

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 122 (1996)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Pour un bon confort d'été: le refroidissement passif  
**Autor:** Roulet, Claude-Alain / Maas, Hendricus van der / Flourentzos, Flourentzou  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78873>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Pour un bon confort d'été: le refroidissement passif

Par  
Claude-Alain Roulet,  
Jacobus Van der Maas  
et Florentzou  
Flourentzos  
LESO-PB, ITB EPFL  
1015 Lausanne  
http://  
lesowwww.epfl.ch/

*Le refroidissement passif des bâtiments est une stratégie qui permet, sous certaines conditions, d'améliorer le confort estival tout en diminuant les besoins en énergie pour le refroidissement. Les conditions à satisfaire se situent d'une part au niveau du bâtiment, notamment en ce qui concerne la protection solaire, les ouvertures de ventilation, l'isolation et l'inertie thermiques de la construction, les gains internes, l'orientation du bâtiment et le climat, et de l'autre au niveau des règlements, des exigences en matière de sécurité et des attentes des habitants.*

*Un modèle de calcul simple permet le dimensionnement des ouvertures assurant une ventilation adéquate ainsi qu'une évaluation de l'énergie de refroidissement et du climat intérieur obtenu par la ventilation.*

## Confort et énergie

La fonction essentielle d'un bâtiment est d'assurer le confort de ses occupants. La technologie actuelle permet de répondre à des exigences de plus en plus élevées et les habitants supportent de moins en moins, et avec raison, d'occuper des locaux inconfortables.

Certaines techniques permettent d'assurer une température parfaitement constante tout au long de l'année, mais elles s'avèrent souvent coûteuses et très gourmandes en énergie. Il n'est en outre pas certain que le confort idéal requière une température constante : des variations des paramètres de confort sont souvent agréables, pour autant qu'elles restent relativement faibles.

Un peu partout en Europe, le marché des installations de conditionnement d'air est en pleine croissance, et la quantité d'énergie utilisée pour le refroidissement des bâtiments a fortement augmenté ces dernières années. Pour freiner cette tendance tout en apportant aux usagers le confort qu'ils sont en droit d'attendre, il importe de recourir dans la mesure du possible à des méthodes de refroidissement plus naturelles.

En Suisse, il y a une certaine volonté politique de freiner la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. Une justification des besoins de refroidissement ou de climatisation a été récemment introduite dans les recommandations SIA [1]<sup>1</sup>. Des méthodes de

planification et de conception facilitant l'usage du refroidissement passif deviennent donc indispensables.

## Principe du refroidissement passif

Le refroidissement passif consiste à mettre à profit tout phénomène abaissant la température intérieure sans consommer d'énergie. En premier lieu, on cherche à réduire les gains de chaleur solaires et internes, en utilisant à bon escient des protections solaires efficaces et en évitant d'utiliser des appareils à faible rendement.

Dans la mesure où le climat le permet, on évacue l'excédent de chaleur en ventilant fortement. Cette technique d'usage général est applicable dans tout type de bâtiment (lourd ou léger), mais ne fonctionne que lorsque la température extérieure est plus basse que la température de confort.

Si ce n'est pas le cas, on peut appliquer le refroidissement passif par ventilation nocturne. Celui-ci consiste à refroidir la structure du bâtiment à l'aide de la ventilation naturelle, de manière à permettre

à cette structure d'accumuler la chaleur générée dans le bâtiment pendant la journée. Il comprend donc deux périodes : la période de refroidissement et la période de protection.

### Période de refroidissement

Tant que la température extérieure est inférieure à la température intérieure (en général pendant la nuit), des ouvertures sont pratiquées dans le bâtiment de manière à permettre à l'air chauffé par la structure du bâtiment de s'échapper et à l'air frais extérieur de s'infiltrer. Le bâtiment est ainsi aéré et refroidi pendant cette période.

### Période de protection

Tant que la température de l'air extérieur est plus élevée que celle de l'air intérieur, la ventilation est réduite au minimum nécessaire pour assurer une bonne qualité de l'air. Les gains de chaleur résiduels chauffent le bâtiment mais, la structure étant froide et massive, ce réchauffement est relativement lent. Dans de bonnes conditions, on évite de dépasser les limites d'un bon confort thermique.

Le refroidissement passif par ventilation nocturne permet généralement d'atteindre des températures plus basses ou d'éliminer plus de chaleur que la ventilation diurne (fig. 2). Il n'est cependant applicable qu'aux bâtiments ayant une inertie thermique suffisante.

### L'aération des bâtiments

Le mouvement de l'air dans les bâtiments résulte de trois forces de grandeurs comparables : le vent,

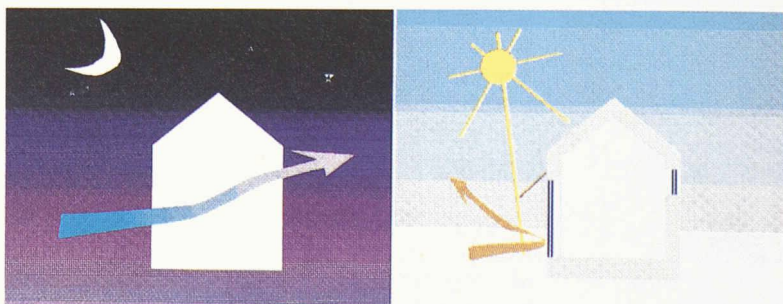


Fig. 1. - Les deux périodes du refroidissement passif : à gauche, période de refroidissement, à droite, période de protection

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



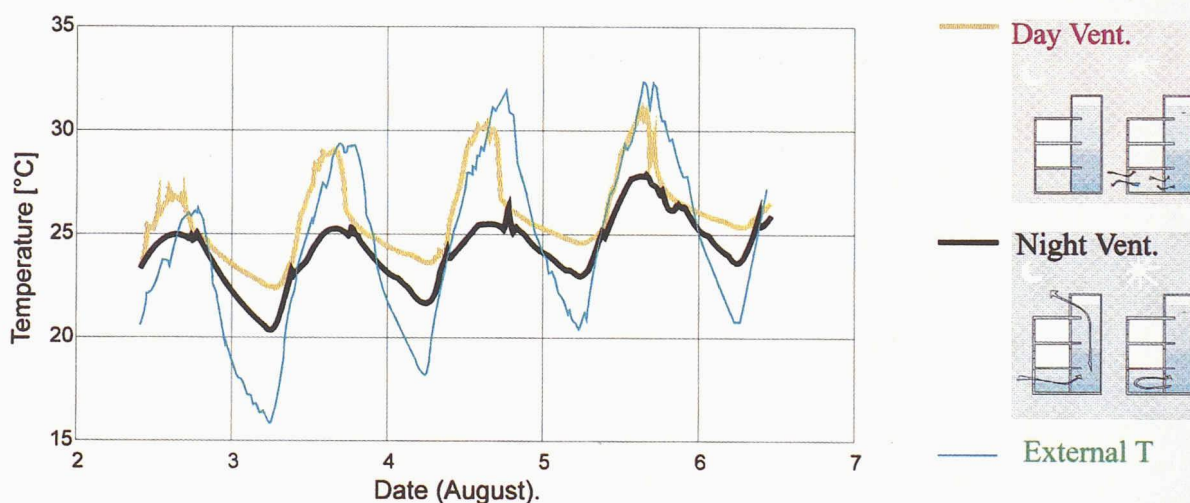


Fig. 2.- Température dans deux bureaux identiques. L'un est aéré pendant la journée, l'autre pendant la nuit. L'abaissement de la température maximale dépasse 4 degrés ! La ligne fine est la température extérieure.

l'effet de cheminée et, le cas échéant, les ventilateurs mécaniques.

Le vent faisant souvent défaut pendant la canicule, l'effet de cheminée devient prépondérant. Il fonctionne comme suit : la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur donne à l'air des densités différentes. Il en résulte une différence de pression qui force l'air chaud intérieur à sortir par le haut du bâtiment et l'air froid extérieur à entrer par le bas. Le niveau de séparation entre ces deux courants, vers lequel la différence de pression est nulle, est le niveau neutre. La position de ce niveau neutre est essentielle au bon refroidissement du bâtiment : idéalement, il doit être au-dessus du local à refroidir le plus élevé. Cette position dépend de l'emplacement et de la taille des ouvertures. C'est pourquoi il est impor-

tant que des ouvertures de taille convenable soient disposées aux endroits adéquats.

#### Règles de conception pour le refroidissement passif

L'utilisation de la ventilation pour abaisser la température intérieure et diminuer les besoins en réfrigération ne peut fonctionner que si certaines conditions sont satisfaites. Notons que cela n'est pas toujours possible pour des bâtiments existants qui n'ont pas été conçus à cet effet. Ces conditions sont énumérées ci-dessous.

##### Conditions générales

1. Les gains de chaleur doivent être limités de manière à éviter la surchauffe et à ne pas dépasser la quantité de chaleur qu'il sera possible d'évacuer pendant la période de refroidissement suivante. Cela signifie :

- la présence et l'utilisation adéquate de protections solaires efficaces, donc extérieures,
- un équipement (machines, éclairage, etc.) à faible consommation d'énergie,
- la généralisation de l'éclairage naturel, contrôlé par des dispositifs rejetant la lumière en excès à l'extérieur du bâtiment.

Si les gains sont trop importants pour assurer le confort par la seule ventilation naturelle, il est

possible d'assister celle-ci par un refroidissement artificiel.

2. La température extérieure moyenne, sur 24 heures, ne doit pas être trop élevée.
3. Le climat doit être tel que la déshumidification de l'air ne soit pas nécessaire. Plus précisément, le point de rosée de l'air extérieur doit rester inférieur à la température minimale de cet air. Il est en effet inconfortable d'avoir une humidité relative supérieure à 60 % si la température est élevée.
4. Pour le refroidissement par ventilation nocturne, l'amplitude des variations circadiennes<sup>2</sup> de la température de l'air extérieur doit être importante (5 degrés au minimum).

Ces conditions sont facilement remplies en Suisse, en tous cas au nord des Alpes.

##### Règles de construction pour l'inertie thermique

1. Pour des locaux qui ne sont occupés que la nuit, une faible inertie thermique est avantageuse, car elle permet un abaissement rapide de la température ambiante.
2. Par contre, pour des locaux occupés de jour, l'inertie thermique du local doit être grande.



Fig. 3.- Position du niveau neutre

<sup>2</sup> ou nycthémérales (jour/nuit)



Elle est maximale si un matériau dense (béton, maçonnerie) d'au moins 10 cm d'épaisseur est apparent sur toutes les parois (plafond, plancher, murs). Des épaisseurs trop grandes (plus de 20 cm depuis la surface) sont en revanche inutiles.

3. Il convient de limiter autant que possible les surfaces recouvertes de matériau isolant (faux plafonds, moquettes, lambrissages, tapisseries épaisses). Il faut toutefois tenir compte des exigences acoustiques et esthétiques, une solution de compromis consistant à laisser apparente une partie importante (au moins 50 %) de la structure massive.
4. Une isolation suffisante doit être placée à l'extérieur. Il importe en effet que la masse intérieure de la paroi ne soit pas chauffée de l'extérieur. Ce critère est satisfait pour les murs doubles ou à isolation extérieure, si le coefficient de transmission thermique  $K$  est conforme aux exigences actuelles pour la protection thermique d'hiver.

Une bonne inertie thermique est nécessaire pour obtenir une température diurne confortable par refroidissement nocturne. La structure du bâtiment doit accumuler la chaleur produite le jour, sans augmenter sa température de manière notable, et la surface de la structure ainsi chauffée doit être suffisante pour permettre un refroidissement rapide la nuit.

Il est avantageux de répartir la capacité de stockage sur toutes les surfaces de la structure. A contrario, il est erroné de concentrer cette masse sur un seul élément épais. Ce n'est donc pas la masse par mètre carré de plancher qui est déterminante, mais la masse par mètre carré de surface en contact avec l'air intérieur.

Si la capacité de stockage dans la structure est suffisante, on peut utiliser des façades légères, mais bien isolées [2].

#### Règles de construction concernant la ventilation

Plusieurs configurations sont possibles pour la ventilation nocturne (fig. 4). Les ouvertures de ventilation doivent être correctement dimensionnées et leur position doit être adaptée à la configuration prévue.

1. Le haut des ouvertures assurant la ventilation dans chaque local doit se situer le plus haut possible. En effet, pour un transfert de chaleur maximal avec les parois, la surface d'échange convective doit être la plus grande possible (fig. 5).
2. Les ouvertures doivent être orientées autant que possible de façon à ce que les entrées d'air soient exposées au vent dominant en période de refroidissement et que les sorties d'air se trouvent sous le vent.
3. Si le volume à ventiler est d'une faible hauteur, il faut favoriser la ventilation naturelle traversante.

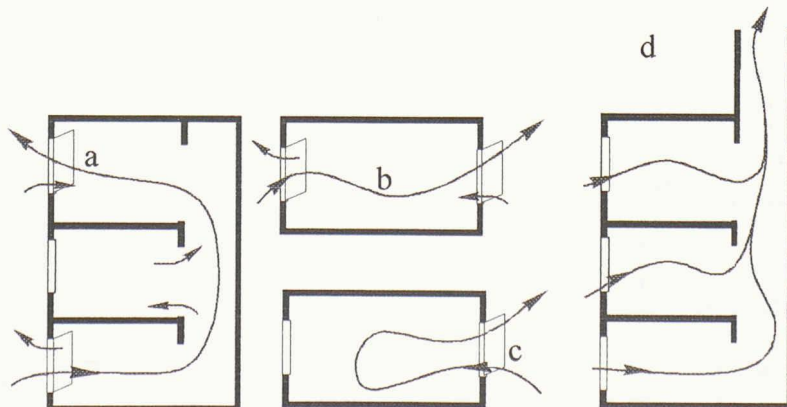


Fig. 4. - Configurations de ventilation naturelle: a) ventilation à deux ouvertures; b) ventilation traversante; c) ventilation à ouverture unique; d) ventilation avec cheminée

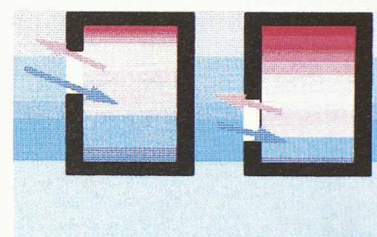


Fig. 5. - Au-dessus du haut de l'ouverture, l'air chaud piégé est à la température des parois et aucun échange convectif ne peut avoir lieu.

sante. Si cela n'est pas possible, les ouvertures doivent comprendre deux éléments semblables séparés par une distance verticale maximale.

4. Pour un bâtiment à plusieurs niveaux, les sorties d'air doivent être beaucoup plus grandes que les entrées et se situer le plus haut possible dans l'immeuble. Il faut en effet éviter que l'air préchauffé par le bas du bâtiment sorte par les locaux habités supérieurs. Le rapport entre la surface des ouvertures d'entrée et de sortie doit être calculé de façon à ce que le niveau neutre se situe au-dessus du dernier niveau ventilé.
5. Une surélévation du bâtiment facilite la construction des grandes sorties d'air. S'il n'est pas possible de satisfaire cette condition, on peut ventiler le niveau supérieur indépendamment, ou l'équiper d'un ventilateur d'extraction (fig. 6).
6. Si la ventilation mécanique est utilisée pour le refroidissement passif, le ventilateur doit fonctionner de préférence en extraction, pour éviter d'échauffer l'air.
7. Il n'est pas possible d'utiliser une installation de ventilation mécanique à double flux à haute pression pour le refroidissement passif.

#### Règles de sécurité

1. Prévoir des protections contre les tempêtes, telles que des auvents et avant-toits, des ouvrants à fermeture automatique ou des vannes et autres ouvertures laissant passer l'air sans laisser entrer la pluie.
2. Savoir qu'il est pratiquement impossible d'éviter la pénétration de bruit et de contaminants par les grandes ouvertures requises pour la ventilation naturelle. La façade double peau offre des possibilités limitées.



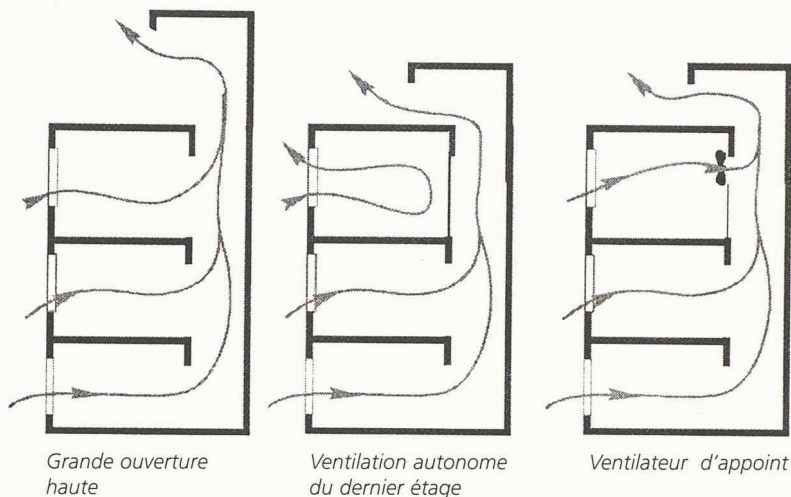


Fig. 6.- Moyens disponibles pour refroidir les derniers étages. Voir aussi fig. 4 d

Toutefois, si l'environnement est trop bruyant ou trop contaminé, on examinera la possibilité de construire ailleurs ou d'utiliser la ventilation mécanique ou d'autres moyens de refroidissement, tels qu'une structure refroidie ou des panneaux radiants (par ex. plafonds froids).

3. Diminuer les risques d'effraction en plaçant les ouvertures hors de portée et en multipliant de petites ouvertures. L'installation de stores à lamelles, de moustiquaires, de grilles et de systèmes d'alarme doit aussi être envisagée.
4. Veiller à satisfaire les règles de protection incendie. En particulier, automatiser la fermeture en cas d'incendie des ouvertures de ventilation placées dans des parois coupe-feu. Les exutoires de fumée peuvent être utilisés comme ouvertures de ventilation, mais doivent pouvoir être manœuvrés depuis un endroit facilement accessible en cas d'incendie. L'air de refroidissement peut être transporté dans les couloirs et escaliers, mais ces flux d'air doivent être bloqués en cas d'incendie.

#### Règles de comportement

Les meilleures mesures prises lors de la construction risquent d'être inutiles sans un comportement approprié, qui ne peut être obtenu des occupants qu'au moyen d'une information claire et répétée. Les deux points importants sont les suivants.

1. Il est essentiel que les protections solaires soient utilisées.
2. Un refroidissement efficace n'est atteint que si les ouver-

tures de ventilation sont fermées pendant la journée et ouvertes la nuit.

#### LESOCOOL

Pour réaliser un bâtiment qui profite efficacement du refroidissement nocturne, il faut comprendre les liens qui existent entre la ventilation, les transferts de chaleur et la distribution des masses dans le bâtiment.

On trouve de nombreux modèles aéro-thermiques pour la simulation de bâtiments dans la littérature [3]. Toutefois, ces modèles nécessitent souvent de nombreuses données d'entrée, sans pour autant être plus précis que des modèles simples, mais spécifiquement adaptés au refroidissement et validés par comparaison avec des résultats expérimentaux.

LESOCOOL est un logiciel convivial, tournant sous le système Windows® 3.1 ou supérieur, qui permet d'évaluer :

- les risques de surchauffe et le

potentiel de refroidissement par ventilation naturelle, 421

- le débit de ventilation au travers de fenêtres ouvertes, en l'absence de vent.

Ce logiciel est basé sur un modèle dynamique simple, [4, 5, 6] et a été comparé avec des mesures sur bâtiment [7]. Il est fondé sur les principes de conservation de l'énergie et de la masse (fig. 8). La température de chaque zone découle du bilan énergétique entre l'énergie perdue par ventilation d'une part, et les gains internes et les échanges avec la structure du bâtiment d'autre part. Le débit d'air de ventilation est déterminé à l'aide de l'équation de Bernoulli, qui est aussi un bilan énergétique le long d'une ligne de courant. Enfin, la position du niveau neutre est déterminée par conservation de la masse d'air contenue dans le bâtiment.

#### Que peut faire LESOCOOL ?

LESOCOOL peut calculer le potentiel de refroidissement, l'évolution de la température et du débit d'air dans un bâtiment ventilé naturellement ou mécaniquement [8]. Le programme tient compte séparément des gains de chaleur convectifs et radiatifs.

Le modèle à une zone suffit dans la plupart des cas. Toutefois, un modèle multizone [7] est disponible pour l'étude de l'évolution de

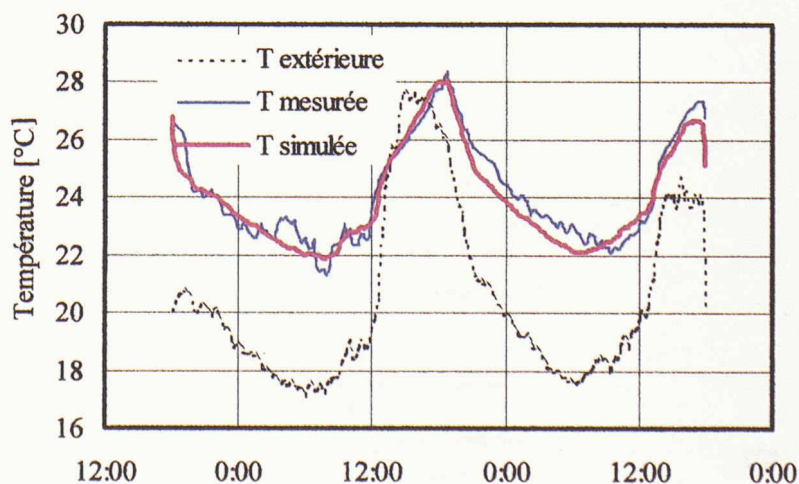


Fig. 7.- Comparaison de mesures avec les calculs, pour le cas d'un bureau de construction mi-lourde, avec une fenêtre



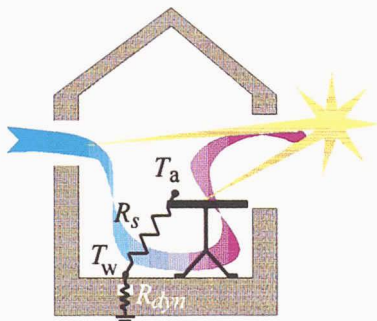


Fig. 8.- Modèle à la base de LESOCOOL. L'air intérieur échange de l'énergie avec le courant d'air et les parois, et reçoit les gains convectifs. Les gains radiatifs sont directement attribués aux parois.

la température le long du parcours de l'air. Ce modèle reste toutefois restreint aux zones disposées en série où le parcours de l'air est simple, sans branchements.

#### Peu de paramètres d'entrée

Le point fort de LESOCOOL est qu'avec très peu de paramètres d'entrée, il détermine les bonnes tendances et les paramètres dominants. Les données requises sont la surface de paroi et les caractéristiques thermiques de la première couche intérieure, les dimensions et la position des ouvertures, l'horaire des gains thermiques, la stratégie de ventilation et la température extérieure.

Son interface *Windows*® ainsi que le petit nombre de paramètres d'entrée en fait un programme convivial et facile à utiliser. Il a deux couches d'interface, une première couche pour les études usuelles et une couche professionnelle avec plus de possibilités de varier des paramètres. L'utilisateur peut facilement basculer d'une interface à l'autre.

#### Exemples de cas typiques résolus avec LESOCOOL

- Un bâtiment administratif situé à Lausanne et de construction relativement légère, a de sérieux problèmes de surchauffe estivale. LESOCOOL a montré que la pose de protections solaires, en combinaison avec une ventilation de nuit, suffiraient pour éviter les surchauffes.

- Pour les nouveaux locaux d'une école professionnelle, LESOCOOL a prédit le climat dans les ateliers et il a déterminé où la pose de protections solaires est nécessaire. Il a aussi permis de dimensionner les ouvrants des classes pour permettre une aération suffisante.
- Pour les jeux olympiques de 1994, 4000 spectateurs assistaient au tournoi de hockey sur glace dans la halle de Gjøvik, d'un volume de 110 000 m<sup>3</sup> creusés dans la montagne. Les températures calculées avec LESOCOOL sont en très bon accord avec celles mesurées sur place ou celles calculées par d'autres programmes beaucoup plus complexes [9, 10].

#### LESOCOOL ne peut pas...

LESOCOOL n'est pas un programme de simulation thermique détaillé, mais il permet une rapide étude paramétrique des risques de surchauffe et du potentiel de refroidissement par ventilation. Il ne tient compte que des paramètres importants pour ces phénomènes. Il ne saurait simuler des parois minces ou multicouches et la période de simulation ne peut excéder quelques jours.

#### Conclusions

Le refroidissement passif permet d'assurer sous nos climats, un excellent confort estival, pour autant que certaines règles de dimensionnement et de comportement soient respectées.

Développé à l'intention des architectes et ingénieurs pour faciliter l'application de cette stratégie, le logiciel LESOCOOL peut être obtenu auprès des auteurs [11].

#### Bibliographie

- [1] Recommandation SIA V 382/3, 1992. Preuve des besoins pour les installations de ventilation et de climatisation
- [2] ROULET, C.-A.; VAN DER MAAS, J.; FLOURENTZOU, F.: « Application of Passive Convective Cooling to Buildings », Indoor Air '96 Nagoya, 1996

- [3] KENDRICK J.: « An overview of combined modelling of heat transport and air movement », 1993, *Technical Note AIVC 40*, Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry CV4 7EZ, GB.
- [4] VAN DER MAAS J., ROULET C.-A.: « Ventilation and Energy loss rates after opening a window », *Air infiltration review*, 11, N° 4, 1990, pp 12-15
- [5] VAN DER MAAS, J ET ROULET C.-A.: « Aspects énergétiques de la ventilation par ouvertures des fenêtres », 6. Status seminar « Energieforschung im Hochbau », Zurich, 1990
- [6] VAN DER MAAS, J. AND ROULET C.-A.: « A simple model for the estimation of potential cooling by nighttime ventilation », PLEA Conference, Sevilla, 1991
- [7] VAN DER MAAS, J. AND ROULET C.-A.: « Multizone cooling model for calculating the potential of night time ventilation », Proc. 14th AIVC Conference, Copenhagen, Denmark, 1993
- [8] ROULET, C.-A.; VAN DER MAAS, J.; FLOURENTZOU, F.: « A Planning Tool for Passive Cooling of Buildings » Indoor Air '96, Nagoya, 1996
- [9] VAN DER MAAS, J.; KOLSAKER, K.: « Simple design tools applied to an underground stadium and compared with indoor climate measurements », Roomvent '96 Yokohama, 1996
- [10] SCHAELEIN, A.; MOSER, A.; VAN DER MAAS, J.; AIULFI, D.: « Application of air flow models as design tools for atria », Roomvent '96 Yokohama, 1996
- [11] FLOURENTZOU F., VAN DER MAAS J. AND ROULET C.-A.: « LESOCOOL 1.0, Thermal simulation program for buildings; a tool for the evaluation of the risk of overheating and the potential of cooling through ventilation », LESO, EPFL, CH-1015 Lausanne