

Programme de recherche de l'AIE: conservation de l'énergie dans les bâtiments et les agglomérations: étude du bilan énergétique de 60 maisons familiales: un aperçu du projet "Maugwil" du LFEM

Autor(en): **Baumgartner, T. / Baumann, E. / Gass, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **111 (1985)**

Heft 6

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75615>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Programme de recherche de l'AIE : Conservation de l'énergie dans les bâtiments et les agglomérations

Etude du bilan énergétique de 60 maisons familiales

Un aperçu du projet «Maugwil» du LFEM¹

par T. Baumgartner, E. Baumann, J. Gass, P. Hartmann, I. Marcus
et H. Mühlebach, Dübendorf

Ce rapport donne un aperçu général et différents résultats détaillés des études expérimentales et théoriques effectuées pendant plusieurs années sur des maisons familiales de construction légère. Les données sur la consommation d'énergie et le climat intérieur récoltées sur une maison inhabitée ont été comparées avec les valeurs correspondantes obtenues par calculs, ce qui a permis de confirmer l'adéquation des méthodes de calcul utilisées. Le bâtiment témoin a été utilisé pour affiner la méthode de mesure des paramètres physiques de l'enveloppe du bâtiment en ce qui concerne le renouvellement de l'air. Enfin, on a tenté de déterminer plus précisément les divers facteurs influençant la consommation d'énergie dans 60 bâtiments habités, de construction similaire.

1. But de ces études

En 1978, époque où ces études furent projetées, on manquait sérieusement de données de mesure détaillées et fiables sur la construction, le climat et la consommation d'énergie des bâtiments. Deux organismes officiels, l'Office fédéral de la protection de l'environnement (OFPE) et l'Office fédéral de l'énergie (OFE) ont apporté leur soutien à la section de physique du bâtiment du LFEM en lui confiant des mandats de recherche dans le tableau ci-contre. Son sous-sol furent effectuées sur une maison familiale inhabitée, équipée de tous les instruments de mesure nécessaires, située aux environs de Wil (canton de Saint-Gall). On a en outre procédé à diverses enquêtes sur 60 maisons similaires, mais habitées et sises sur le Plateau suisse (constructeur: Marty Holzbau, Wil/SG).

Ces bâtiments ont été choisis en raison de l'appui bienveillant que leur constructeur nous a accordé; ils correspondent à la technique de construction alors utilisée par lui et n'ont donc pas été conçus pour répondre aux besoins particuliers du LFEM ou de ses commettants. Pour l'OFPE, le but de ces travaux était d'établir les échanges d'air en fonction des paramètres climatiques avec les fenêtres fermées ou partiellement ouvertes (A). Les objectifs visés par cette étude dans le cadre de son apport au projet d'ensemble III de l'AIE étaient les suivants:

- établissement d'un rapport sur les valeurs caractéristiques et les mesures du climat intérieur comme de la consommation d'énergie du bâtiment examiné pendant deux ans (B);
- vérification du programme de calcul dynamique des besoins d'énergie

DOE-2 au moyen des mesures récoltées (C);

- mise en évidence, avec ses paramètres spécifiques, de l'influence des habitants sur les besoins énergétiques de maisons familiales habitées et comparables, à partir d'enquêtes effectuées sur 60 bâtiments (D).

Les rapports détaillés sur ces différents points figurent dans la bibliographie sous [1] à [4].

2. Description sommaire du bâtiment témoin mesuré et des bâtiments de contrôle

Le bâtiment témoin, une maison familiale de 5 pièces, est sis au sud d'un coteau venté à 620 m d'altitude (fig. 1). Ses caractéristiques principales sont énumérées dans le tableau ci-dessous. Son sous-sol et la dalle qui le recouvre ont été construits en béton coulé sur place, alors que le rez-de-chaussée et le premier étage

sont en construction légère de bois avec une isolation extérieure supplémentaire (2 cm). L'isolation thermique, pour une construction des années 70, est de qualité moyenne.

Les 60 bâtiments de contrôle sont pour l'essentiel du même type que le bâtiment témoin inhabité et leur situation climatique sur le Plateau suisse est comparable. Toutefois, ces maisons présentaient une série de différences en ce qui concerne leur plan (maisons familiales avec ou sans garage, maisons doubles mitoyennes, etc.), leur terrain d'implantation, ainsi que l'utilisation et le chauffage du sous-sol, de sorte que seule une comparaison indirecte avec le bâtiment témoin de Maugwil a été possible.

3. Installation et programme de mesure

Il existe, sur le plan de l'installation et du programme de mesure, une différence très nette entre le bâtiment témoin inhabité de Maugwil et le groupe de bâtiments de contrôle analogues, mais habités.

Le bâtiment témoin de Maugwil

En fonction des différents buts du projet, les mesures effectuées peuvent se répartir comme suit:

- caractéristiques du bâtiment et de sa construction;
- données sur le climat extérieur et les températures du sol;

Quelques données sur le bâtiment témoin de Maugwil

Surface au sol	75 m ²
Hauteur au faite	10 m
Volume chauffé	482 m ³
(surfaces limitantes :	385 m ²)
Surface vitrée	35,4 m ²
Surface brute chauffée	203 m ²
Coefficient moyen	0,81 W/m ²
Chauffage central et eau chaude avec chaudière à mazout combinée, radiateurs équipés de vannes thermostatiques.	



Fig. 1. — Bâtiment témoin mesuré, vu de l'ouest.

¹Laboratoire fédéral d'essais des matériaux.

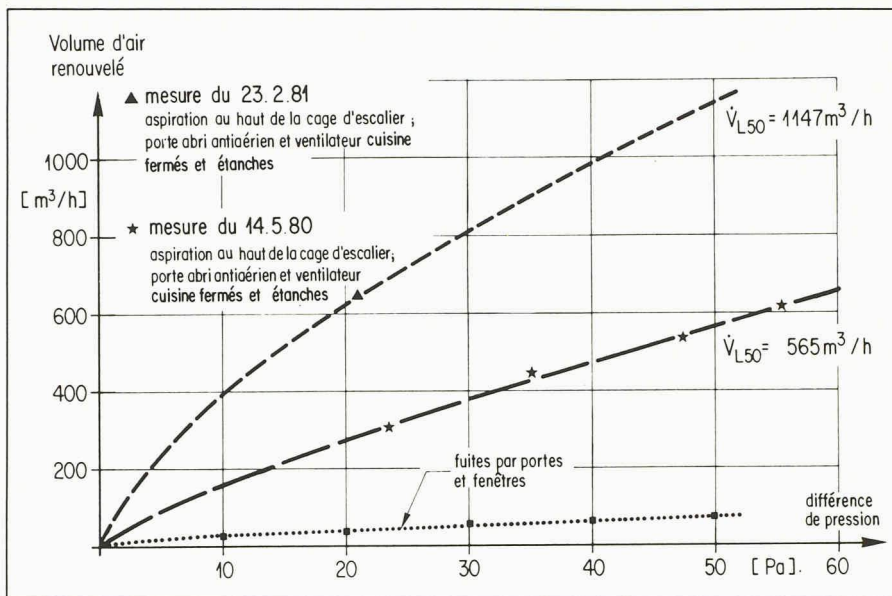


Fig. 2. — Courbes de perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment à deux moments différents (environ sept mois après la fin des travaux et neuf mois plus tard) ainsi que courbe de perméabilité à l'air des portes et des fenêtres.

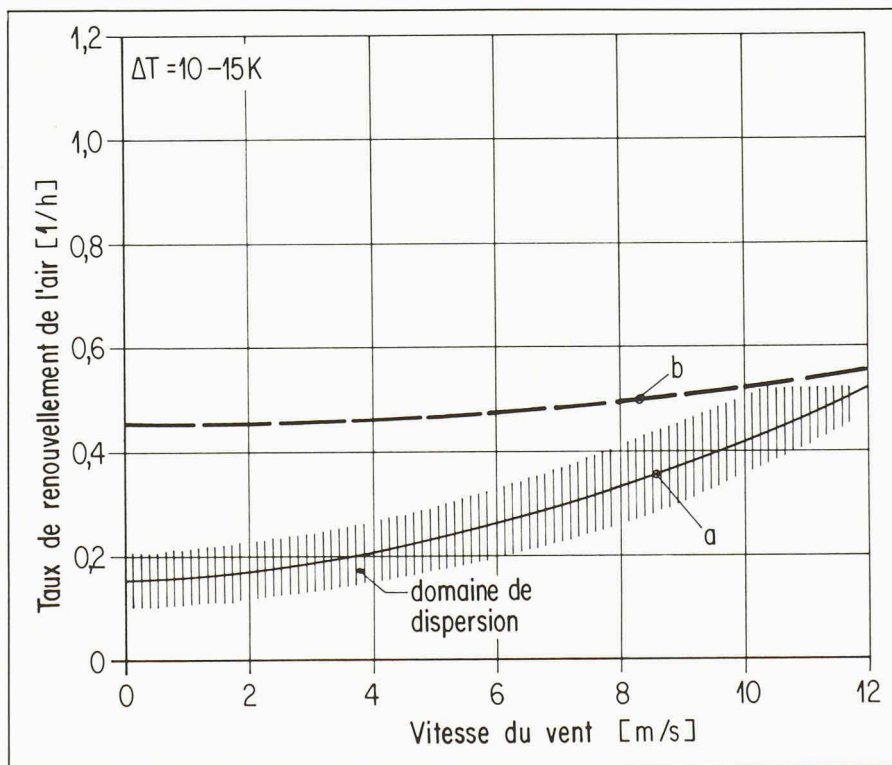


Fig. 3. — Représentation de la relation entre le renouvellement de l'air et la vitesse du vent dans le bâtiment de mesure fermé. Cette même relation est indiquée sous forme de courbe schématique pour un bâtiment habité avec aération par les fenêtres provoquée par les utilisateurs.

- mesures de la température et de l'humidité de l'air dans le bâtiment ;
- données sur la consommation énergétique.

Un nombre restreint de ces mesures (par exemple certaines valeurs de perméabilité à l'air) n'ont été effectuées qu'une seule fois ; elles ont en majorité été enregistrées sous forme de valeurs horaires et pour certaines directement sous forme de moyennes.

On disposait à cet effet d'une installation d'enregistrement de données très performante dont la description est donnée dans les rapports détaillés.

Le programme de mesures s'est étendu sur deux ans en tout, dont la première

partie a été avant tout consacrée à la mesure à long terme du renouvellement de l'air et la seconde surtout à la détermination des données de référence de la consommation énergétique.

Les maisons familiales du même type, mais habitées

Le LFEM n'a pas effectué de mesure sur ces bâtiments et son activité sur place s'est limitée à la visite de quelques-unes de ces maisons. En revanche, leurs propriétaires ont été priés de remplir des questionnaires détaillés en y joignant les plans de construction. Les indications les plus importantes concernaient les données mensuelles, parfois annuelles, de la

consommation d'énergie. L'exploitation de ces données se réfère à une période d'une année.

4. Résultats sélectionnés

4.1 Aperçu des différents rapports

Des rapports détaillés sur les domaines partiels suivants ont déjà été publiés :

- perméabilité à l'air, renouvellement de l'air (rapport [1]) et comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées (rapport [2]) ;
- valeurs mesurées brutes et quelques analyses de ces valeurs telles par exemple celles de l'apport d'énergie dû au rayonnement (rapport [3]) ;
- vérification du programme d'ordinateur (rapport [4]) ; et enfin
- comparaison entre maisons habitées et inhabitées (rapport [5]) dont une version anglaise complétée sera publiée en 1984.

Diverses brèves publications complémentaires ne seront pas mentionnées ici. Dans le cadre d'un aperçu tel que celui-ci, il n'est possible de présenter qu'un choix restreint de résultats sélectionnés avec un commentaire facile à comprendre pour le non-spécialiste. Des résultats de chaque domaine abordé sont présentés puis commentés globalement.

4.2 Mesures de la perméabilité à l'air, mesures du renouvellement de l'air

Le bâtiment témoin de Maugwil a servi d'une part à essayer les diverses techniques de mesure des fuites d'air isolées, de la perméabilité globale à l'air et du renouvellement de l'air, mais aussi et avant tout à déterminer l'influence des paramètres climatiques sur le renouvellement de l'air.

La figure 2 montre trois courbes caractéristiques de perméabilité à l'air qui peuvent s'interpréter de la manière suivante : au cours de la première année, le bâtiment a subi un fort séchage qui a entrebâillé des joints, de sorte que la perméabilité à l'air de son enveloppe a environ doublé durant cette période. D'une manière générale, l'étanchéité à l'air de ce bâtiment peut être considérée comme supérieure à la moyenne pour une construction légère, sans toutefois perdre de vue l'apparition localisée de joints béants.

Il est d'ailleurs remarquable de constater que les fuites d'air par les joints des fenêtres ne représentent qu'environ 10% du courant total de ces fuites, fait confirmé par de nombreuses autres mesures effectuées à l'étranger.

Des séries de mesures plus longues ont permis d'établir la relation entre le renouvellement de l'air et les données sur le climat extérieur, représentée ici en rapport avec la vitesse du vent (fig. 3). On a indiqué en outre, en traitillé, la courbe schématique du renouvellement de l'air pour l'exploitation d'un bâtiment habité.

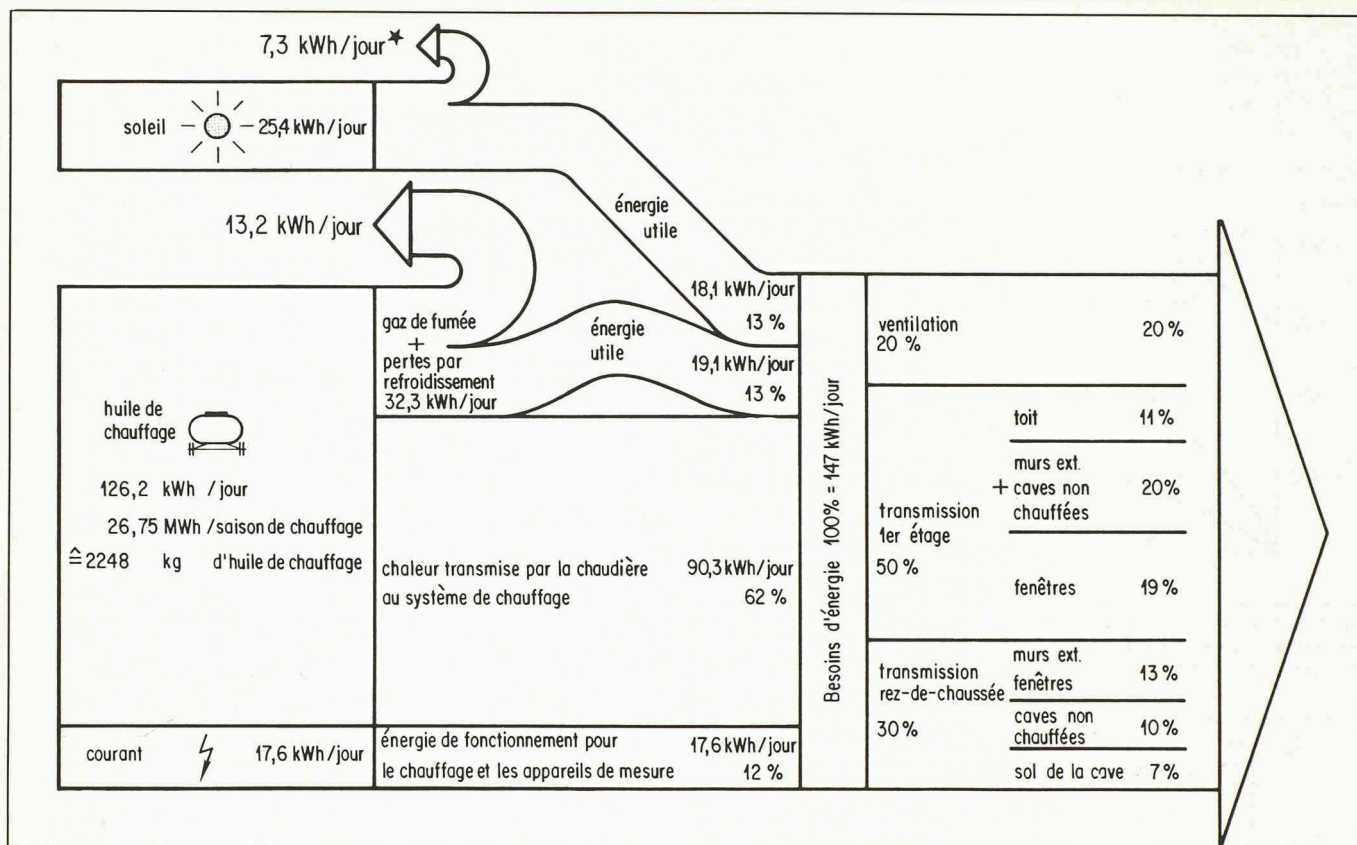


Fig. 4. — Bilan énergétique du bâtiment témoin inhabité mesuré pour l'hiver 1980-1981. Les gains thermiques qui conduiraient à des températures > 21°C ne sont pas pris en considération.

Ces mesures ont permis de rassembler des informations assez complètes pour apprécier les pertes par aération dans un bâtiment inhabité et dans un bâtiment à occupation simulée.

4.3 Consommation d'énergie, comparaison entre valeurs mesurées et calculées

Lorsqu'il y a quelques années la section de physique du bâtiment du LFEM s'est vu offrir par le Laboratoire de Berkeley la possibilité d'utiliser son programme de calcul dynamique des besoins d'énergie DOE-2, elle a sans tarder fait en sorte de vérifier ce programme. On se proposait ainsi de comparer les résultats calculés avec les valeurs mesurées de consommation énergétique de bâtiments existants. Le bâtiment témoin inhabité de Maugwil devait constituer la première étape de cette vérification. La figure 4 donne un premier aperçu approximatif du bilan énergétique mesuré de ce bâtiment pour l'hiver 1980-1981.

Par rapport au bilan énergétique d'un bâtiment habité, ce bilan diffère par l'absence de gains provenant de la chaleur dégagée par les habitants et par la part plus faible des pertes par aération. Pour la comparaison proprement dite avec les valeurs calculées, on a recouru aux valeurs horaires calculées et mesurées.

La figure 5 montre finalement l'écart entre la mesure et le calcul des valeurs mensuelles de consommation d'huile de chauffage. Une comparaison avec les valeurs annuelles, hebdomadaires ou journalières montre que les écarts entre cal-

culs et mesures croissent en fonction de la brièveté des périodes considérées. Pour les valeurs mensuelles, l'écart atteint au maximum 5 (10) %. Le genre de problèmes pouvant survenir lors de la vérification d'un tel programme est illustré par une étude détaillée de l'influence des masses intérieures sur la consommation annuelle d'énergie. L'établissement du modèle dynamique de la maison familiale en cause pose quelques problèmes du fait que ce modèle se compose de modules composites sur le plan thermique: à des caves de construction massive avec un abri de protection civile correspond un module de construction légère pour les combles. Le tableau I montre dans quelle mesure la pondération de ces masses thermiques, qui est pour une bonne part une affaire d'expérience, influence le bilan énergétique annuel. On constate que les variations isolées, ici volontairement choisies très grandes, exercent

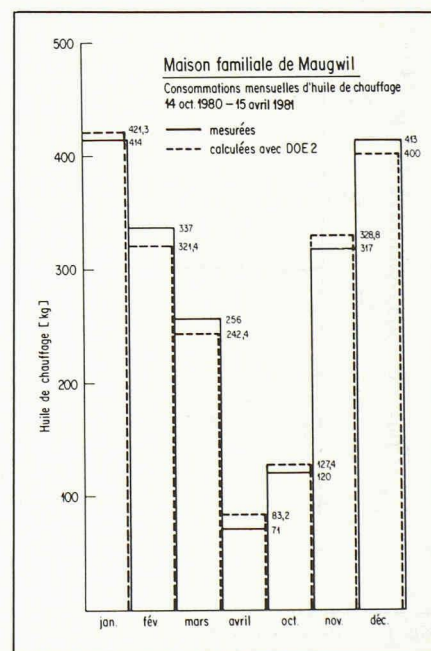


Fig. 5. — Comparaison entre calculs et mesures des consommations mensuelles d'huile de chauffage.

TABEAU I

Variante	Différence relative des besoins d'énergie annuels (%)	Différence de la température intérieure maximale en avril	
		rez-de-chaussée	premier étage
1. Masses 70% plus élevées qu'en réalité	+ 0,2	- 1,2	- 1,6
2. Masses = 0	- 9,7	+ 2,9	+ 4,5
3. Répartition régulière du rayonnement	+ 0,003	+ 0,4	+ 0,2
4. Masses = 0 absorption du rayonnement par les sols	- 10	+ 2,2	+ 4,4

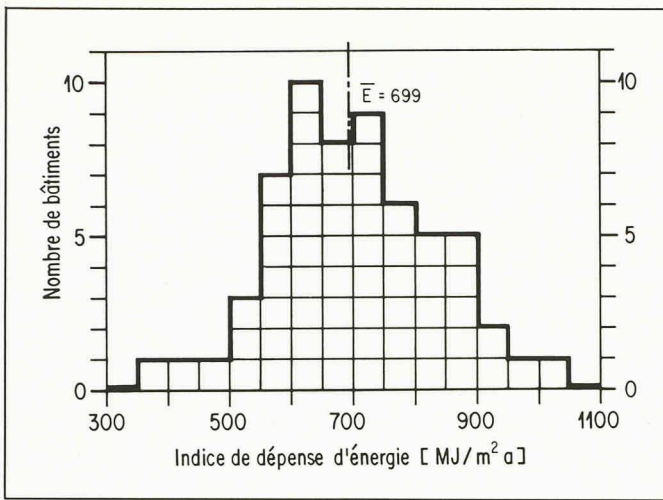


Fig. 6. — Distribution des indices de dépense d'énergie des 60 maisons familiales habitées.

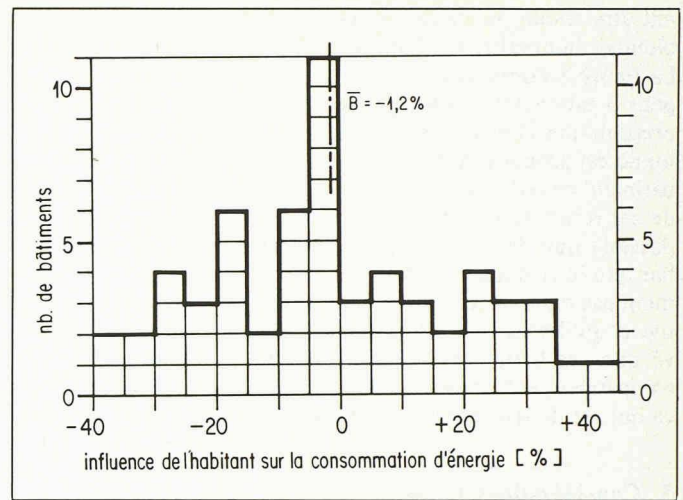


Fig. 7. — Distribution de l'influence relative de l'habitant pour les 60 maisons familiales.

une influence notable sur la température intérieure mais restent quasiment sans effet sur les besoins énergétiques annuels.

Ces travaux ont permis d'arriver aux conclusions suivantes :

Le programme d'ordinateur DOE-2 s'est trouvé validé par l'exercice effectué sur la maison familiale de Maugwil pour ce qui est de la simulation d'une période de chauffage et le calcul des besoins d'énergie thermique et d'énergie finale. L'influence des composants spécifiques des systèmes de climatisation, qui n'a pas été prise en considération ici, fera l'objet de vérifications ultérieures. Toutes les sources d'erreur ont été décelées et la précision du programme peut être estimée à 5%.

Le domaine d'application de ce programme est celui des immeubles climatisés ou de l'étude de projets comprenant des installations complexes de chauffage et de

climatisation. Un tel programme est exploitable dans la pratique à condition que son utilisateur puisse recourir à un organisme de conseil. Le LFEM s'efforce en outre d'améliorer encore les possibilités d'utilisation de ce programme et le DOE-2 sera certainement à l'avenir le point de départ d'autres études de simulation sur des immeubles.

4.4 Influence des habitants sur la consommation d'énergie de 60 maisons familiales comparables

Avant d'exposer les différents résultats de cette étude, il s'agit d'en préciser la conception.

L'influence des habitants sur la consommation d'énergie de chauffage qui nous intéresse ici est représentée par la différence entre la consommation d'énergie d'un bâtiment inhabité, avec une température ambiante de 20 °C et un abaissement nocturne de 2 °C, et celle d'un bâti-

ment habité de même construction et implanté au même endroit. Pour cela on a déterminé par l'analyse, pour chacune des 60 maisons retenues, la consommation d'énergie à l'état inhabité en la rapportant à leur lieu d'implantation (pour la période 1978-1979). Les différences entre ces consommations calculées $B_{théor.}$ et les consommations mesurées $B_{eff.}$ ont ensuite été analysées statistiquement. Il faut relever que cette comparaison ne se rapporte qu'à l'énergie de chauffage. La consommation d'énergie pour l'eau chaude sanitaire qui se trouvait confondue avec celle du chauffage dans les chaudières combinées a été évaluée par calcul et soustraite des valeurs de consommation.

Le mode de représentation graphique nous a paru être le mieux adapté pour mettre en évidence ces résultats.

Sur la figure 6 qui donne la répartition des indices de dépense énergétique calculés, on s'aperçoit que la valeur de la consommation d'énergie du bâtiment de mesure inhabité est très proche de la valeur moyenne des bâtiments habités. Ce qui est toutefois frappant, ce sont les écarts par rapport à cette moyenne qui atteignent jusqu'à $\pm 50\%$.

Le graphique de la dispersion des valeurs concernant l'influence relative des habitants (fig. 7) montre que leur moyenne est bien proche de 0, mais qu'elles varient assez largement. Il s'est avéré plus difficile de mettre en évidence l'influence de paramètres dus à des utilisateurs spécifiques. On a choisi et réparti en classes 14 paramètres possibles. En partant de l'hypothèse que ces classes étaient indépendantes les unes des autres, on a essayé de trouver une corrélation entre la valeur moyenne de l'influence de l'habitant (en kg d'huile de chauffage) et la classe du paramètre considéré. L'influence de paramètres isolés ne s'est révélée significative que dans de rares cas, ou autrement dit, l'erreur sur la valeur moyenne d'une classe était le plus souvent supérieure à la différence avec la moyenne de la classe suivante. Ce problème ne pour-

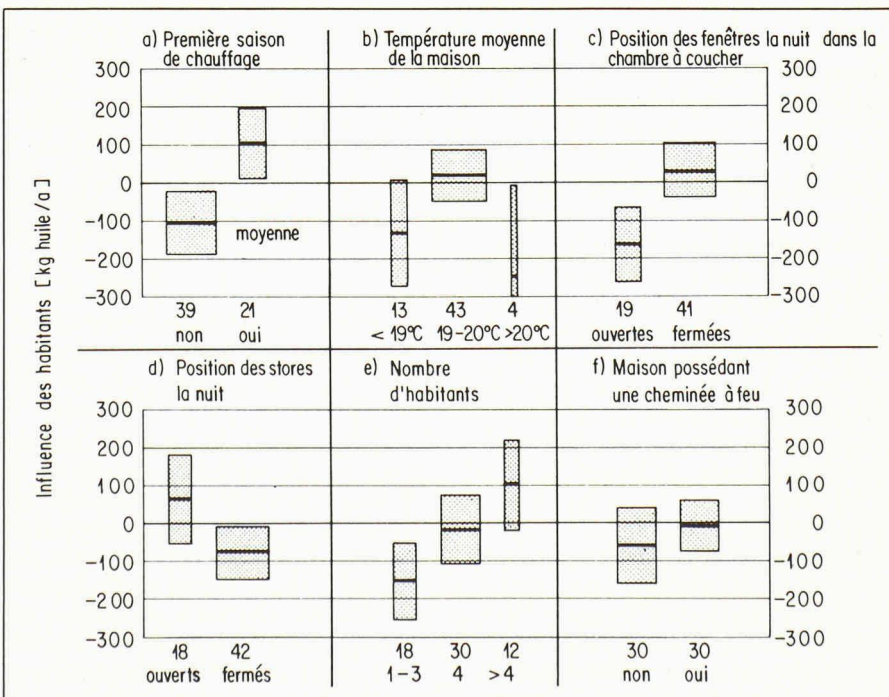


Fig. 8. — Représentation de l'influence de paramètres spécifiques des habitants sur la consommation d'énergie sur la base de six exemples ; les cas a) et c) montrent une dépendance significative, le cas f) l'absence de dépendance.

rait être résolu qu'en augmentant notablement le nombre d'échantillons. La figure 8 donne les résultats obtenus pour 6 paramètres. Dans le mode de représentation choisi, la largeur de la colonne est proportionnelle au nombre de bâtiment de cette classe. La transposition de ces résultats à d'autres maisons n'est possible que dans certaines limites, du fait que les habitants n'étaient certainement pas répartis de manière représentative et qu'il n'est pas suffisamment prouvé que ces bâtiments étaient vraiment comparables entre eux, par exemple pour ce qui est de leur perméabilité à l'air.

5. Considérations finales

Deux résultats entre autres méritent d'être mis particulièrement en évidence :

- le programme dynamique DOE-2 permet, dans des conditions cadres clairement définies, de calculer à quelques pour-cent près la consommation d'énergie de bâtiments ; ce fait autorise à déduire qu'un tel modèle de calcul doit aussi permettre de comparer différentes variantes de réalisation avec une précision suffisante ;
- la consommation d'énergie pour le chauffage de ces maisons habitées n'est en moyenne manifestement pas

très éloignée de celle de maisons analogues non habitées ; le calcul de la consommation d'énergie qui ne tient généralement pas ou fort peu compte de l'utilisateur est ainsi suffisamment précis ; les pertes supplémentaires provoquées par les utilisateurs, par exemple par l'aération, sont apparemment compensées par une exploitation optimale ainsi que par des gains thermiques.

Lors des mesures effectuées à Maugwil, le fait que l'exploitation du bâtiment ait pu se dérouler sans influence des utilisateurs ou avec des influences d'utilisateurs simulées bien définies (par exemple ouverture des fenêtres selon un horaire établi) s'est révélé précieux. Une étude mieux étayée de l'influence des utilisateurs exigerait des mesures de contrôle sur un nombre plus élevé de bâtiments, ce qui entraînerait des dépenses sérieusement accrues.

Adresse des auteurs :

T. Baumgartner, E. Baumann, J. Gass
P. Hartmann, I. Marcus, et H. Mühlebach
LFEM
8600 Dübendorf

Bibliographie

- [1] P. HARTMANN, H. MÜHLEBACH: *Luftwechsel in Wohnbauten. Langzeituntersuchungen betreffend Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses (Maugwil)*. Rapport LFEM 39400 c, Dübendorf, avril 1981.
- [2] Air Infiltration Center: *AIC Report TN-11. The validation and comparison of mathematical models of air infiltration*. Bracknell, September 1983.
- [3] P. HARTMANN, J. MÜHLEBACH: *Messprojekt Maugwil, Messdaten der Gebäudedekonstruktion und des Heizenergiebedarfs*. Rapport LFEM 41643/1, Dübendorf, juin 1983.
- [4] J. GASS, I. MARCUS: *Messprojekt Maugwil. Verifikation des Rechenprogramms DOE-2 anhand des gemessenen Energiehaushaltes*. Rapport LFEM 41643/2, Dübendorf, juin 1983.
- [5] E. BAUMANN, T. BAUMGARTNER, J. GASS, P. HARTMANN, H. MÜHLEBACH: *Benützerinfluss auf den Energieverbrauch von 60 gleichartigen Einfamilienhäusern*. Contribution au 2^e séminaire suisse «Wärmeschutzforschung im Hochbau», LFEM, Dübendorf-Zürich, octobre 1982.
- [6] T. BAUMGARTNER, P. HARTMANN, H. MÜHLEBACH: *Lüftungsverluste, wie sind sie messtechnisch erfassbar?* «Heizung und Lüftung», N° 2, 1981.
- [7] Air Infiltration Center: *AIC-TN-1-80. The distribution of air leakage in a dwelling — a brief review*. Bracknell, août 1980.

Vie de la SIA



Informations SIA — Journées SIA 1985

Ne remettez pas à demain ce que vous pouvez faire aujourd'hui : si ce n'est déjà fait, n'attendez plus pour vous inscrire aux Journées SIA 1985 qui auront lieu à Berne. Vous risqueriez de manquer l'événement du siècle, puisqu'il n'y aura plus de telle fête à Berne avant cinquante ans. Une chose est sûre : au *soir du 7 juin 1985*, après une journée fertile en événements, tous les participants inscrits se verront offrir au Restaurant Kornhauskeller («Chübu») pour les initiés) une soirée d'anniversaire informelle et gaie, à un prix raisonnable. Le programme a de quoi réjouir tous les cœurs et satisfaire toutes les gourmandises :

- jazz, bière de fête et bretzel d'anniversaire pour l'apéritif de bienvenue dès 18 heures ;
- bal et animation de 19 h. 30 à 2 h. 30 avec entre autres les réputés orchestres Dixieland Jazzband The Red Hot Peppers, Berner Stubemusig, et le chanteur ambulant Peter Hunziker avec son orgue de Barbarie ;

- plusieurs possibilités de restauration :
 - léger buffet froid ;
 - buffet riche ;
 - buffet de salades ;
 - buffet de fromages ;
 - dessert bombe surprise ;
 - soupe à minuit.

Nous vous donnons rendez-vous au «Chübu» le 7 juin prochain !

Le comité d'organisation

Norme SIA 160 «Actions sur les structures»

Mise en consultation

La norme SIA 160 «Actions sur les structures» commentée ci-après est mise en consultation. Le texte du projet (en français ou en allemand) peut être demandé au Secrétariat général de la SIA, case postale, 8039 Zurich (bulletin de commande en p. B 35 de ce numéro). Participation aux frais: Fr. 15.—. Les propositions d'amendements doivent être adressées à la Commission 160 par écrit et classées d'après les alinéas du projet, jusqu'au 15 juin 1985.

C'est le travail de tout un lustre, fourni par la Commission SIA 160 et ses groupes de travail sur mandat du comité central, qui aboutit aujourd'hui. Le projet représente l'adaptation aux acquis cognitifs les plus récents de la norme 160 (datant de 1970) qui traitait des actions sur les structures et des charges. Une révision totale s'en imposait surtout du fait que, depuis 1970, une nouvelle génération de normes

sur les dimensionnements était en préparation. On y abandonnait le principe des contraintes admissibles au profit de la vérification de la capacité portante. En l'absence de précisions sur les charges correspondant à la nouvelle conception des normes, on tenta à l'époque de continuer à appliquer la norme 160 en utilisant des coefficients de charges et des combinaisons de charges.

Le projet de norme 160 mis à l'enquête fournit les données de vérification de la capacité portante et de l'aptitude au service de toutes les structures porteuses. Le thème de la mise en service et de la surveillance des constructions est traité à part. Le présent projet comprend, outre les données concernant le domaine d'application et la terminologie, les chapitres suivants :

Chapitre 2 : Principes généraux et exigences concernant la sécurité et l'aptitude au service des structures porteuses, le dimensionnement étant l'un des éléments de la conception d'ensemble.

Chapitre 3 : Principes relatifs à l'analyse et au dimensionnement. Conception et forme de la vérification de la capacité portante sont complétées par la formulation des différentes situations à risques qui remplace celle des combinaisons de charges usuelles. L'aptitude au service est clairement définie eu égard aux objectifs d'utilisation, aux critères d'utilisation et aux effets y relatifs. La vérification à la fatigue est présentée de façon à permettre différents niveaux de précision des calculs.