrai.

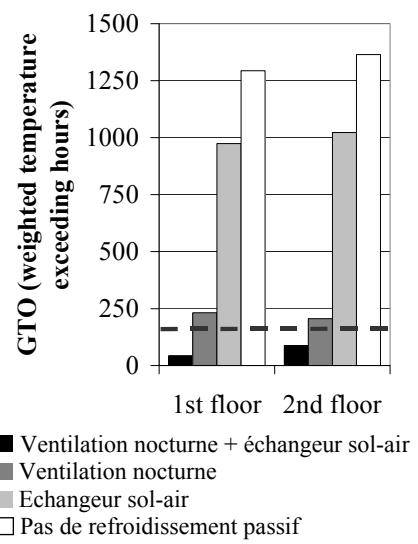


Figure 9: Nombre d'heures de dépassement de la température pondérée (GTO) du 15 mai au 30 septembre 2002 (TRY Uccle) avec l'occupation actuelle (Breesch et al., 2003)



Figure 10: École Sofiendal au Danemark

7 Références

- Aboul Naga M M, Abdrabboh S N : Improving night ventilation into low-rise buildings in hot-arid climates exploring a combined wall-roof solar chimney. Proceedings of "Renewable Energy: Energy Efficiency, Policy and the Environment", World Renewable Energy Congress V, 20-25 September 1998, Florence, Italy, edited by A A M Sayigh, Volume 3, pp 1469-1472, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 1998
- Adnot J. (Ed) : 'Energy Efficiency of Room Air-Conditioners', EERAC, study for the Directorate General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, Co-ordinator : May 1999.
- Agas G, Matsaggos T, Santamouris M, Argyriou A : On the use of the atmospheric heat sinks for heat dissipation. Energy and Buildings, No 17, 1991, pp 321-329,
- Allard F. (Ed) : 'Natural Ventilation of Buildings', James and James Science Publishers, London, UK, 1998.
- Axley J W, Emmerich S J : A method to assess the suitability of a climate for natural ventilation of commercial buildings. Proceedings of Indoor Air 2002 (9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate) - June 30 - July 5, 2002 - Monterey, California - vol 2, pp 854-859.
- Barnard N : Fabric energy storage of night cooling. Proceedings of CIBSE National Conference 1994, held Brighton Conference Centre, 2-4 October 1994, Volume 1, pp 88-100.
- Barnard N, Concannon P and Jaunzens D, Modelling the performance of thermal mass, BRE Information Paper IP 6/01, Garston, Construction Research Communications Ltd, 2001
- Behne M. : 'Alternatives to Compressing Cooling in Non Residential Buildings to Reduce Primary Energy Consumption, Deutsche For-schungsgemeinschaft (DFG) and the U.S. Department of Energy, May 1996
- Blake Thomas G : Thermal mass storage and energy saving using underfloor air conditioning. Proceedings of the 7th REHVA World Congress and Clima 2000 Naples 2001 Conference, held Naples, Italy, 15-18 September 2001, Italy
- Blondeau, M. Sperandio, F. Allard : "Night Accelerated Ventilation for Building Cooling in Summer". Proceedings of the International Conference on Passive Cooling of Buildings, M. Santamouris (Ed), Athens, 1995.
- Blondeau P, Sperandio M, Allard F : Multicriteria analysis of ventilation in summer period. Building and Environment, No 37, 2002, pp 165-176.
- Breesch H, A. Bossaer, A. Janssens : Passive Cooling in a Low Energy Office Building', Sub-mitted for Publication, Solar Energy Journal, 2003
- Burton S : Energy comfort 2000 - the application of low energy technologies to seven new non-domestic buildings. Proc of EPIC '98, Volume 2, pp 473-478, 1998.
- California Energy Commission : 'Alternatives to Compressor Cooling', P600-00-003, January 2000.
- Dascalaki and M. Santamouris : 'The Meletitiki Case Study Building', In 'Handbook on Natural Ventilation of Buildings', F. Allard, (Ed), James and James Science Publishers, London, UK, 1998.
- Demeester J, Wouters P, Ducarme D. : Natural ventilation in office-type buildings - results and conclusions of monitoring activities. Proceedings of "Ventilation Technologies in Urban Areas", 19th Annual Conference, held Oslo, Norway, 28-30 September 1998, pp 407-413.
- International Institute of Refrigeration, (IIR) : 'Industry as a Partner for Sustainable Development – Refrigeration', 2002.
- Feustel, H.E.; Stetiu, C. : Thermal Performance of Phase Change Wallboard for Residential Cooling Application LBL-Report 38320, 1997, LBL, Berkeley, California
- Geros V. 'Ventilation Nocturne. Contribution a la reponse thermique des batiments', Ph. D. Thesis, INSA Lyon, 1998.
- Geros V., M. Santamouris, A. Tsangrassoulis and G. Guaraccino : 'Experimental Evaluation of Night Ventilation Phenomena'. J. Energy and Buildings, 29, 141-154, 1999
- Geros V, Santamouris M, Papanikolaou N and Guaraccino G. : 'Night Ventilation in Urban Environments', Proc. AIVC Conference, Bath, UK, 2001.

Geurra J, Molina J L, Rodriguez E A, Velazquez R : Night ventilation in industrial buildings: a case study. Proc of the Conference 'Indoor air quality, ventilation and energy conservation, 5th International' Jacques Cartier Conference, Montreal, Canada, October 7-9, 1992, Publisher: Center for Building Studies, Concordia University, Montreal, Canada, pp 476-483.

Givoni B. : 'Passive and Low Energy Cooling of Buildings', Van Norstrand Reinhold, 1994

Givoni B : Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part 1: 1993 experimental periods. Energy and Buildings, No 28, 1998, pp 25-32.

Hassid S : Evaluation of passive cooling strategies for Israel. Proceedings of 11th PLEA International conference, "Architecture of the Extremes", held 3-8 July 1994, Dead Sea, Israel, 162-169. Israel, The Desert Architecture Unit, J Blaustein Institute for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, 1994, edited by Y Etzion, E Erell, I A Meir and D Pearlmuter.

Herkel S., Pfafferott J., Wambsgani M. : Design, monitoring and evaluation of a low energy office building with passive cooling by night ventilation. Proceedings of EPIC 2002 AIVC (3rd European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings and 23rd Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre) - 23-26 October 2002 - Lyon - France - vol 2, pp 487-492.

Kolokotroni M, Webb B C, Hayes S D : Summer cooling for office-type buildings by night ventilation. Proc of the 17th AIVC Conference, "Optimum Ventilation and Air Flow Control in Buildings", Volume 2, held 17-20 September 1996, Gothenburg, Sweden, pp 591-599.

Kolokotroni, A. Tindale and S.J. Irving : "Nite-Cool: Office Night Ventilation Pre-Design Tool". 18th AIVC Conference - Ventilation and Cooling. 23rd-26th September 1997, Athens, Greece.

Kolokotroni M and Aronis A, Cooling-energy reduction in air-conditioned offices using night ventilation, Applied Energy 63 (1999), 241-253

JARN and JRAIA, Japan Air Conditioning and Refrigeration News and Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association : 'Air Conditioning Market', 2002

Liddament M W : Making ventilation work for cooling. Proceedings of "Renewable Energy. : The Energy for the 21st Century. World Renewable Energy Congress VI", edited by A A M Sayigh, held 1-7 July 2000, Brighton, UK, Part 1, pp 420-425, Pergamon, 2000.

Meierhans R A : Room air conditioning by means of overnight cooling of the concrete ceiling. USA, Ashrae Transactions, Vol 102, Pt 1, 1996.

Millet J R : Summer comfort in residential buildings without mechanical cooling. Proceedings of the Second International Conference on Buildings and the Environment, held Paris, June 9-12 1997, Volume 1, pp 307-315.

Nicol F, Robinson P, Kessler M R : Using night cooling in a temperate climate. proceedings of "Environmentally friendly cities", PLEA 98 (Passive and Low Energy Architecture) conference, held Lisbon, Portugal, June 1998, pp 467-470, James and James Science Publishers, London, UK.

OECD : Fighting Noise in the 1990's. OECD, Paris, 1991.

Ren J. : Night Ventilation for Cooling Purposes Part I : Reference Building and Simulation Model IBPSA, 4. International Conference in Madison, Wisconsin, 1995

Roucoult J M, Douzane O, Langlet T : Incorporation of thermal inertia in the aim of installing a natural night time ventilation system in buildings. Energy and Buildings, No 29, 1999, pp 129-133.

Roulet C A, van der Maas, Flourentzos F : A planning tool for passive cooling of buildings. Proceedings 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, July 21-26 1996,

Santamouris, V. Geros, N. Klitsikas and A. Argiriou : "Summer : A Computer Tool For Passive Cooling Applications". Proceedings of the International Symposium : Passive Cooling of Buildings. M. Santamouris (Ed), 19th-20th June 1995, Athens, Greece.

Santamouris M and Assimakopoulos D. (Eds) : 'Passive Cooling of Buildings', James and James Science Publishers, London, UK, 1996.

Santamouris M, Mihalakakou G, Argirou A, Assimakopoulos D : The efficiency of night ventilation techniques for thermostatically controlled buildings. *Solar Energy*, Vol 56, No 6, 1996, pp 479-483.

Shaviv E, Capeluto I G, Yezioro A : A simple design tool for determining the effectiveness of thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. *proceedings of Roomvent 2000, "Air Distribution in Rooms: Ventilation for Health and Sustainable Environment"*, held 9-12 July 2000, Reading, UK, Volume 2, pp 881-886, Elsevier, 2000.

Stanners D. and Bourdeau P. (Editors) : 'Europe's Environment - The Dobris Assessment'. European Environmental Agency, Denmark, 1995.

Tindale A W, Irving S J, Concannon P J, Kolokotroni M : Simplified method for night cooling. *CIBSE*, 1995, National Conference '95, Eastbourne, 1-3 October 1995, Volume 1, pp 8-13.

Todorovic B., Randjelovic I., Krstic A. : Air pressure - A potential force for night cooling of atrium buildings. *Proceedings of EPIC 2002 AIVC (3rd European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings and 23rd Conference of the Air Infiltration*

and Ventilation Centre) - 23-26 October 2002 - Lyon - France - vol 2, pp 393-398.

Turpenny J R, Etheridge D W, Reay D A: Novel ventilation cooling system for reducing air conditioning use in buildings. *Proceedings of Roomvent 2000, "Air Distribution in Rooms: Ventilation for Health and Sustainable Environment"*, held 9-12 July 2000, Reading, UK, Volume 2, pp 875-880, Elsevier, 2000.

Van der Maas J., Roulet C.-A : "Night time ventilation by stack effect". *ASHRAE Technical Data Bulletin Vol 7, Number 1, Ventilation and Infiltration*, p.p.32-40, NY January 1991

Van der Maas J, Florentzos F, Rodriguez J-A, Jaboyedoff P.: Passive cooling by night ventilation. *Proc. European Conference on Energy Performance and Indoor Climate*, Lyon, 24-26 November 1994.

Wouters P, Demeester J, Ducarme D, Kofoed P, Zucchetti E : Overview and synthesis of the monitoring activities carried out in the framework of the NatVent EC Joule Project. *Proc of EPIC '98*, Volume 3, pp 958-963, 1998

Zimmerman M., and J. Andersson : 'Low Energy Cooling – Case Study Buildings', Inter-national Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex 28 Final Report, 1998.

Version originale en anglais

Traduction française financée par le Service Public de Wallonie DGO4



et par le CSTC

Le Centre de la Ventilation et des Infiltrations d'Air est régi par l'annexe V du décret d'exécution de l'ECBCS de l'Agence Internationale de l'Energie. L'AIVC a pour principal objectif de fournir un forum technique et d'information international de grande qualité dans le domaine de la ventilation et de l'infiltration d'air dans les environnements bâties portant sur l'efficacité énergétique, la qualité de l'air intérieur et le confort thermique. Cette initiative a pour principale motivation de répondre aux préoccupations nationales et internationales dans le domaine du développement durable, des changements climatique et de la salubrité des bâtiments.

L'Air Infiltration and Ventilation Centre est subventionné par les sept pays suivants : la Belgique, la République Tchèque, la France, la Grèce, les Pays-Bas, la Norvège et les États-Unis d'Amérique.