

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 121 (1995)
Heft: 18

Artikel: Simulations de températures estivales dans les locaux
Autor: Weinmann, Charles
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78617>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.01.2025

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

Simulations de températures estivales dans les locaux

Par Charles Weinmann, physicien SIA, D^r ès sciences, Weinmann-Energies SA, rte d'Yverdon 4, 1040 Echallens, et Jacques Falconnier, ingénieur SIA, Etat de Vaud, Service des bâtiments, place de la Riponne 10, 1014 Lausanne

De nouveaux outils permettent à l'ingénieur-conseil thermicien de prévoir qualitativement et quantitativement les profils de température dans les locaux en été et les consommations d'énergie électrique. L'obtention d'un confort thermique optimal en été avec un minimum d'installations coûteuses et voraces en énergie est l'un des buts des maîtres d'ouvrage, des architectes et des ingénieurs.

Introduction

La vogue des constructions à parois légères et façades vitrées sur une armature de béton oblige à se préoccuper davantage de leur confort estival, surtout depuis que les installations de refroidissement ou de climatisation ne sont admises qu'après présentation d'une justification des besoins [1], [2]¹. Une collaboration plus étroite entre architectes et ingénieurs-thermiciens devient indispensable.

Jusqu'ici en effet, les efforts déployés ont surtout été axés sur le comportement hivernal des bâtiments. Les relations entre isolation thermique, étanchéité à l'air, mise à profit des apports solaires, régulation du chauffage et bilans thermiques sont aujourd'hui bien connues et ont fait l'objet de nombreuses publications et recommandations [3], [4]. Par contre, les prévisions du comportement thermique en été en fonction des caractéristiques de la construction, de l'ensoleillement et des charges internes étaient difficiles à établir et nécessitaient l'emploi de programmes de calcul très lourds à manipuler, tandis que les moyens usuels ne permettaient que des calculs en régime stationnaire.

Des développements plus récents ont mis sur le marché des outils de simulation dynamique plus simples. Parmi ceux-ci, *HE-*

LIOS est un programme qui calcule les phénomènes de transport de chaleur et de capacité thermique à une zone. Il permet d'obtenir les premières simulations de travail d'introduction des données.

Dans un premier exemple, nous comparons les résultats d'une simulation à des enregistrements de températures effectivement réalisés dans un bâtiment. Nous mettons en évidence et discutons les résultats obtenus et les limites auxquelles il faut prendre garde lors des interprétations.

Le deuxième exemple montre comment, par la recherche d'une meilleure conception de la construction, il est possible de renoncer au refroidissement des locaux et à la ventilation mécanique, réalisant ainsi de substantielles réductions de frais d'installation et d'exploitation.

Quand les simulations thermiques sont-elles nécessaires?

Les programmes de simulation dynamiques sont utiles pour définir les facteurs suivants:

- influences de la construction sur le climat intérieur et l'éclairage (construction lourde ou légère, couleurs, proportion de surface vitrée et orientation, etc.);
- influences de différents types de fenêtres, de protections solaires et de leur manipulation;
- influence des charges internes;
- justification des besoins d'une installation de ventilation ou de refroidissement;
- besoins en refroidissement et en chauffage;
- consommation d'énergie.

Si le programme ne donne évidemment pas la solution constructive à adopter – qui reste le produit de la collaboration entre l'architecte et l'ingénieur-con-

cepteur, comme l'illustrent de nombreuses possibilités décrites récemment [5] – il permet à la fois de comparer des variantes pour développer la solution architecturale et technique optimale, et de quantifier les effets attendus.

Les simulations sont utiles pour tout projet à partir d'une certaine importance. Elles s'avèrent nécessaires lorsque le maître d'ouvrage demande des garanties de confort, tout en voulant limiter ses investissements en matière d'installations, ainsi que ses frais d'exploitation. Enfin, elles sont aussi utiles pour justifier le besoin d'une installation de refroidissement.

Outils d'aide à la conception

Parmi les programmes de simulation numérique, *DOE-2* est le plus connu. Il a été développé au début des années 80 aux USA et introduit en Suisse par l'EMPALFEM. Il permet de modéliser plusieurs zones, mais nécessite l'introduction d'un très grand nombre de données et de paramètres [6]. Or l'ajustement de ces paramètres est une opération extrêmement délicate et une grande expérience est nécessaire pour obtenir des résultats fiables. Lorsque c'est le cas, il est toutefois possible d'effectuer des simulations très fines et précises, à l'issue d'une analyse qui nécessite deux à trois semaines de travail.

HELIOS a, quant à lui, été développé en Suisse en 1982 et il existe en version PC depuis l'automne 1992. S'il ne permet de simuler qu'une seule zone à la fois, il est en revanche beaucoup plus simple à utiliser.

Avec *HELIOS*, on introduit

- les éléments de construction (composition des murs de façades, des sols, plafonds ou toitures, des fenêtres et des murs intérieurs);
- les grandeurs géométriques et géographiques caractéristiques d'un local type, repré-

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

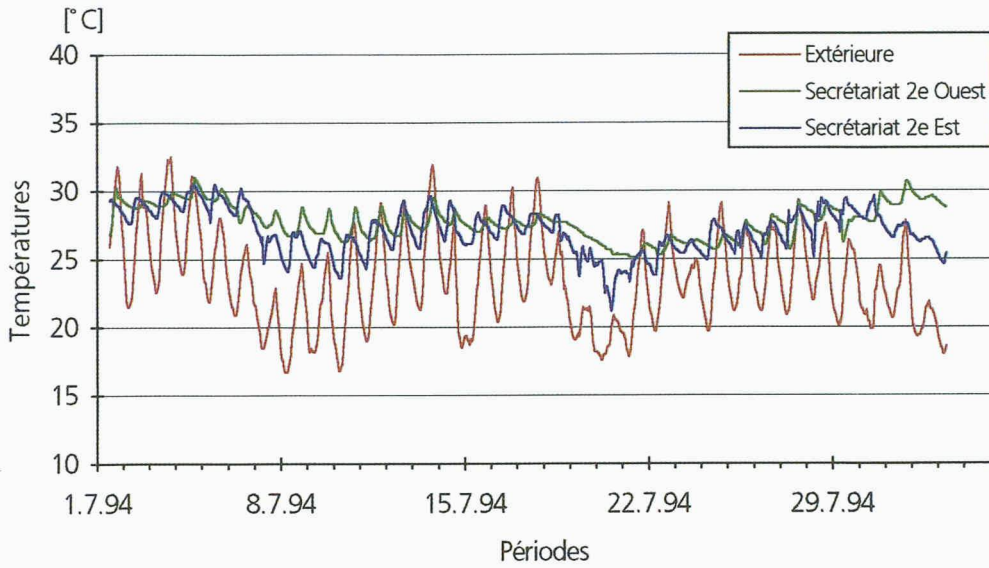


Fig. 1. – Températures extérieures et intérieures mesurées pour des locaux situés au 2^e étage de l'EPSIC, mois de juillet 1994

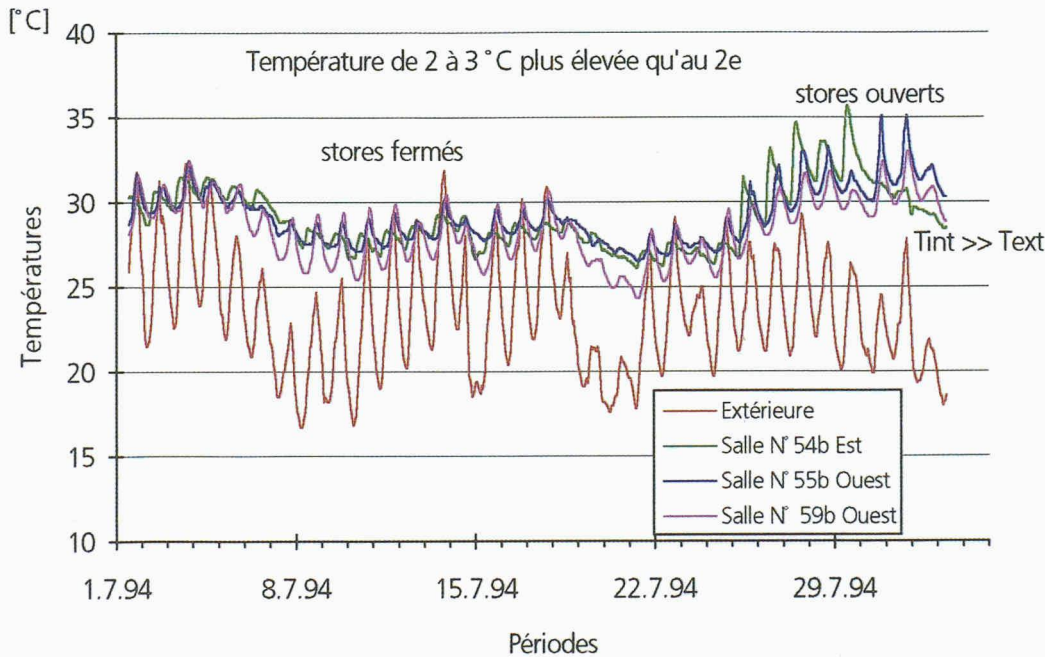


Fig. 2. – Températures extérieures et intérieures mesurées pour des locaux situés au 5^e étage, mois de juillet 1994

- sentatif de la situation du bâtiment;
 - les grandeurs caractéristiques des vitrages et des protections solaires;
 - les grandeurs relatives au comportement des usagers, à l'intensité du rayonnement à partir duquel on utilise les protections solaires, au taux horaire de renouvellement de l'air;
 - les données climatiques du lieu et de la période qui nous intéresse (valeurs fournies et stockées en mémoire).
- A partir de ces divers éléments, le programme établit des profils de température au cours du temps et en plusieurs points.

Une étude des variations entraînées par une modification des paramètres d'entrée peut alors être exécutée très rapidement.

Ecole professionnelle (EPSIC) à Lausanne

Le bâtiment scolaire de l'EPSIC est connu pour les fortes surchauffes qui en accablent les usagers en été. Sur une structure en béton armé, il présente des façades légères et très vitrées: or, bien que ces dernières soient correctement isolées (panneaux sandwich $k = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$), la construction se caractérise par un faible volant d'inertie thermique. De même, l'isolation de la toiture est bonne ($k = 0,32 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), mais son inertie est faible.

Dans le cadre des études pour la rénovation du bâtiment, nous avons entrepris une campagne d'enregistrements de température pour le compte du Service des bâtiments de l'Etat de Vaud. Ces mesures effectuées durant l'été 1994 avaient pour but de préciser objectivement les températures atteintes lors de grandes chaleurs et d'évaluer l'impact de mesures compensatoires simples, telles que l'abaissement des stores et l'aération naturelle nocturne, ainsi que l'influence de la toiture ou des charges internes.

La figure 1 représente les profils des températures extérieures et intérieures mesurées pendant une période estivale. Cette période coïncidant avec les vacances, le comportement des utilisateurs n'a eu aucune influence sur les mesures effectuées et les charges internes sont demeurées nulles. Pour des locaux du 2^e étage situés à l'est et à l'ouest, nous constatons que durant quelques journées chaudes de juillet où les températures extérieures ont oscillé entre 20 et 31°C, les températures intérieures ont varié entre 25 et 30°C.

Pour des locaux situés au 5^e étage (fig. 2), les températures intérieures sont de 2 à 3° plus élevées. Elles augmentent et dépassent 32°C lorsque les stores restent levés, ce qui s'est produit après le 26 juillet.

Le programme de simulation HELIOS a été appliqué à ces locaux dont les dimensions, l'orientation et les détails de construction sont connus. Seules les caractéristiques des stores légers à lamelles demanderaient à être vérifiées, mais nous nous contentons, ici, de présenter un exemple. La figure 3 montre les résultats obtenus pour une période estivale équivalente à la période de mesure et pour trois valeurs du coefficient g de transmission du rayonnement.

Les résultats dépendent fortement des conditions initiales admises. Pour gommer ces effets, les calculs ont été effectués sur un mois et la figure 4 représente les résultats de la 5^e semaine. On retrouve bien l'allure générale des températures enregistrées et on remarque la forte influence du coefficient g qui caractérise l'efficacité de la protection solaire.

Conception d'un nouveau bâtiment

La simulation se montre très utile lors de la phase des études. A la demande du Service des bâtiments de l'Etat de Vaud et du bureau d'architecture, nous avons utilisé cet outil pour prévoir quelles seraient les conditions thermiques en été dans un nouveau bâtiment devant rester confortable sans ventilation mécanique ni refroidissement.

Nous avons modélisé un bureau situé au 3^e étage d'un bâtiment, sous la toiture, et opté pour une façade orientée au sud-ouest, entièrement vitrée. Les fenêtres prévues ont des doubles vitrages sélectifs isolants de coefficient $k = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, avec des cadres en aluminium (isolants). Enfin, nous avons retenu une dalle en béton armé, recouverte d'un plancher alvéolaire en ciment de 12 cm de hauteur.

Nous avons ensuite introduit des charges internes de 8 h à 20 h avec des pointes à 20 W/m^2 de 10 h à 12 h et de 15 h à 17 h. Les locaux sont donc longuement occupés et les postes de travail sont dotés d'équipements électriques courants (un PC par place et une imprimante).

L'éclairage artificiel n'est pas utilisé. Les charges internes sur 12 heures atteignent 120 Wh/m^2 ce qui est nettement inférieur aux 350 Wh/m^2 qui est le seuil à partir duquel un refroidissement mécanique est justifié selon la recommandation SIA 382/3 «Preuve des besoins pour les installations de ventilation et de climatisation» [1].

Pour la variante initiale, dont le profil de température est représenté par la figure 5, nous avons basé notre modélisation sur les hypothèses suivantes: une toiture métallique avec 12 cm d'isolation et des cloisons intérieures en placoplâtre pour permettre une organisation des bureaux aisément modulable.

Nous avons tout d'abord imaginé un comportement usuel des utilisateurs qui ouvrent les fenêtres le jour et les tiennent fermées la nuit. Les protections solaires ont un coefficient de transmission énergétique globale de $g = 0,4$ ce qui correspond à des stores en toile légère ou à des stores à lamelles inclinées horizontalement et partiellement levés. Nous avons calculé les températures du 1^{er} juin au 15 juillet afin de stabiliser le profil non seulement

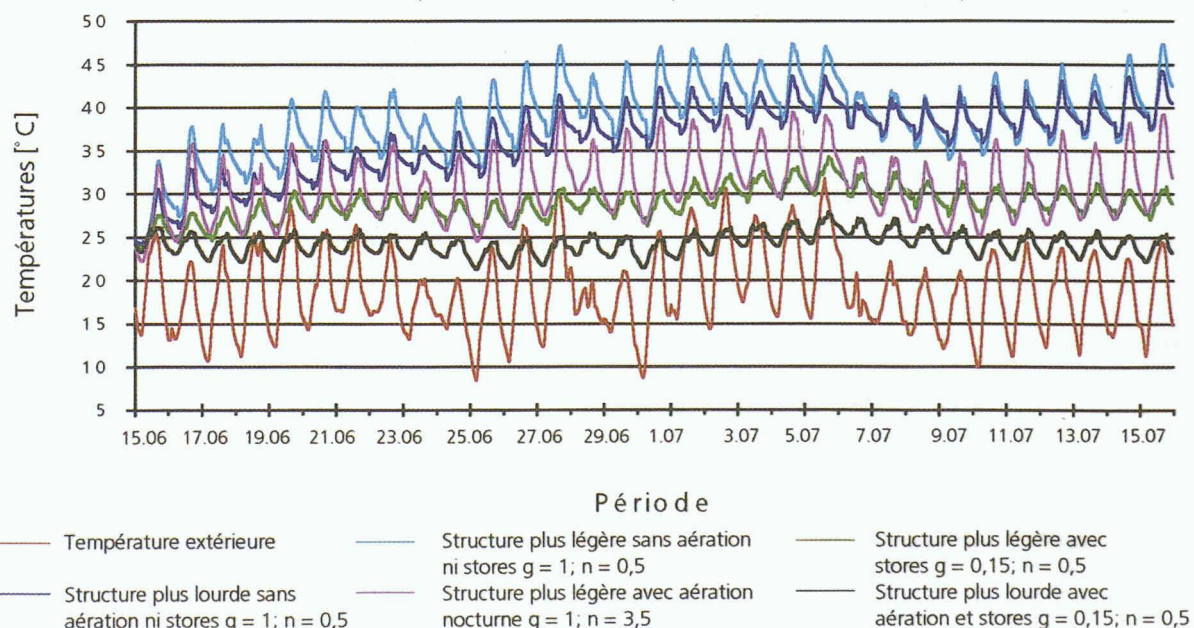


Fig. 5. - Simulation de diverses solutions d'amélioration pour une nouvelle construction, Centre Blécherette 3, bureau type du 3^e étage

en fonction d'une semaine ensoleillée d'été mais aussi en fonction des journées moins chaudes qui l'ont précédée.

Comme il fallait s'y attendre, les résultats de la simulation confirment que le bureau décrit est inconfortable dans de telles conditions puisque la température intérieure peut y dépasser 45°C (fig. 5).

Pour améliorer les conditions de confort, nous avons testé trois solutions de manière indépendante:

1. L'amélioration des protections solaires (stores à lamelles inclinées à 45° et baissés complètement: $g = 0,15$).
2. L'utilisation d'éléments plus lourds pour la toiture et les galandages intérieurs (dalle

3. Une aération nocturne efficace de 22 h à 7 h (3,5 volumes par heure).

Nos résultats montrent que l'amélioration de la protection solaire se traduit par une réduction de quelque 15°C, que l'augmentation de l'inertie de la toiture et des galandages équivaut seulement à un abaissement de 4°C qui s'atténue avec le temps, et que l'aération nocturne permet, quant à elle, de diminuer la température de pointe de 8°C. Or n'oublions pas que ces conclusions s'appliquent uniquement à notre exemple de bâtiment présentant une façade totalement vitrée. En outre, le cumul des trois améliorations proposées aboutit à la réduction la plus forte: la température ne dépasse plus 28°C, ce qui est parfaitement supportable selon les valeurs-limites d'inconfort recommandées par la SIA.

Ces résultats ont fourni des éléments de réflexion utiles pour la conception du bâtiment et de la façade. Une phase de développement peut ainsi être engagée au début des études.

Discussion des résultats

Le programme de simulation dynamique est très performant pour la comparaison des mesures d'amélioration à apporter dans un projet. Il fournit des courbes d'évolution de température intérieure qui correspondent bien aux tendances mesurées. Il faut cependant rester prudent dans l'interprétation des niveaux de températures atteints, ceux-ci dépendant fortement des conditions initiales dictées au programme. Dans notre simulation, nous les avons finalement fixées à 25°C, mais si l'on choisit une température ambiante initiale de 5°C plus basse par exemple, il faut une

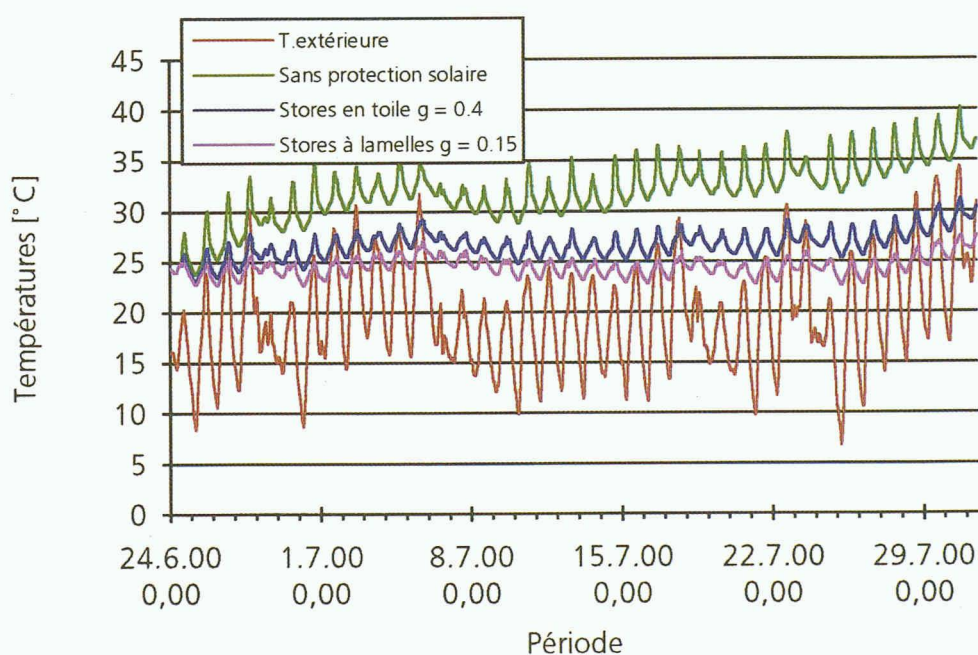


Fig. 3. - Profils de température obtenus par simulation, température intérieure au 2^e étage ouest de l'EPSIC

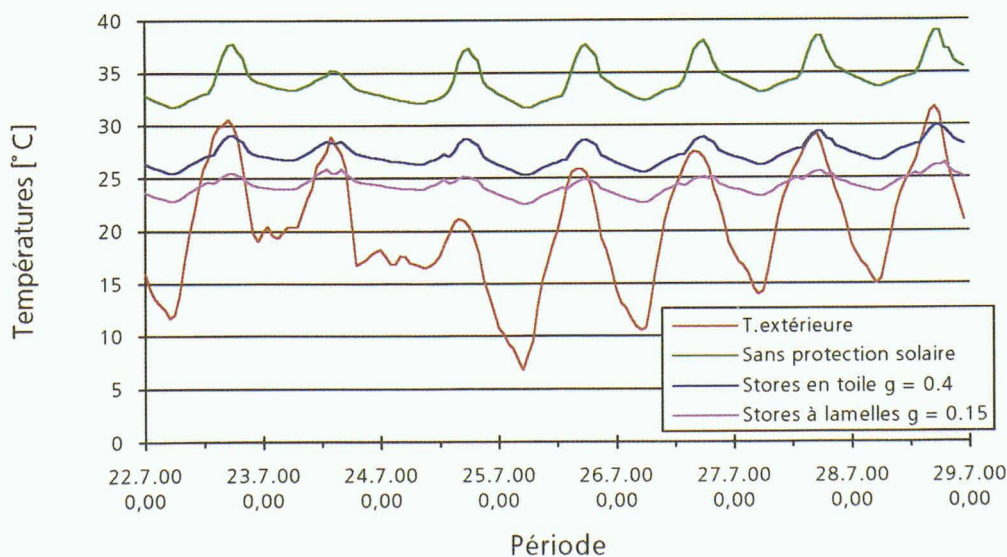


Fig. 4. - Zoom sur les températures de la 5^e semaine empérature intérieure au 2^e étage ouest de l'EPSIC

bonne semaine pour obtenir les mêmes valeurs qu'avec la valeur initiale de 25°C. Si l'on part de plus haut, les températures commencent par diminuer. Une perturbation importante dans les locaux comme par exemple des stores laissés ouverts ou des apports internes de chaleur importants durant 24 heures peuvent perturber le confort durant plusieurs jours si aucune correction n'est prise, par une aération nocturne intensive par exemple. La comparaison entre les résultats des simulations et les valeurs mesurées dans les locaux soumis à diverses manipulations dictées au concierge permet finalement de confirmer la validité d'*HELIOS* pour l'étude de l'évolution relative des températures intérieures obtenues en fonction de différents types de construction et de comportement.

Parmi les nombreux tests effectués, il est utile de présenter quelques résultats:

- avec une toiture peu isolée, la température intérieure atteint des valeurs de 2 à 3°C plus élevée;
- avec les fenêtres ouvertes durant la journée, la température intérieure s'élève pour se rapprocher de la température extérieure souvent plus élevée devant la façade ensoleillée;
- pour être efficace, l'aération doit être nocturne; il importe donc de trouver des solutions

qui autorisent le maintien des fenêtres entrouvertes durant la nuit sans risques de pénétration d'eau de pluie tout en permettant un renouvellement d'air assez intense, le taux de renouvellement devant atteindre trois volumes par heure, ce qui ne va pas de soi;

- avec des stores en toile, la température atteint plusieurs degrés de plus qu'avec des stores à lamelles correctement manipulés; la technique consistant à abaisser les stores complètement pour des raisons d'éblouissement et obligeant donc à allumer la lumière est une aberration tant du point de vue énergétique que de celui du confort;
- des parois de murs intérieurs en briques apportent 1 ou 2°C d'amélioration par rapport à des structures légères;
- les coefficients de réflexion des revêtements intérieurs, le mobilier choisi, la qualité des vitrages jouent également des rôles non négligeables.

Conclusions

Les études effectuées ont démontré l'utilité de programmes de simulation dynamique relativement simples à manipuler et applicables sur PC. La campagne de mesures a permis de constater la validité des prédictions et d'en souligner aussi les limites. De même, chaque bâtiment reste un cas

particulier et il faut se garder de généraliser les résultats cités dans les exemples ci-dessus.

L'analyse n'en a pas moins mis en évidence l'effet de l'isolation de la toiture et de l'inertie thermique sur le confort, mais surtout celui des protections solaires et d'une aération nocturne efficace. Elle a souligné l'importance d'une collaboration étroite entre l'ingénieur thermicien et l'architecte. Dans un des cas étudiés, elle a en outre permis d'économiser une somme importante en renonçant à une installation coûteuse de ventilation et de refroidissement des bureaux.

Avec ces nouveaux outils, le thermicien devient aussi façadier. La façade joue en effet un rôle essentiel pour le confort thermique et elle influence de manière significative les besoins en installations et en énergie d'exploitation.

Bibliographie

- [1] Recommandation SIA V382/3 «Preuve des besoins pour les installations de ventilation et de climatisation», 1982
- [2] Diverses ordonnances cantonales
- [3] Recommandation SIA 380/1 «L'énergie dans le bâtiment», 1988
- [4] Documentation SIA DO56 «Le soleil - chaleur et lumière dans le bâtiment»
- [5] «La lumière naturelle à bon escient», programme d'impulsion RAVEL, EDMZ 724.306 d/f, Bern 1995
- [6] Gschwend R.: «Raumsimulationsprogramm», *S/A* 32, 1994, p. 604