



COMPARAISON DU CALCUL DES BESOINS D'ÉNERGIE PAR LE  
PROGRAMME DOE-2 AVEC DES MESURES SUR DES BÂTIMENTS  
RÉELS

---

I. Marcus et  
N. Hopkirk

A

EMPA Dübendorf  
Dépt. physique du bâtiment  
8600 Dübendorf

RÉSUMÉ

Cet article traite des premiers résultats de la comparaison de calculs de simulation à l'aide du programme DOE-2 avec des mesures sur bâtiments réels. Les résultats actuels portent sur deux bâtiments instrumentés en Suisse:

- maison familiale à Maugwil, projet mené à l'EMPA
- immeuble collectif "La Chaumière" à Lausanne, projet mené à l'EPFL.

## 1. Introduction, but du projet

Depuis quelques années plusieurs nouveaux programmes d'ordinateur pour le calcul des besoins d'énergie des bâtiments chauffés et climatisés sont apparus sur le marché. L'Empa a installé pour sa part au centre de calcul de l'EPFZ un programme de simulation du comportement des bâtiments pour le calcul du bilan de la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation sur la base de données météorologiques horaires, le DOE-2 [ref.2].

Un tel programme doit être validé sur la base de mesures faites sur des bâtiment réels avant d'être utilisé comme base de référence pour le jugement des installations de chauffage et climatisation.

Trois bâtiments mesurés de degré de complexité croissant ont donc été choisis pour servir de base à la validation du programme:

- Une maison familiale non habitée à Maugwil,
- Un immeuble collectif habité: "La Chaumière" à Lausanne,
- Un bâtiment administratif climatisé: immeuble Collins à Glasgow.

La maison familiale à Maugwil et l'immeuble collectif "La Chaumière" à Lausanne ont été l'objet de mesures détaillées sur les conditions de température à l'intérieur des zones de l'habitation, les échanges d'air, la consommation d'énergie et les conditions météorologiques [réf.1]. Les mesures sur la Chaumière ont permis de plus d'enregistrer l'influence de l'habitant sur la consommation d'énergie du bâtiment.

Les mesures sur la maison à Maugwil sont achevées et la simulation sur ordinateur a porté sur la période de l'hiver 1980-1981. Les données sur La Chaumière n'étant pas encore totalement disponibles, le calcul dans les conditions réelles n'a pas encore été réalisé. Les mesures sur le bâtiment administratif climatisé à Glasgow sont encore en cours et les données existantes ne portent encore que sur certaines zones et sur de courts intervalles. Les calculs de simulation sont là, pour l'instant, fragmentaires.

## 2. Maison familiale à Maugwil

### 2.1 Description du bâtiment

La maison, construite en 1979, est caractérisée par une construction massive au sous-sol et une construction en bois pour les deux étages supérieurs.

Le bâtiment est situé à environ 4 km au nord de Wil AG, à Maugwil, à une hauteur de 600 m au-dessus de la mer. Il est exposé au vent au haut d'une pente orientée vers le sud et n'est protégé par le terrain que du côté nord.

Principales données géométriques:

Surface de base:	9,11 m x 8,22 m =	74,9 m <sup>2</sup>
Hauteur du bâtiment :		10,0 m
Surface chauffée:		141 m <sup>2</sup>
Volume du bâtiment chauffé:		319 m <sup>3</sup>
Surface des façades extérieures		185 m <sup>2</sup>
Surface extérieure au volume chauffé:		350 m <sup>2</sup>
Surface des fenêtres:		29 m <sup>2</sup>

## 2.2 Préparation des données pour l'ordinateur:

Donnée des zones:

L'habitation a été divisée en 5 zones (fig. 1 et 2):

- trois zones chauffées constituées par:
  - au sous-sol: chaufferie, toilette/buanderie, hall d'entrée, surface chauffée: 31,7 m<sup>2</sup>
  - au rez-de-chaussée: cuisine, salle à manger, pièce d'habitation et studio, surface chauffée: 61,7 m<sup>2</sup>
  - à l'étage supérieur: salle de bain, chambre d'enfants est, chambre des parents, chambre d'enfants ouest, surface chauffée: 47,5 m<sup>2</sup>.
- une zone non chauffée constituée par la citerne de mazout et l'abris de protection antiaérienne.
- une zone intermédiaire formée par la cage d'escalier où règne une température située entre celle de la zone non chauffée et celle des étages supérieurs.

Le grenier situé à l'étage supérieur n'a pas été pris en considération vu son volume faible (env. 4 m<sup>3</sup>) et sa situation entre le toit en pente et la salle de bain. Il est donc regardé dans le calcul comme un espace d'air entre la jambette et la paroi de séparation avec la salle de bain (fig. 3).

Donnée des constructions:

Le programme doit disposer des données physiques sur les matériaux de construction, les matériaux isolants, les crépis et les revêtements utilisés. Ces grandeurs sont: l'épaisseur de la couche du matériau, sa conductivité thermique, sa masse volumique et sa chaleur spécifique. La composition des murs selon les couches successives doit être également définie pour calculer les coefficients de transmission de chaleur  $k$  et les facteurs de réponse (fonction de transfert) utilisés pour le calcul des flux de chaleur instationnaires.

Donnée des murs et des parois:

Le programme prévoit la donnée de 3 types de parois définissant la frontière des zones:

- Les murs externes en contact avec l'atmosphère (toit y-compris) pouvant être simulés par la méthode stationnaire ou par la méthode instationnaire des facteurs de réponse, ce sont alors des murs à charge retardée.
- Les murs sous-terrains et les parois et planchers internes donnés par leur coefficient de transmission de chaleur  $k$ .

Ainsi, les murs du sous-sol au contact de l'air extérieur, les murs externes du rez-de-chaussée, les frontons et les jambettes de l'étage supérieur sont donnés comme murs à charge retardée. Les parois en bois aggloméré séparant les trois pièces de l'étage supérieur des jambettes du toit sont considérés comme faisant partie d'un mur externe contenant un espace d'air. Le toit est donné par son coefficient  $k$  et ne présente donc pas de charge retardée. Cette supposition est justifiée par le fait que l'isolation thermique du toit est placée dans le plafond de l'étage supérieur et que par conséquent, la frontière supérieure du volume chauffé n'a que peu de masse (fig. 3).

Maugwil: rez - de - chaussée 1:50

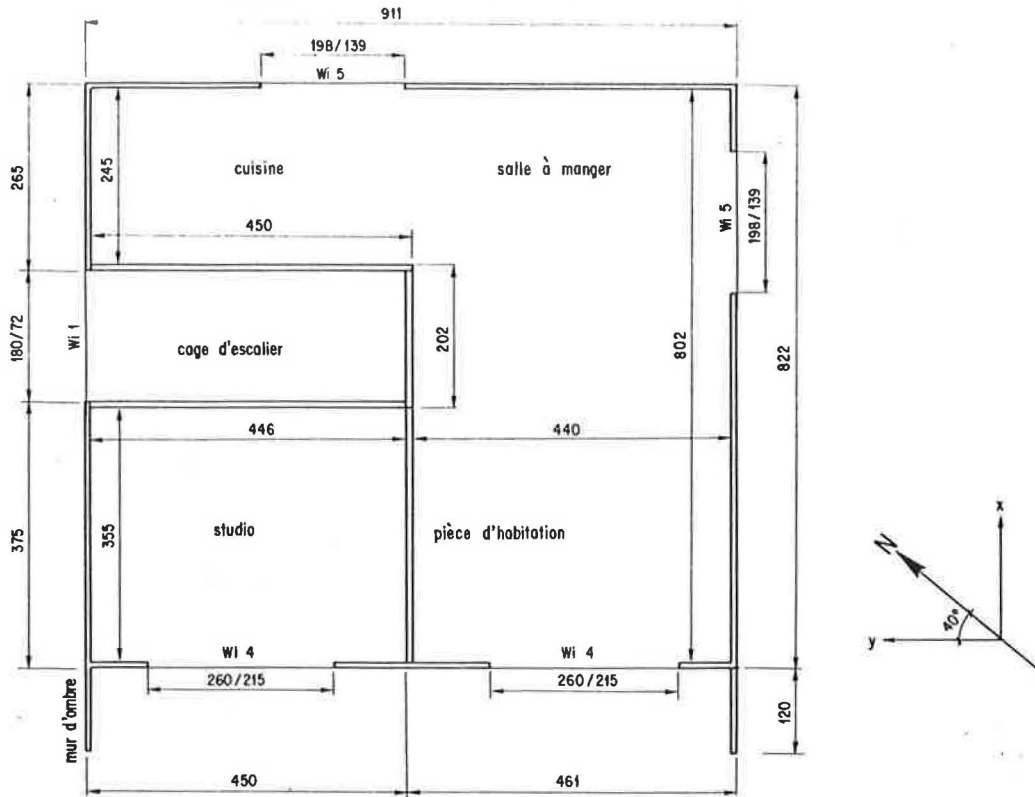


Fig.1

Maugwil: étage supérieur 1:50

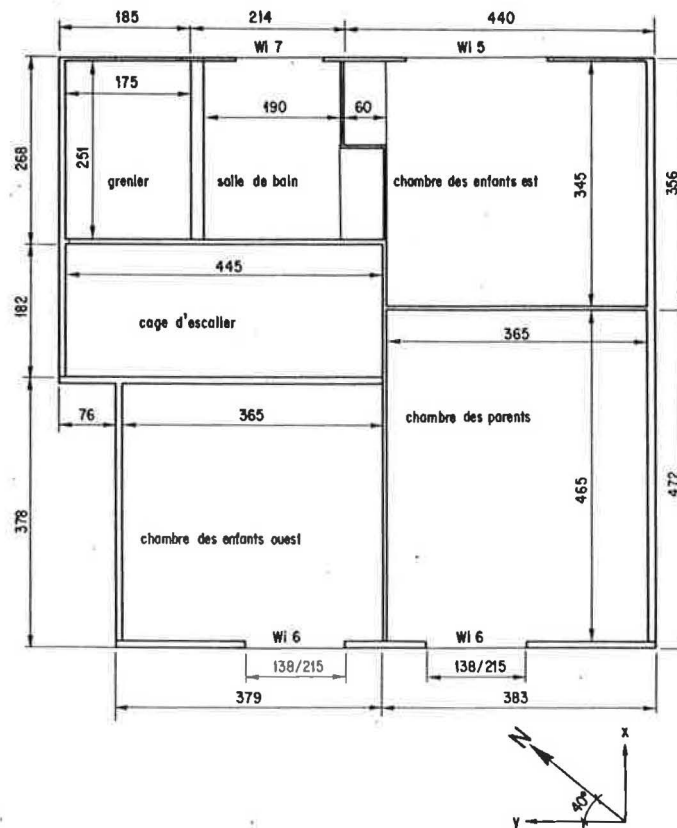


Fig.2

#### Donnée des fenêtres:

Toutes les fenêtres de la maison à l'exception de la fenêtre de la cage d'escalier sont à vitrage isolant (3 mm, 12 mm, 3 mm). La fenêtre de la cage d'escalier est à vitrage double (3 mm, 30 mm, 3 mm).

La surface vitrée et le cadre sont donnés séparément pour chaque fenêtre afin d'améliorer la précision de la simulation. Les caractéristiques du vitrage, à incidence normale et pour tout le spectre du rayonnement solaire, ont été supposées comme suit:

coefficient de transmission:	71 %
coefficient de réflexion:	16 %
coefficient d'absorption:	13 %

Coefficient de transmission de chaleur k mesuré sur une fenêtre en laboratoire: 2,44 W/m<sup>2</sup>K.

#### Calculs des facteurs de pondération (weighting factors)

Le programme DOE-2 calcule la charge de chauffage d'un local par la méthode des facteurs de pondération (fonctions de transfert entre les pertes de chaleur et la charge de chauffage).

Les facteurs de pondération des différents locaux ont été calculés pour la maison de Maugwil en admettant certaines suppositions:

- la fraction du rayonnement solaire absorbée dans le local par le plancher représente 50 %, le reste se répartissant entre les parois et le plafond.
- le plancher du rez-de-chaussée supporte une masse répartie d'environ 55 kg/m<sup>2</sup> (cheminée etc.).
- le plancher de l'étage supérieur supporte une masse répartie d'environ 55 kg/m<sup>2</sup> (poutres du plancher, conduite de la cheminée etc...).

#### Donnée du système de chauffage:

Le bâtiment est chauffée par une chaudière combinée à mazout d'une puissance nominale de 23,2 kW. La maison étant inhabitée pendant la campagne de mesures le réservoir du chauffe-eau a été vidangé et la pompe d'alimentation arrêtée. Le chauffage des locaux est assuré par des radiateurs à plaques et des convecteurs (ces-derniers étant installés dans le hall d'entrée, la pièce d'habitation et le studio). La puissance de chauffage des radiateurs actifs est de 9,5 kW dont 3,15 kW à l'étage supérieur.

Le système est conçu pour une température d'aller de l'eau de chauffage de 90°C et une température de 70°C au retour. Il est commandé par un thermostat extérieur qui règle la température d'aller selon une courbe de chauffage (fig. 4). Un abaissement nocturne de la température de l'eau de chauffage est également prévu. Les radiateurs et convecteurs de l'habitation (à l'exception de celui de la buanderie) sont, de plus, dotés de vannes thermostatiques. La courbe de chauffage a été gardée constante de jour comme de nuit jusqu'au 11 janvier 1981 (pas d'abaissement nocturne). Un abaissement nocturne de 20°C de la température d'aller de l'eau de chauffage a ensuite été introduit jusqu'à la fin de la période de mesure.

Evaluation des sources de chaleur autres que les appareils de chauffage:

Ces sources de chaleurs se répartissent en deux catégories:

- Les sources de chaleur n'entrant pas dans le bilan d'énergie mesuré par les compteurs de chaleur.
- Les sources comptabilisées par les compteurs de chaleur perdant leur chaleur dans la zone non-chauffée de l'habitation.
- Les premières sont constituées par les pertes par maintient en température de la chaudière (0,5 kW), les déperditions de chaleur de la conduite des gaz d'échappement (0,2 kW) et la dissipation de la puissance électrique des divers instruments de mesure installés dans la chaufferie (0,4 kW).
- Les secondes sont constituées par les pertes de chaleur des tuyaux de chauffage non isolés partant de la chaufferie et répartis dans les plafonds du sous-sol au-dessous de l'isolation phonique (env. 1,4 KW).

Le système de chauffage, tel qu'il est conçu dans la maison de Maugwil ne peut pas être simulé par le programme DOE-2. Il est caractérisé par un réglage par un thermostat extérieur de la température d'aller de l'eau de chauffage avec abaissement de 20°C pendant la nuit, associé à un réglage par vannes thermostatiques des différents radiateurs.

On peut simuler dans le programme un réglage du chauffage par des thermostats intérieurs avec abaissement de la valeur de consigne pendant la nuit ou bien un réglage de la température d'aller de l'eau de chauffage par un thermostat extérieur. C'est la première solution qui a été adoptée, c'est-à-dire que des valeurs de consigne pour les thermostats ont été données dans le programme sur la base des valeurs moyennes des températures mesurées.

Les émissions de chaleur des tuyaux de chauffage sont simulées, quant à elles, par des radiateurs disposés dans le sous-sol dont la puissance correspond aux pertes du système et qui sont réglés pas un thermostat extérieur.

### 2.3 Grandeurs mesurées pour les données de la simulation

Températures intérieures moyennes [°C] (N = nocturne, D = diurne)

		sous-sol chauffé	cage d'escalier	rez-de- chaussée	étage supérieur
octobre		22,4	17,7	20,4	19,5
novembre		21,8	16,4	20,3	19,4
décembre		21,8	16,3	20,0	20,1
janvier	N	20,0	14,7	18,9	18,3
	D	21,0	14,9	20,4	20,1
février	N	19,6	15,1	19,0	18,4
	D	20,6	15,4	20,5	20,1
mars	N	21,0	17,5	19,8	19,0
	D	22,1	17,9	21,4	20,8
avril	N	22,7	19,5	21,0	20,2
	D	23,9	20,0	22,8	22,0

La température intérieure moyenne des deux étages d'habitation se situe donc aux environs de 20°C pour le jour et aux environs de 19°C pour la nuit pendant la période de chauffage avec abaissement nocturne à l'exception du mois d'avril. L'augmentation d'environ 2°C de la température moyenne pendant le mois d'avril s'explique par un comportement faussé des vannes thermostatiques lorsque la température de l'eau de chauffage est basse.

Température du sol :

La température du sol a été mesurée à différentes profondeurs et différentes distances de la maison près de la cage d'escalier et de la chaufferie. La température régnant à 2,5 m de profondeur à proximité de la cage d'escalier a été prise comme donnée pour la moyenne mensuelle de la température du sol dans le programme. Cette température oscille entre 8 et 10°C pendant la période de chauffage.

La température du sol près de la chaufferie est sensiblement plus élevée (plus de 4 à 5°C), il a donc fallu réduire en proportion les surfaces extérieures des locaux concernés.

Infiltration de l'air :

Les échanges d'air ont été mesurés dans la maison de Maugwil par la méthode du gaz traceur avec fenêtres fermées et cheminée fermée mais non calfeutrée.

Une corrélation a été obtenue entre le renouvellement d'air, la différence entre les températures intérieure et extérieure et la vitesse du vent.

$$n_1 = 0,10 + 0,05 \cdot \Delta T^{0,8} + 0,01 \cdot v_w^{1,7} \quad \text{en h}^{-1}$$

pour le domaine de différence de température de 5 à 20 K et de vitesse du vent de 0 à 5 m/s. Cette relation a été linéarisée pour la donnée du programme:

$$n_1 = -0,05 + 0,024 \cdot \Delta T + 0,031 \cdot v_w \quad (\text{fig. 5 et 6})$$

Les échanges d'air entre les zones et par conséquent, les transferts-chaleurs par convection à l'intérieur de l'habitation sont pris en compte dans le calcul du programme par la donnée de parois internes fictives telles que leur surface et leur coefficient k redonnent le transport de chaleur. Le taux de renouvellement d'air dans la zone non chauffée est supposé égal à 1 h<sup>-1</sup>.

Données météorologiques:

Les grandeurs météorologiques suivantes ont été mesurées pendant les périodes d'hiver 1979-1980 et 1980-1981:

- température de l'air mesurée à l'angle de la façade nord-est
- vitesse du vent sur le toit
- humidité relative
- rayonnement solaire global sur une surface horizontale
- rayonnement solaire diffus sur une surface horizontale
- direction du vent
- pression atmosphérique.

Ces données sont mises à la disposition de l'ordinateur sous forme de valeurs horaires.

Maugwil: vue en élévation 1:50

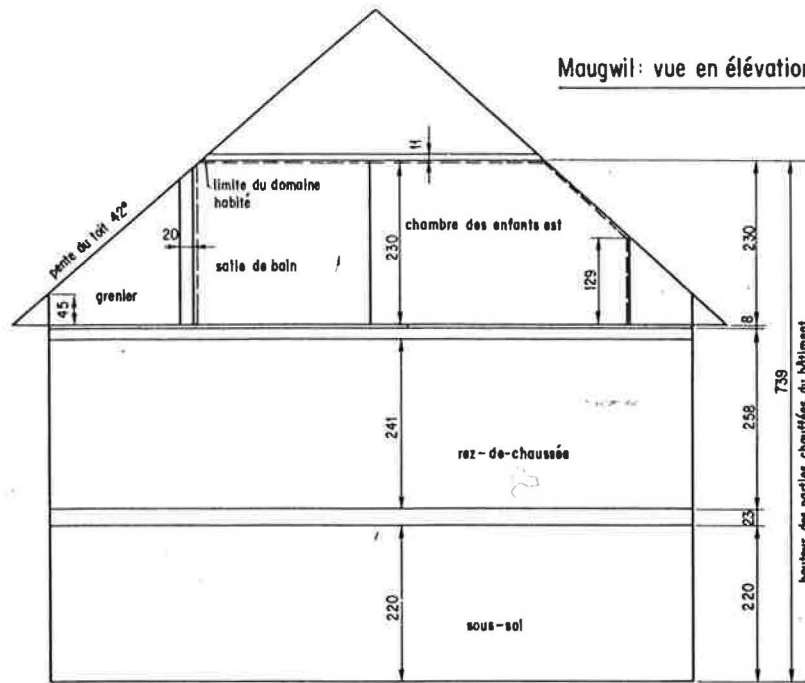


Fig.3

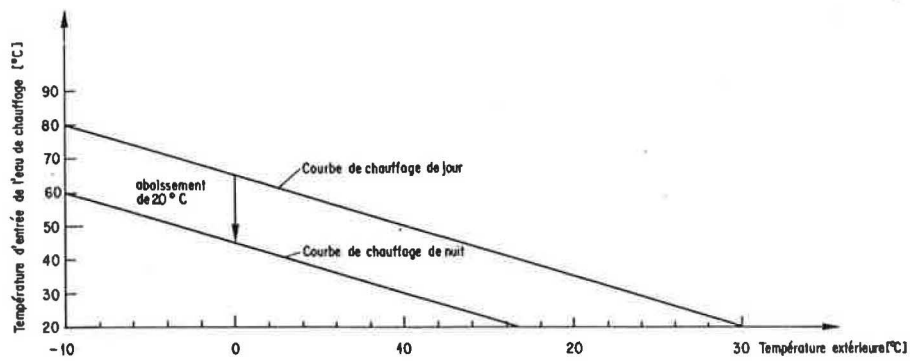


Fig.4

Taux de renouvellement d'air en fonction de la vitesse du vent

Mesures effectuées en hiver 80-81 avec cheminée non calfeutrée

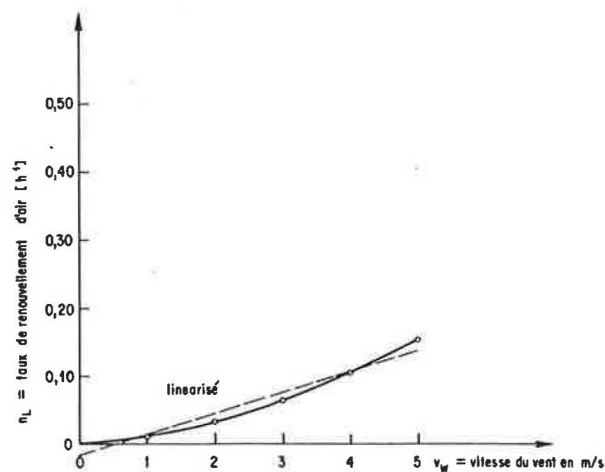


Fig.5



## 2.4 Résultats de la simulation, comparaison avec les mesures:

Les bilans de la consommation d'énergie de l'habitation calculés et mesurés se présentent comme suit (voir aussi fig.7).

	calcul DOE-2	mesure	écart mesure/calcul
octobre 1980 (à partir du 14)	3'759 MJ	4'102 MJ	+ 9,0 %
novembre	10'605 MJ	10'482 MJ	- 1,2 %
décembre	13'206 MJ	13'802 MJ	+ 4,5 %
janvier 1981	14'165 MJ	13'828 MJ	- 2,4 %
février	10'680 MJ	10'970 MJ	+ 2,7 %
mars	7'137 MJ	8'299 MJ	+ 16,3 %
avril (jusqu'au 15)	2'065 MJ	2'181 MJ	+ 5,6 %
<b>Total</b>	<b>61'617 MJ</b>	<b>63'664 MJ</b>	<b>+ 3,3 %</b>

Une première conclusion qui s'impose au vu de ces résultats est qu'un calcul de la consommation d'énergie d'un bâtiment avec une précision de 5 à 10 % est réalisable à condition de disposer de données précises sur le renouvellement d'air. Le mois de mars est le seul mois où l'écart entre la mesure et le calcul dépasse 10 %, une explication possible de ce fait est peut-être une valeur du renouvellement d'air réel plus grande que supposée.

Le programme livre en moyenne une consommation d'énergie de chauffage plus basse que dans la réalité, ce qui laisse supposer que l'estimation des gains solaire est trop optimiste.

### Constante de temps de la maison:

La constante de temps de la maison a été mesurée, lors d'un arrêt de 24 heures de l'installation de chauffage au mois de janvier, à partir de la chute de température pendant la nuit. L'intervalle de temps correspondant à une chute de 22 % de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur donne le quart de la constante de temps.

Valeur mesurée:  $T/4 = 7,5 \text{ h} \rightarrow T = 30 \text{ h}$   
 Valeur calculée:  $T/4 = 5,5 \text{ h} \rightarrow T = 22 \text{ h}$

La courbe de refroidissement calculée chute donc plus rapidement que la courbe mesurée (fig.8).

La constante de temps permet, du reste, de calculer la capacité thermique du bâtiment (CA), à condition de connaître la consommation spécifique de chaleur de la maison (transmission et renouvellement d'air) pour 1 K de différence de température (WA).

$$T = \frac{CA}{WA} \quad \text{pour Maugwil: } WA = 220 \text{ W/K}, \text{ donc, avec } T = 30 \text{ h}, \\ CA \cong 24 \text{ MJ/K (Rez-de-chaussée et étage supérieur).}$$

$$CA: [ \text{MJ/K} ] ; \quad WA: [ \text{W/K} ] ; \quad T: [ \text{s} ]$$

### Comparaison des évolutions horaires:

Les graphiques d'ordinateur des figures 9,10 et 11 montrent la comparaison des évolutions horaires mesurée et calculée de la consommation de chaleur et de la température de l'air à l'étage supérieur. La consom-

Taux de renouvellement d'air en fonction de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

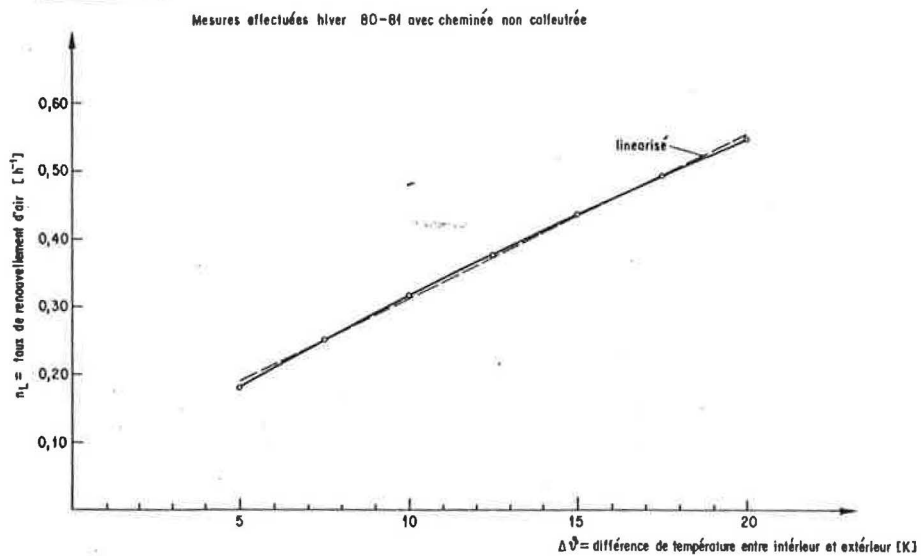


Fig. 6

Maison familiale à Mougwil: consommation de chaleur  
Période de chauffage 14 octobre 80 - 15 avril 81

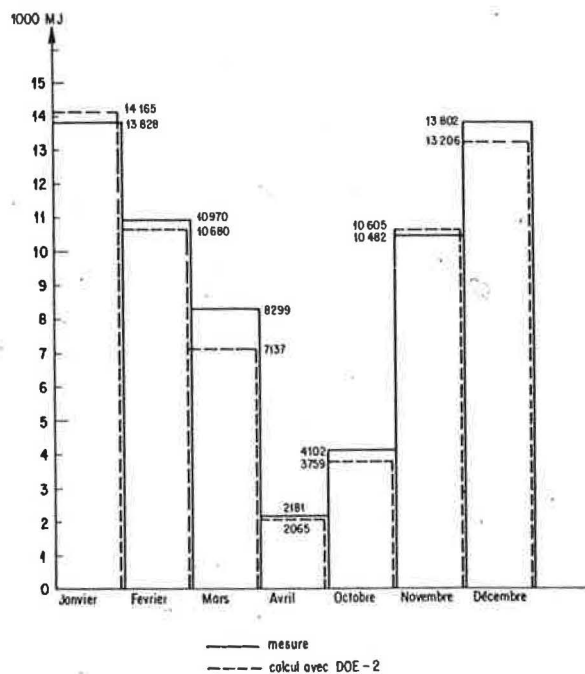
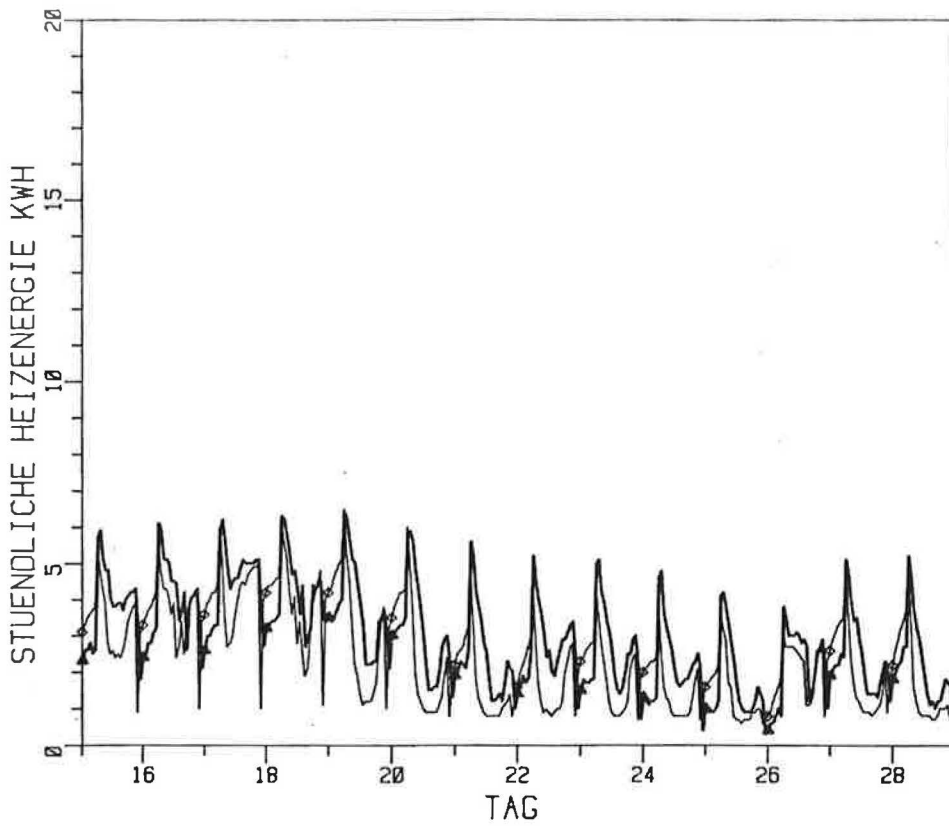


Fig. 7

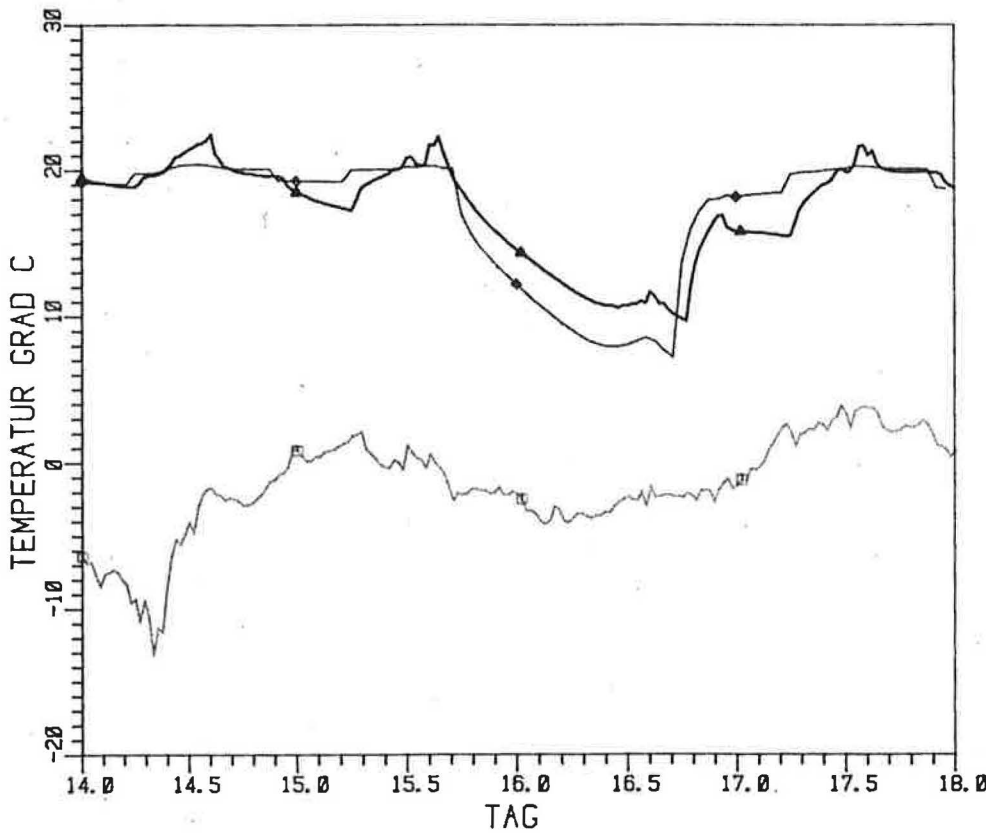
DOE21  $\diamond$ — $\diamond$   
MESS.  $\blacktriangle$ — $\blacktriangle$



06/08/82

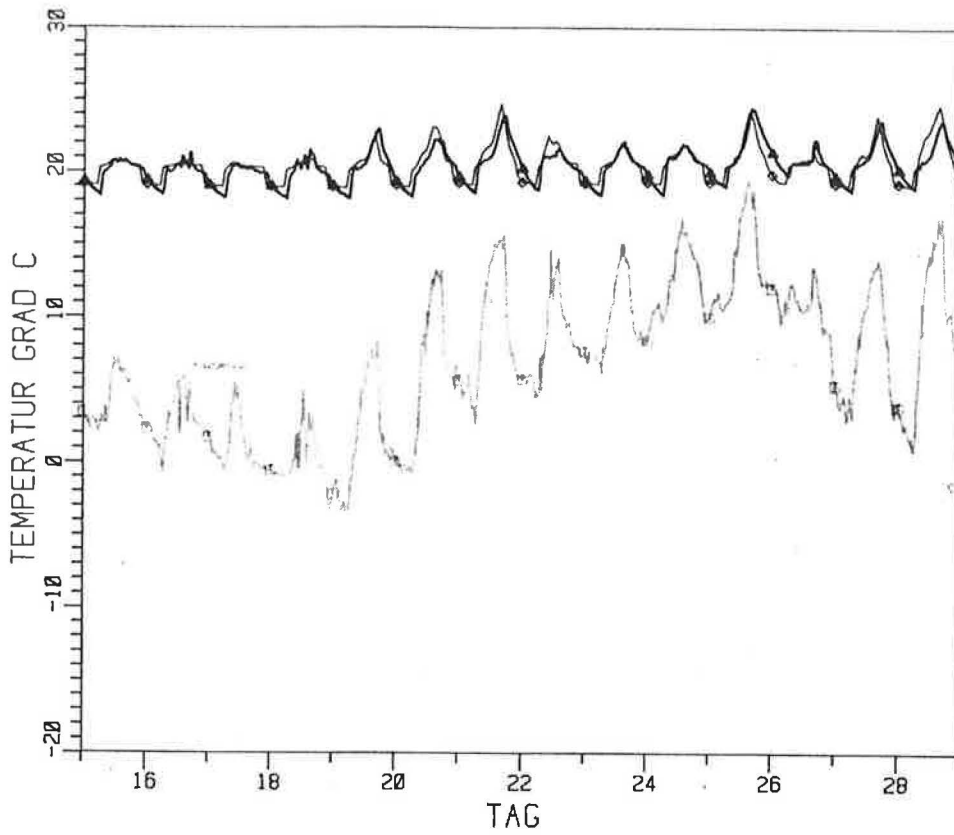
Fig.8

DOE21  $\diamond$ — $\diamond$   
MESS.  $\blacktriangle$ — $\blacktriangle$   
AUSSEN  $\square$ — $\square$



23/07/82

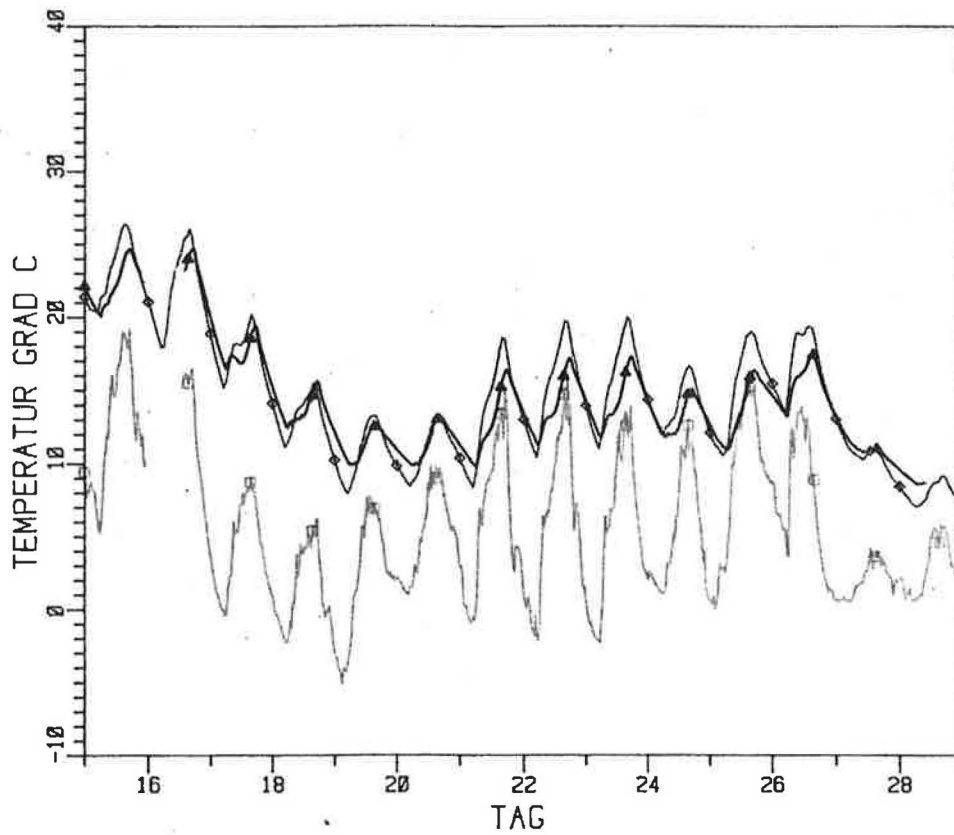
Fig.9



DOE21  $\diamond$ — $\diamond$   
MESS.  $\triangle$ — $\triangle$   
AUSSSEN  $\square$ — $\square$

06/08/82

Fig.10



DOE21  $\diamond$ — $\diamond$   
MESS.  $\triangle$ — $\triangle$   
AUSSSEN  $\square$ — $\square$

27/07/82

Fig.11

mation de chaleur calculée pour le mois de mars évolue parallèlement à la courbe mesurée avec un décalage (fig.8). Les creux de consommation au début de la nuit calculés sont dûs au mode de simulation choisi. La courbe de la température de l'air à l'étage supérieur du mois de mars suit fidèlement la grandeur mesurée (la température extérieure est également représentée). La figure 10 représente la même grandeur que précédemment à la fin du mois d'avril, donc après la période de chauffage. Les valeurs calculées atteignent des pointes plus élevées que les valeurs mesurées. Une explication possible à ce fait est la surestimation par le programme des gains solaires dûs au rayonnement diffus (le diffus atteint jusqu'à 300 W/m<sup>2</sup> en avril).

### 3. Immeuble collectif "La Chaumière" à Lausanne

#### 3.1 Description du bâtiment

La Chaumière est un immeuble locatif à 4 niveaux, 24 appartements avec balcons et une cage d'escalier centrale. Le volume brut est de 5'268 m<sup>3</sup>, la surface chauffée est de 1'357 m<sup>2</sup> et le rapport de la surface des percements à la surface totale des murs est de 2:9. Il y a une chaudière combinée d'une puissance de 164'800 kcal/h. Il existe une description détaillée du bâtiment et de l'appartement test par P. Favre et Ch. Trachsel [réf.6 et 7].

#### 3.2 Préparation des données

La préparation du modèle de simulation fut la suivante.

- Premièrement, nous avons divisé le volume occupé par les appartements en 13 zones d'après les températures mesurées à l'intérieur, à cela s'ajoute une zone pour la cage d'escalier et deux pour la cave.
- Deuxièmement, nous avons introduit les données géométriques qui permettent le calcul de l'ensoleillement et de l'ombrage; les données de construction qui permettent le calcul des facteurs de réponse pour les murs extérieurs et finalement les coefficients k pour les murs intérieurs. Ceci permet un calcul dynamique.
- Troisièmement, nous avons traité le toit comme un mur horizontal comprenant les couches suivantes: tuiles, lattes, air, béton et plâtre.

#### 3.3 Données météorologiques et grandeurs mesurées utilisées:

Les autres données utilisées furent les mesures météorologiques et les lois empiriques déduites à la Chaumière. Ces dernières permettent l'estimation d'horaires pour les taux de renouvellement d'air et la consommation d'électricité par zone. Les rayonnements solaires mesurés furent le rayonnement global sur une surface horizontale (GH) et les quatre rayonnements globaux sur des surfaces verticales (GS, GW, GE et GN) parallèles aux murs. Ces données se sont avérées très difficiles à utiliser dans le programme DOE-2 car ce-dernier nécessite la donnée du rayonnement global sur une surface horizontale (GH) et le rayonnement solaire direct sur une surface normale (DN). Nous avons donc voulu calculer DN à partir du rayonnement global sur les surfaces verticales et horizontales.

La première méthode utilisée fut celle d'ASHRAE [réf.4] qui est employée dans le programme DOE-2 pour calculer les rayonnements sur les murs.

$$GS = DN \cos \eta_{\text{sud}} + Y_{\text{sud}} \cdot BSCC + p_g \cdot GH/2 \quad (1)$$

$$\text{et } GH = DN \cdot \cos Z + BSCC \quad (2)$$

où  $\eta_{sud}$  = l'angle d'incidence du rayonnement, c'est à dire l'angle entre le rayon et la normale à la façade.

BSCC = rayonnement diffus sur une surface horizontale.

$\rho_g$  = réflectivité du sol .

$$Y_{sud} = 0,55 + 0,437 \cdot \cos \eta_{sud} + 0,313 \cdot \cos^2 \eta_{sud}$$

Z = l'angle entre le rayon et le zénith.

Avec cette méthode, où  $Y_{sud}$  peut-être plus grand que 1, nous obtenons beaucoup de valeurs négatives ou trop grandes pour DN. Pour éliminer les facteurs du type  $(Y_{sud} - Y_{est})$  nous avons introduit  $\rho_g = 0,2$ , mais les valeurs négatives persistaient. Etant donné que nous employons la même méthode que le programme DOE-2, l'introduction des ces valeurs négatives de DN dans DOE-2 devrait redonner les valeurs initiales de GW, GS et GE. Cependant, cela ne suffit pas, car le DOE-2 utilise également le rayonnement direct normal DN pour calculer les gains solaires à travers les fenêtres. Nous avons donc utilisé une méthode plus simple selon Liu et Jordan [réf.5].

$$GS = DN \cdot \cos \eta_{sud} + (1 + \cos \omega T) / 2 \cdot BSCC + (1 - \cos \omega T) / 2 \cdot \rho_g \cdot GH$$

où  $\omega T$  = inclinaison de la surface par rapport à l'horizontale (=  $90^\circ$ )

$$\text{alors } GS = DN \cdot \cos \eta_{sud} + \frac{1}{2} \cdot BSCC + \frac{1}{2} \cdot \rho_g \cdot GH \quad (3)$$

Nous obtenons des équations équivalentes pour GW et GE.

A partir des équations (2) et (3) nous obtenons DN. Nous avons ensuite comparé les rayonnements globaux qui sont calculés par le programme à partir de DN-calculé et de GH-mesuré avec les rayonnements mesurés à la Chaumière. Comme on le voit à la fig. 12, le rayonnement global dans le DOE-2 a tendance à être insuffisant pour la façade est et à devenir trop grand pour les façades sud et ouest, en particulier pour la façade ouest. Cette erreur peut être corrigée en modifiant les données des fenêtres.

Horaires pour le renouvellement d'air:

Les divers horaires sont étudiés en trois étapes:

premièrement, une simple évaluation à l'aide des deux rapports initiaux [réf. 6 et 7],

deuxièmement, une évaluation basée sur les lois empiriques établies pour la Chaumière,

troisièmement, l'emploi des horaires exactes.

Les lois empiriques sont les suivantes:

- relation linéaire entre les ouvertures de fenêtres et la température extérieure avec une correction pour le rayonnement solaire global journalier sur une surface horizontale,
- l'évolution temporelle du pourcentage des fenêtres ouvertes,
- relation linéaire entre la moyenne hebdomadaire de la puissance électrique et la température extérieure,
- profil de la moyenne journalière de la puissance électrique en fonction du temps [réf.8].

Les calculs du taux de renouvellement d'air par zone ( $n_{zone}$ ) sont alors basés sur ces lois ainsi que sur les mesures de  $n$  faites à la Chaumière dans l'appartement-test [réf.7]. Par exemple,  $n_{global} = 0,23 \text{ h}^{-1}$  pour un appartement avec fenêtres fermées. Le taux de renouvellement d'air moyen pour une pièce est donné par:

$$n_i(t) = F_i(t) \cdot n_{i0}(t) + (1 - F_i(t)) \cdot 0,23 \quad (4)$$

où  $n_{i0}(t)$  = taux horaire de renouvellement d'air pour le mois en question pour la pièce  $i$  quand une fenêtre est entrouverte,

$F_i(t)$  = fraction de fenêtres ouvertes,  $F_i(t)$  dépend des deux lois mentionnées,

$V_i$  = volume intérieur de la pièce  $i$ ,

$$\text{alors } n_{zone}(t) = (\sum_i n_i(t) \cdot V_i) / \sum_i V_i.$$

La figure 13 montre les taux horaires de renouvellement d'air pour trois types de zones en octobre.

### 3.4 Résultats de la simulation

Avec le modèle décrit, les données météorologiques et les horaires de la première étape nous avons fait deux calculs avec LOADS, la partie du programme DOE-2 qui calcule les charges de chauffage. Les taux de renouvellement d'air estimés dans la première étape sont nettement plus élevés que ceux de la deuxième étape.

#### Consommation de chaleur:

L'énergie utile de chauffage calculée pour les mois d'octobre 1981 à fin janvier 1982 avec une température intérieure de  $20^\circ\text{C}$ , un taux de renouvellement d'air de  $0,88 \text{ h}^{-1}$  pour octobre et de  $0,56 \text{ h}^{-1}$  pour les autres mois est de 156'957 kWh.

L'énergie utile calculée pour la même période et avec les mêmes données mais avec des températures plus réalistes d'environ  $23^\circ\text{C}$  est de 201'984 kWh.

Dès que des mesures additionnelles seront disponibles, les quantités d'énergie utiles calculées pourront être comparées aux mesures faites à la Chaumière. Ce pas franchi, nous pourrions inclure l'évolution temporelle de la température, ce qui permet l'emploi de la partie SYSTEMS du DOE-2 qui calcule la température effective des zones. Les taux plus exactes de renouvellement d'air pourront aussi être utilisés. D'autres comparaisons de calculs à l'aide du DOE-2 avec les mesures faites sur la Chaumière pourront alors être exécutées.

#### Conclusion:

Les premiers résultats des travaux de validation du DOE-2 montrent, qu'on peut, à condition de disposer de données météorologiques horaires précises et de données sur le renouvellement d'air, simuler avec une précision de 5 à 10 % le comportement thermique des bâtiments. Il faut toutefois remarquer ici que l'impact de l'analyste sur les résultats de la simulation peut être considérable [réf.9] et qu'un programme d'ordinateur n'est qu'aussi bon que l'utilisation qu'on en fait.

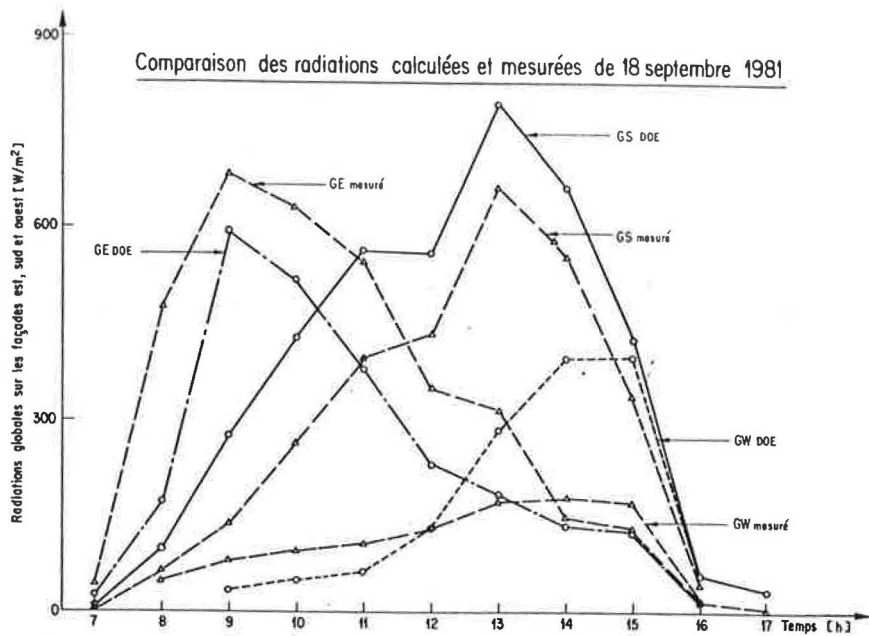


Fig.12

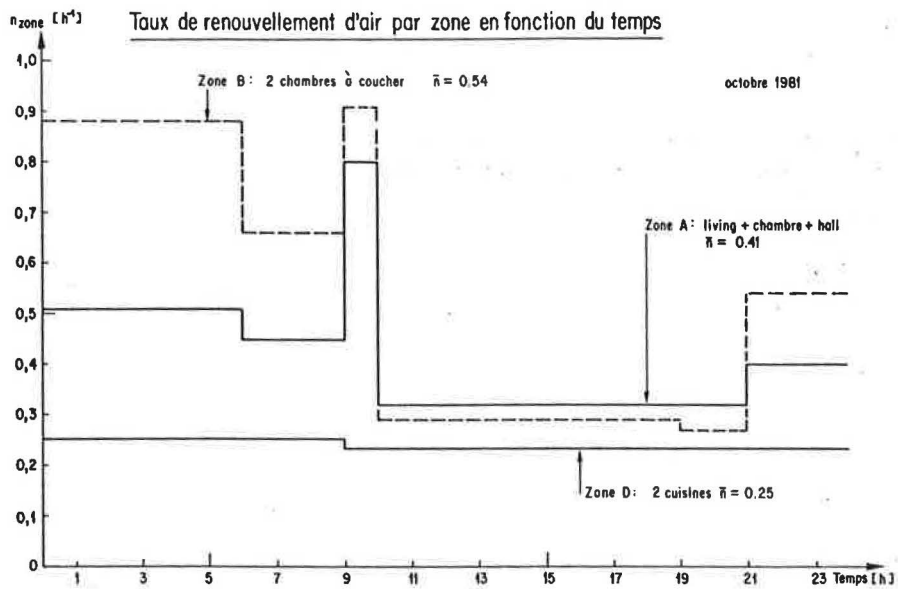


Fig.13



## Bibliographie

- [1] H. Mühlebach, "Langzeit-Untersuchungen betreffend Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses". EMPA-Nr. 39'400 c, April 81.
- [2] Th. Frank, J. Gass, B. von Allmen, "Rechenprogramme zur Ermittlung des Gebäudeenergiebedarfs." Heizung und Lüftung 3/81.
- [3] T. Kusuda, " comparison of energy calculation procedures". ASHRAE journal August 81.
- [4] ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1977.
- [5] J.A. Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes.
- [6] P. Favre, Ch. Trachsel, "Etude de cas: La Chaumière", EPFL rapport no 1, avril 1981.
- [7] P. Favre, Ch. Trachsel, "Infiltration et renouvellement de l'air: La Chaumière", EPFL rapport no 3, juillet 1981.
- [8] P. Favre, M. Hay, Ch. Trachsel, "La Chaumière", EPFL rapport no 4, juin 1982.
- [9] L. Jones, "The analyst as a factor in the prediction of energy consumption". Proceedings of the 2nd international CIB symposium, Copenhagen 1979.