

#4814

**Convection naturelle et forcée
dans des appartements
munis de vérandas.**



Alain NICLASS
Jean-Pierre EGGIMANN
Jean-Bernard GAY

Janvier 1990

Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

**CONVECTION NATURELLE ET
FORCEE
DANS DES APPARTEMENTS
MUNIS DE VERANDAS**

Table des matières

1. INTRODUCTION	2
2. APPROCHE EXPERIMENTALE.....	3
2.1 Objet étudié	3
2.1/1 Description des bâtiments et logements mesurés	3
2.1/2 Instrumentation.....	7
2.2 Méthodes de mesure	8
2.2/1 Mesures du taux de renouvellement d'air.....	8
2.2/2 Réalisation des mesures de renouvellement d'air.....	11
2.2/3 Mesure du débit de la ventilation par gaz traceur	13
2.2/4 Incertitude des mesures par gaz traceur.....	16
3. RESULTATS DES MESURES DE RENOUVELLEMENT D'AIR.....	17
3.1 Perméabilité à l'air des appartements et des vérandas.....	17
3.2 Comportement de l'occupant.....	20
3.3 Ventilation mécanique.....	24
3.4 Pertes thermiques par renouvellement d'air	31
3.5 Analyse des mesures de renouvellement d'air.....	33
4. TRANSFERTS DE CHALEUR VERANDA - APPARTEMENT	36
4.1 Convection naturelle.....	38
4.2 Convection forcée.....	40
4.3 Transfert de chaleur par convection	41
5. ETANCHEITE DE L'INTERFACE VERANDA-LOGEMENT	47
5.1 Considérations théoriques.....	47
5.2 Mesures effectuées.....	48
6. CONCLUSION.....	49
7. BIBLIOGRAPHIE	51

1 INTRODUCTION

La véranda est un élément solaire passif largement utilisé dans la pratique. Son efficacité en tant qu'élément de captage dépend toutefois autant de sa réalisation et de son implantation, que de l'usage qu'en fait l'occupant.

La présente étude réalisée dans le cadre du volet C du projet ERL (voir référence {11}) se concentre plus spécialement sur les mouvements d'air. Après avoir étudié le comportement de l'occupant en matière d'aération, elle montre l'effet du même occupant sur le transfert de chaleur, par convection naturelle ou forcée, de la véranda vers le logement adjacent.

Les résultats présentés ici sont complémentaires aux autres mesures effectuées, dans le cadre du projet NEFF 304, sur les bâtiments de la CIPEF à Préverenges.

2 APPROCHE EXPERIMENTALE

2.1 Objet étudié

2.1/1 Description des bâtiments et logements mesurés

Les logements mesurés se situent dans un complexe de trois bâtiments locatifs construits par la CIPEF (Coopérative Immobilière du Personnel Fédéral) à Préverenges, commune sise au bord du lac Léman à dix kilomètres à l'ouest de Lausanne. Ces bâtiments, totalisant trente-deux appartements, sont issus d'un concours d'architecture dans lequel un des critères d'appréciation était la recherche de l'économie d'énergie.

Pour parvenir à ce but, les architectes ont retenu les solutions suivantes :

- les bâtiments sont orientés et largement vitrés au sud (SSW)
- des vérandas en façade sud et espaces tampon en façade nord
- une isolation soignée des façades (mur et vitrage), ainsi qu'une bonne étanchéité à l'air
- la géométrie intérieure des logements a été pensée de manière à favoriser les échanges de chaleur des zones chaudes vers les zones froides
- des capteurs solaires actifs pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire (capteurs plan à eau)
- des installations techniques appropriées (chaudière à gaz à condensation et ventilation mécanique à régime variable)

Une description détaillée de ces bâtiments est donnée dans la référence {1}. Du point de vue de la ventilation, qui nous intéresse plus particulièrement, chaque demi-bâtiment dispose d'une installation mécanique d'extraction d'air à deux régimes.

La ventilation mécanique à deux vitesses est commandée par une horloge à programme journalier (nuit : arrêt / jour : petite vitesse / repas : grande vitesse). Chaque appartement est équipé de quatre bouches d'extraction d'air à clapet, commandé par l'enclenchement de la lumière ou par un interrupteur (cuisine, WC, bains et réduit). Pour assurer un taux de renouvellement d'air minimum, ces clapets ne sont pas totalement étanche et une ouverture réglable (au dessus de la fenêtre du séjour) permet l'admission de l'air extérieur (cf 3/3).

Deux de ces bâtiments (A et C) font l'objet d'un suivi expérimental par le Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment (LESO-PB) de l'EPFL.

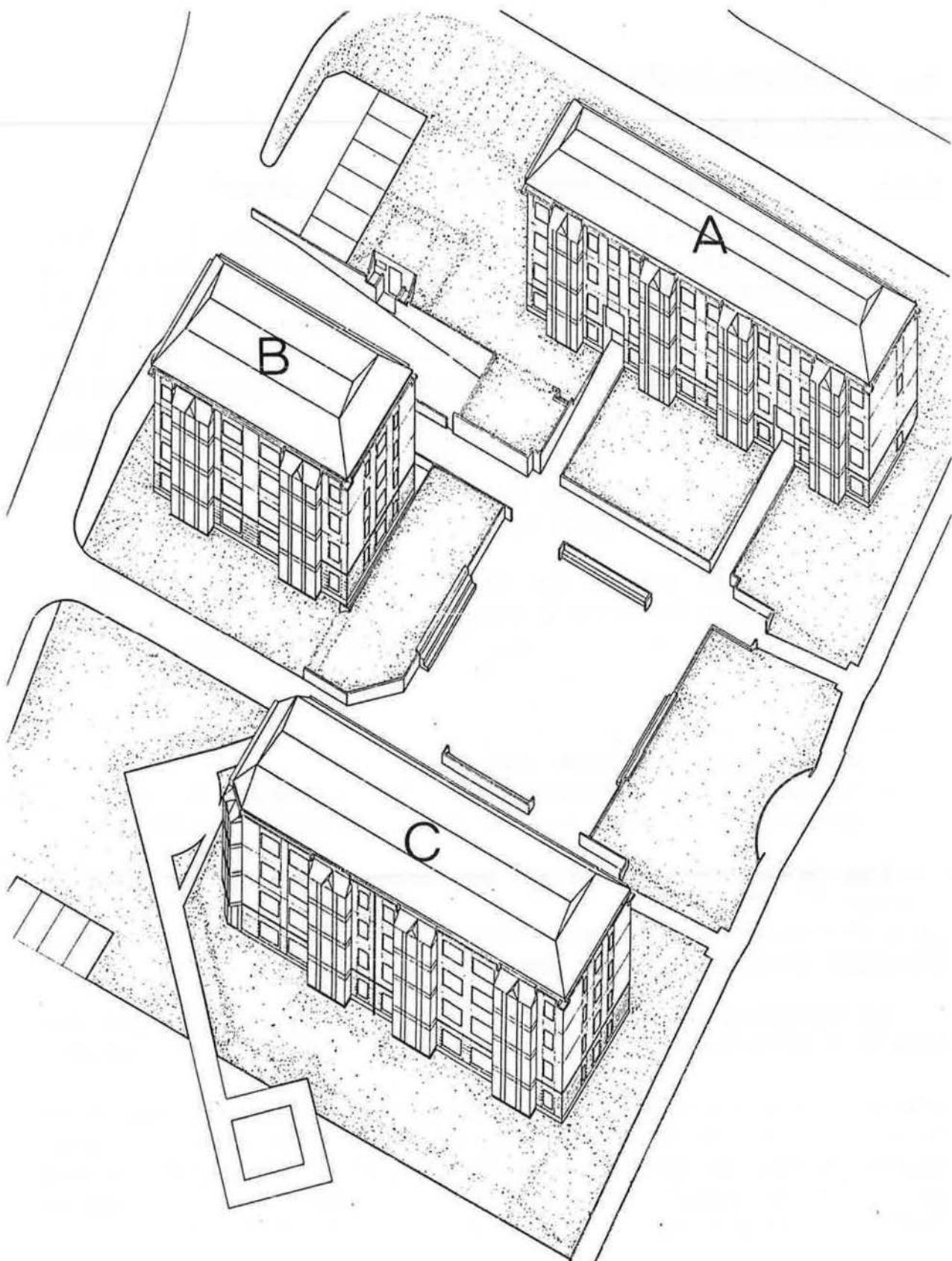


Figure 2.1 : Axonométrie des trois bâtiments de la CIPEF à Préverenges.

Etant donné le coût de l'instrumentation et les interventions nécessaires dans les appartements durant les périodes d'expérimentation, les mesures de mouvements d'air ont été limitées à cinq logements : trois appartements sur un niveau et deux duplex.

Logement	Bâtiment	Etage	Position	Type	Mesures
V	A	2-3	Centre-Est	Duplex (5 p.)	Renouv. air
W	A	0-1	Centre-Est	Duplex (5 p.)	Renouv. + conv.
X	C	2	Extr. Est	4 pièces	Renouv. air
Y	C	2	Centre-Est	3 pièces	Renouv. air
Z	C	1	Centre-Est	3 pièces	Renouv. + conv.

Tableau 2.2 : Liste et caractéristiques des logements mesurés.

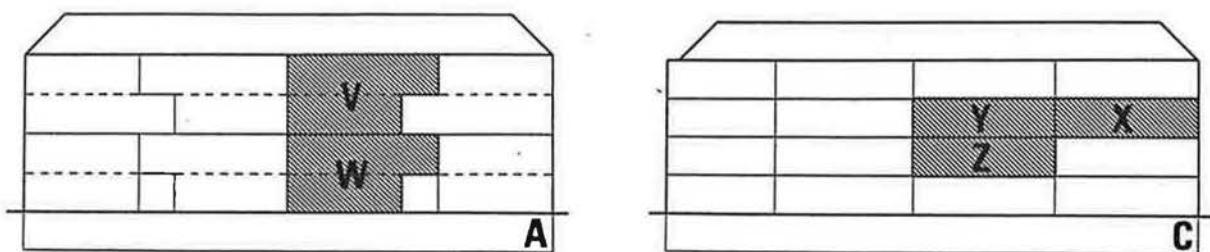


Figure 2.3 : Situation des appartements mesurés dans les bâtiments.

Les familles qui occupent ces appartements sont composées comme suit :

- V 1 couple avec 2 enfants (10 à 14 ans)
- W 1 couple avec 1 enfant (3 ans)
- X 1 couple avec 2 enfants (2 à 5 ans)
- Y 1 couple sans enfant
- Z 1 couple avec 1 enfant (1 an)

Sur les plans de ces appartements, on distingue les trois zones intéressantes : l'appartement proprement dit, la véranda sud et l'espace tampon nord (véranda). C'est sur ces trois zones qu'ont porté les mesures, tant en ce qui concerne le taux de renouvellement d'air de chaque zone, que le transfert de chaleur entre ces zones.

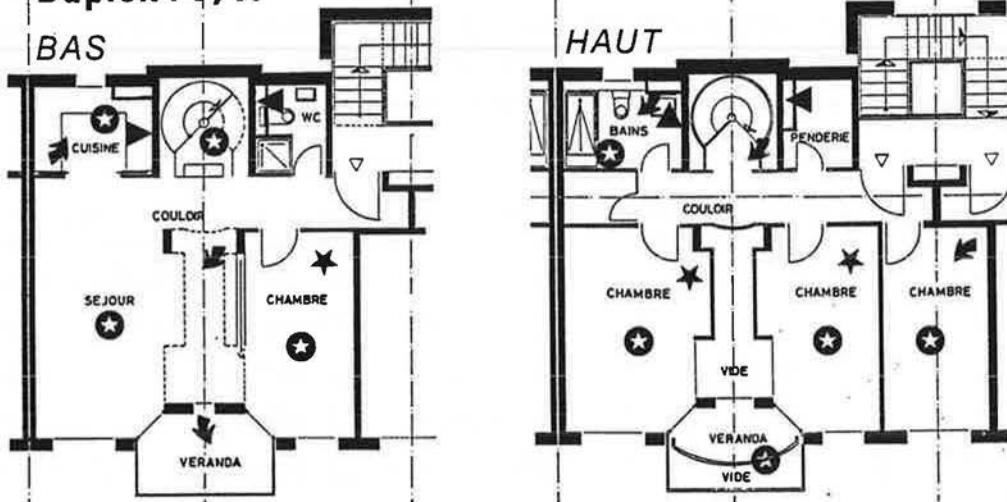
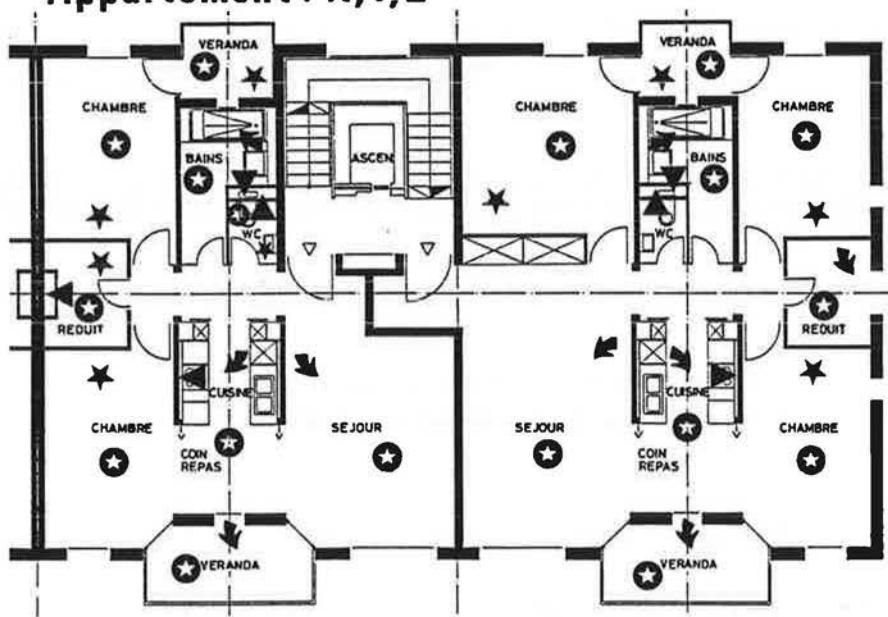
Duplex : V, W**Appartement : X, Y, Z**

Figure 2.4 : Plans typiques des appartements mesurés.

- ◀ Bouche d'extraction d'air ⬤ Mesure de gaz traceur
- ★ Injection de gaz traceur ➡ Injection avec ventilateur

2.1/2 Instrumentation

L'instrumentation des bâtiments de Préverenges est de deux types. Premièrement *l'instrumentation permanente*, c'est à dire les instruments de mesure qui fonctionnent 24 heures sur 24 à un endroit fixé. Deuxièmement *l'instrumentation mobile* qui n'est utilisée que durant des périodes bien déterminées et qui peut (et doit) être déplacée d'un endroit à un autre.

L'instrumentation permanente a été installée dans le but d'établir des bilans énergétique détaillés {2}. Elle permet d'obtenir en continu la mesure des grandeurs météorologiques suivantes :

- température de l'air extérieur
- rayonnement solaire global horizontal
- rayonnement solaire global vertical SSW
- rayonnement solaire global 45° SSW (plan des capteurs)

ainsi que d'autres grandeurs propres aux bâtiments :

- température de chaque chambre des appartements
- débit des installations de ventilation
- durée de fonctionnement des ventilateurs de convection forcée entre la véranda et l'appartement (seulement la moitié des duplex en est équipé)

D'autres paramètres météo sont encore mesurés au LESO, qui n'est éloigné que de trois kilomètres à vol d'oiseau. Ce sont :

- la vitesse et la direction du vent
- la pression atmosphérique

L'instrumentation mobile consiste en un certain nombre d'appareils qui doivent être déplacés d'appartement en appartement. Il s'agit essentiellement de :

- un appareil de mesure du taux de renouvellement d'air CESAR (Compact Equipment for Survey of Air Renewal) {3} utilisé principalement pour les mesures dans les logements, mais qui a aussi servi pour des mesures de débit dans les canalisations de la ventilation
- un anémomètre à fil chaud DYSA, conçu pour les basses vitesses, monté sur un support mécanique permettant sa translation automatique selon un axe vertical; ceci pour les mesures de profil de vitesse ou de température en des points particuliers du parcours de l'air

Cinq appartements sont équipés pour les mesures du taux de renouvellement d'air (V,W,X,Y,Z). Cet équipement consiste en deux tuyaux

(polyamide Ø 6mm) qui relient chaque pièce des appartements à un local de mesure situé à la cave (voir § 2/2.2).

2.2 Méthodes de mesure

2.2/1 Mesures du taux de renouvellement d'air

Le taux de renouvellement d'air est une des principales grandeurs mesurées dans ce travail. Elle sert aussi bien à déterminer l'étanchéité à l'air des appartements ou des vérandas, que le comportement de l'occupant en matière d'aération.

Cette grandeur exprime le nombre de fois par heure que le volume d'air du local mesuré est remplacé par de l'air "frais" (air provenant de l'extérieur ou d'un volume adjacent). Autrement dit, c'est le débit volumique d'air qui pénètre dans une zone (appartement, chambre, ...) rapporté au volume de cette zone. Le taux de renouvellement d'air se note n et a comme unité $[1/h]$ ou $[h^{-1}]$.

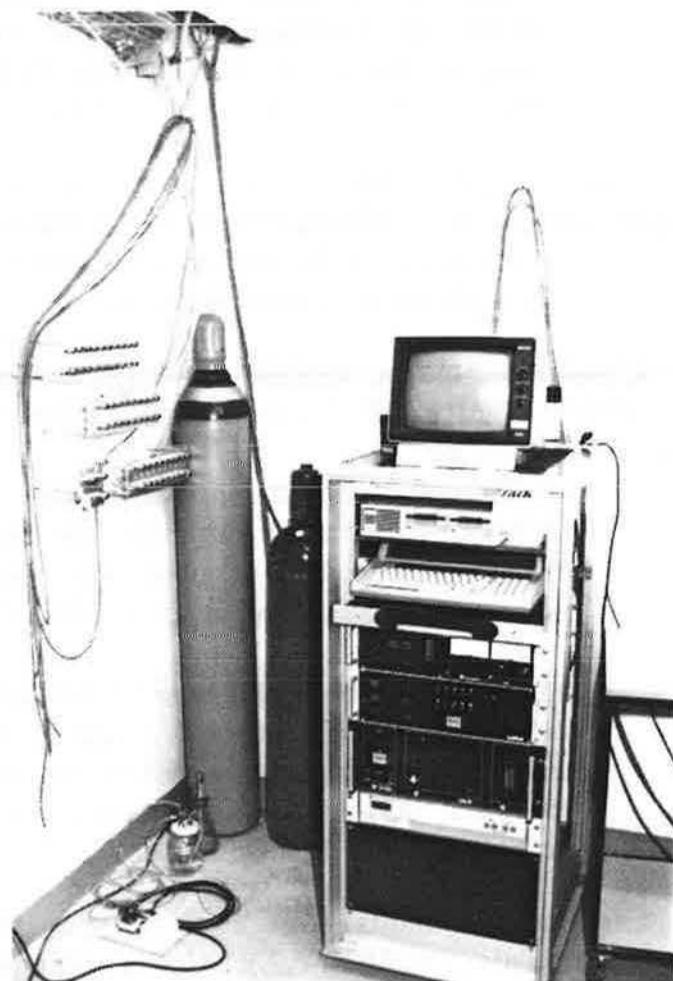


Figure 2.5 :
Appareil de mesure du
taux de renouvellement
d'air CESAR.

L'appareil utilisé pour mesurer le taux de renouvellement d'air est le CESAR, développé au LESO-PB (figure 2.5 et référence {3}). La mesure est effectuée au moyen d'un gaz traceur, la méthode utilisée étant dans notre cas celle de la concentration constante.

Tel qu'utilisé, cet appareil fonctionnait selon le principe décrit ci-dessous. L'appareil est raccordé (au travers du réseau de tuyaux fixes décrits au § 2.2/2) aux différentes zones que l'on souhaite mesurer (chambre, véranda, appartement). Le gaz traceur (protoxyde d'azote : N₂O) est alors injecté dans ces espaces, puis maintenu à une concentration constante (100 ppm) par un algorithme de régulation de l'injection qui agit après mesures prises à intervalles réguliers (10 minutes).

Toute arrivée d'air neuf (qui ne contient pas de gaz traceur) provenant de l'extérieur, ou d'une zone non mesurée, provoquera par dilution une diminution de la concentration du gaz traceur. Après détection de cette diminution, l'appareil réinjectera la quantité de gaz nécessaire à ramener la concentration à sa valeur de consigne.

Du point de vue théorique, les équations de conservation de la masse d'air et de la masse de gaz traceur (équation 2.1) permettent de montrer que si l'hypothèse de la concentration constante est vérifiée, alors la quantité d'air "frais" qui a pénétré dans la zone mesurée est directement proportionnelle à la quantité de gaz injectée pour compenser la baisse de la concentration {4}.

$$\frac{V_i}{T_i} \cdot \frac{dC_i}{dt} = \frac{q_i}{T_q} + \sum_{j=0}^I \left\{ \frac{C_j - C_i}{T_j} \cdot Q_{j \rightarrow i} \right\} \quad i=0, \dots, I \quad (\text{Eq. 2.1})$$

où on a pour la zone i : V_i, T_i volume et température
 C_i concentration de l'air en gaz traceur
 Q_{j → i} flux d'air provenant de la zone j
 q_i débit d'injection de gaz traceur
 T_q température du gaz à l'injection

L'appareil enregistre ainsi la concentration mesurée (courbe continue de la figure 2.6) et la quantité de gaz injectée (courbe pointillée de la figure 2.6); ce qui permet lors du dépouillement des mesures de calculer le taux de renouvellement d'air.

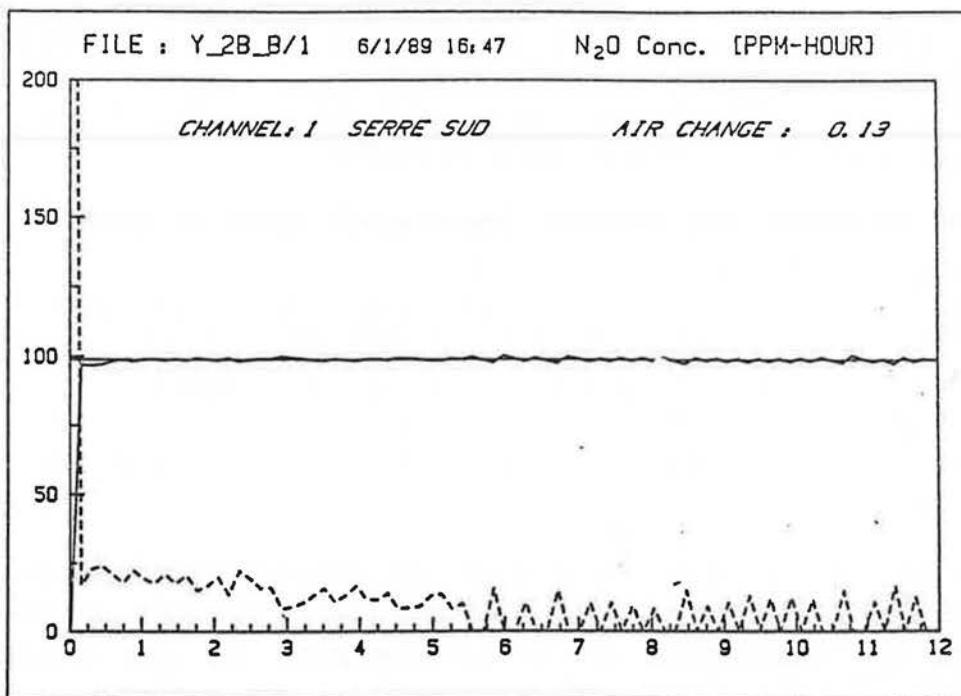


Figure 2.6 : Graphique d'une mesure du taux de renouvellement d'air avec CESAR.
 Courbe de la concentration en gaz traceur N₂O mesurée : ——————
 Courbe de la quantité de gaz traceur injectée : - - - -

Cette méthode ne permet de mesurer directement que la quantité d'air "frais" qui est entrée dans la zone mesurée, mais pas la quantité d'air qui sort de cette zone. En effet, lorsqu'une certaine masse d'air s'échappe du volume, ceci ne fait pas chuter la concentration en gaz traceur et ne peut donc pas être mesuré par le CESAR. Il est clair que le bilan des flux d'air entrant et sortant est globalement nul, mais l'air peut suivre plusieurs cheminements qu'il n'est pas toujours possible d'identifier clairement.

Cette méthode de mesure du taux de renouvellement d'air présente quelques points délicats. Premièrement on fait l'hypothèse que la dilution du gaz est parfaite (mélange homogène) et instantanée. Dans la pratique, il faudra s'arranger pour que l'on soit le plus près possible de ces hypothèses (utiliser des ventilateurs par exemple). Ensuite il faut estimer le volume d'air où est effectivement réalisé le mélange homogène. C'est à dire qu'il faudra soustraire des volumes donnés par les plans tous les volumes "morts" où l'air n'est pas brassé (meubles, plafonds suspendus, ...).

Pendant la mesure proprement dite, la régulation à une certaine inertie. En effet, celle-ci ne s'occupe d'une zone que pendant une minute toutes les dix minutes environ. Donc tout ce qui se passe dans cette zone

alors que la régulation est occupée par les autres zones reste invisible pour elle. Si une aération fait chuter brusquement la concentration de gaz traceur, la régulation ne pourra pas rétablir immédiatement la concentration de consigne. Cela peut prendre quelques dizaines de minutes. Le cas le plus défavorable se produit lorsqu'une grande aération qui a duré plusieurs dizaines de minutes cesse brusquement. L'inertie de la régulation qui devait injecter de grandes quantités de gaz fait que la concentration peut dépasser très largement le niveau de consigne. Comme on ne peut pas enlever de gaz, la mesure peut rester inutilisable pendant plusieurs heures parfois. Cela peut même déclencher une alarme de surconcentration prévue pour éviter les injections intempestives et stopper ainsi la procédure de mesure.

2.2/2 Réalisation des mesures de renouvellement d'air

Le fait que ces mesures soient effectuées dans des logements est une des limitations majeures dans le choix et la liberté de réalisation de telles mesures. On peut atténuer notamment ces limitations en concevant une installation de mesure aussi discrète que possible. Afin qu'elle soit relativement bien reçue par les locataires, il importe de ne pas les gêner et de ne pas modifier leurs habitudes de vie; ce d'autant plus que c'est finalement l'un des buts de ce travail que d'étudier ces dernières.

L'appareil de mesure du taux de renouvellement d'air CESAR est à peu près de la taille d'un réfrigérateur et son utilisation nécessite deux mètres carrés de surface de plancher au minimum. Pour assurer une bonne répartition du gaz traceur dans tout l'appartement, il est indispensable d'avoir un point d'injection et un point de mesure de concentration pour chacune de ses pièces. Cela équivaut donc à une vingtaine de tuyaux qui parcourront le logement. De plus cet appareil est très bruyant et n'est pas protégé contre des interventions intempestives. Et comme sa mise en oeuvre requiert aussi de pouvoir y accéder au moins une fois par jour, il est donc hors de question de l'installer dans un appartement.

Pour toutes ces raisons, la solution retenue fut de relier par deux tuyaux (polyamide Ø 6mm, mesure et injection) chaque pièce des cinq appartements à un local de mesure situé au sous-sol (figure 2.7). Dans ce local, une série de blocs de prises pneumatiques permet au CESAR de se relier directement à l'appartement désiré. Ainsi la seule partie visible de cette instrumentation dans les logements est deux raccords pneumatiques au plafond de chaque pièce (figure 2.8). Cette installation doit malheureusement être planifiée avant la construction des bâtiments, car il faut prévoir des gaines permettant le passage des tuyaux.

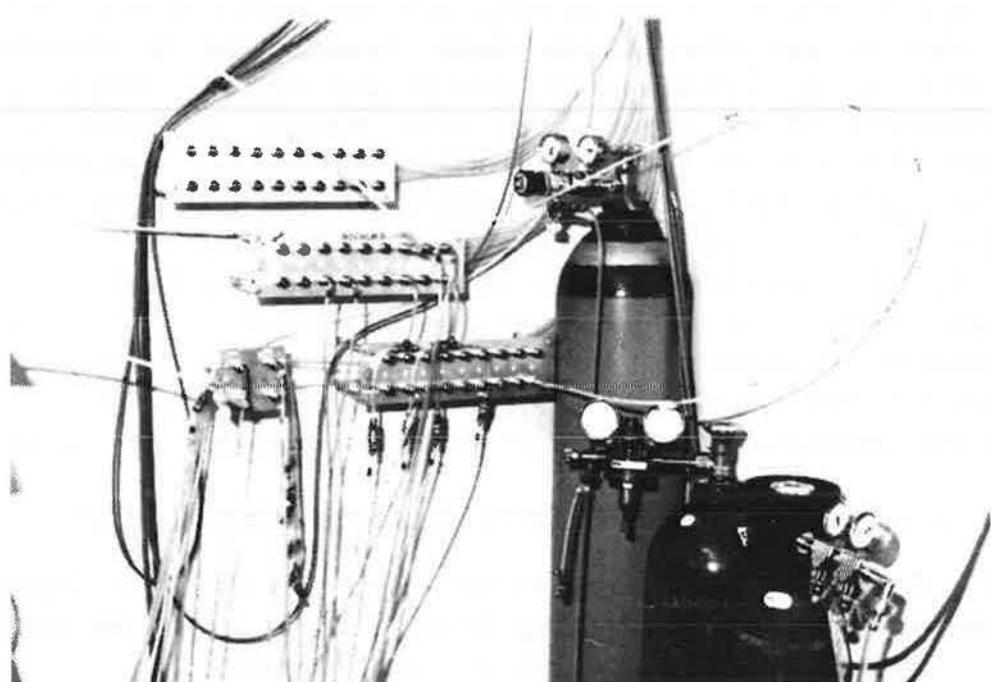


Figure 2.7 : Local de mesure : bloc de prises pneumatiques permettant de se raccorder aux appartements pour la mesure de la concentration et l'injection de gaz traceur N₂O.

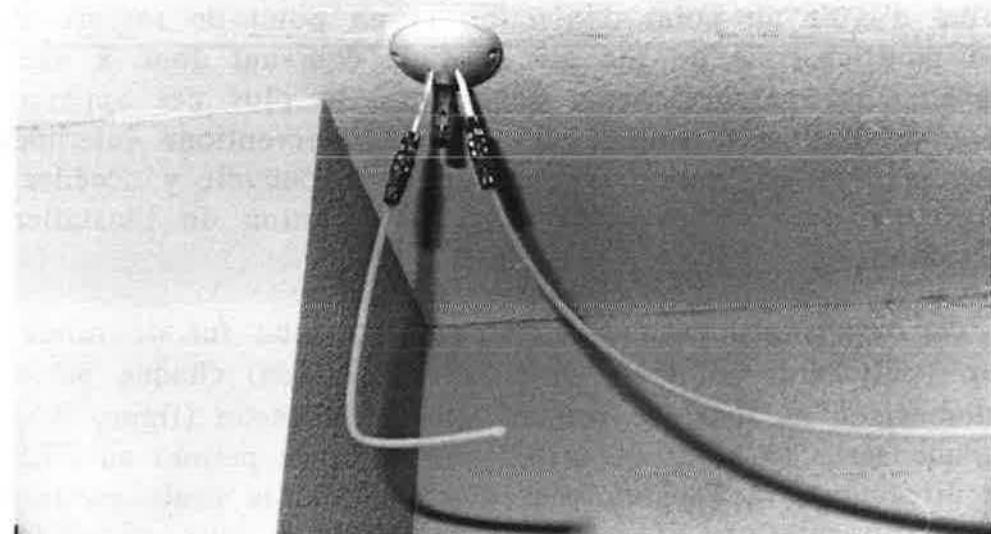


Figure 2.8 : Appartement : prises pneumatiques pour le raccord des rallonges de mesure et d'injection de gaz traceur N₂O.



Figure 2.9 : Appartement : ventilateur pour l'injection et le mélange du gaz traceur.

Pour les mesures proprement dites, il est nécessaire de prolonger les deux tuyaux vers le centre des pièces, afin d'assurer un bon mélange du gaz traceur dans l'air et d'avoir une mesure de la concentration la plus représentative (figure 2.4 et 2.8). Comme les tuyaux sont tendus au plafond, ceux-ci n'entravent en rien la liberté de mouvement des locataires. Dans la mesure du possible (bruit et courant d'air), on peut faire l'injection au travers d'un petit ventilateur (figure 2.9), ce qui accélère et améliore le brassage de l'air.

Pour chaque période de mesures (1 à 2 semaines), le temps d'intervention dans les appartements est ainsi réduit à deux demi-journées pour l'installation et le démontage des tuyaux. Sinon les mesures se pilotent entièrement à partir du local de mesure, sans interférer avec la vie des habitants.

2.2/3 Mesure du débit de la ventilation par gaz traceur

La connaissance du débit de la ventilation mécanique est indispensable afin d'évaluer la part du taux de renouvellement d'air due à cette ventilation et celle due à l'aération provoquée par les occupants. Pour le cas de l'air dans de grandes canalisations comme celles d'une ventilation, il n'existe pas de débit-mètre qui mesure le débit globalement, on est obligé d'avoir une connaissance du profil de vitesse sur la section de la canalisation.

Dans le cas où on dispose d'une grande longueur de canalisation rectiligne en amont du point de mesure (10 à 20 fois le diamètre), on peut faire l'hypothèse que le profil est très proche de la théorie. Celle-ci donne une équation pour le profil qui dépend du régime d'écoulement de l'air dans lequel on se trouve (laminaire ou turbulent selon la vitesse de l'air, déterminé par le nombre de Reynolds). Si on ne dispose pas d'une telle longueur mais que le profil est stationnaire, on peut le mesurer une fois pour toute. Dans ces deux cas il suffit alors de disposer un anémomètre au centre du conduit et de pondérer cette valeur en tenant compte du profil. Il faut faire attention au fait que, dans les deux cas, le régime d'écoulement peut changer lorsque la vitesse de la ventilation change. L'allure du profil change alors radicalement d'un régime à l'autre. Dans le cas d'un profil instable, il faut recourir à une grille d'anémomètres qui donne une image instantanée et continue du profil de vitesse. Inconvénient, il n'est pas toujours possible d'installer une telle grille après coup et de tels dispositifs sont assez coûteux.

A Préverenges, aucun de ces cas n'est réalisé (figure 2.10). On dispose d'un anémomètre à hélice ou à fil chaud (Schiltknecht Mini-air et Thermo-air) pour chaque installation de ventilation, mais pas d'une longueur de canalisation rectiligne suffisante (\varnothing 50 cm, longueur 3-4 m) et de plus le profil est très instable. Il faut donc connaître le débit d'une autre manière afin de corriger la lecture des anémomètres. Pour cela nous avons exploité une autre utilisation des gaz traceurs {5}.

On injecte des pulses de gaz de masse bien déterminée en amont du ventilateur (>10m), puis on mesure l'évolution de la concentration du gaz en fonction du temps en aval. Ce qui est important dans cette technique est que tout le gaz injecté passe par la section où on fait la mesure et que le mélange y soit parfait (concentration uniforme sur la section). L'endroit déterminant pour le débit est celui où on fait la mesure de concentration, l'endroit où est injecté le gaz importe peu (ceci peut même être fait dans un affluent de la canalisation mesurée), pourvu que les deux conditions ci-dessus soient satisfaites.

$$\text{Calcul du débit : } Q = \frac{V}{\int_{t_0}^t C(t) dt}; \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (\text{Eq. 2.2})$$

où : V volume de gaz traceur injecté [m^3]
 $C(t)$ concentration de gaz traceur mesurée [-]

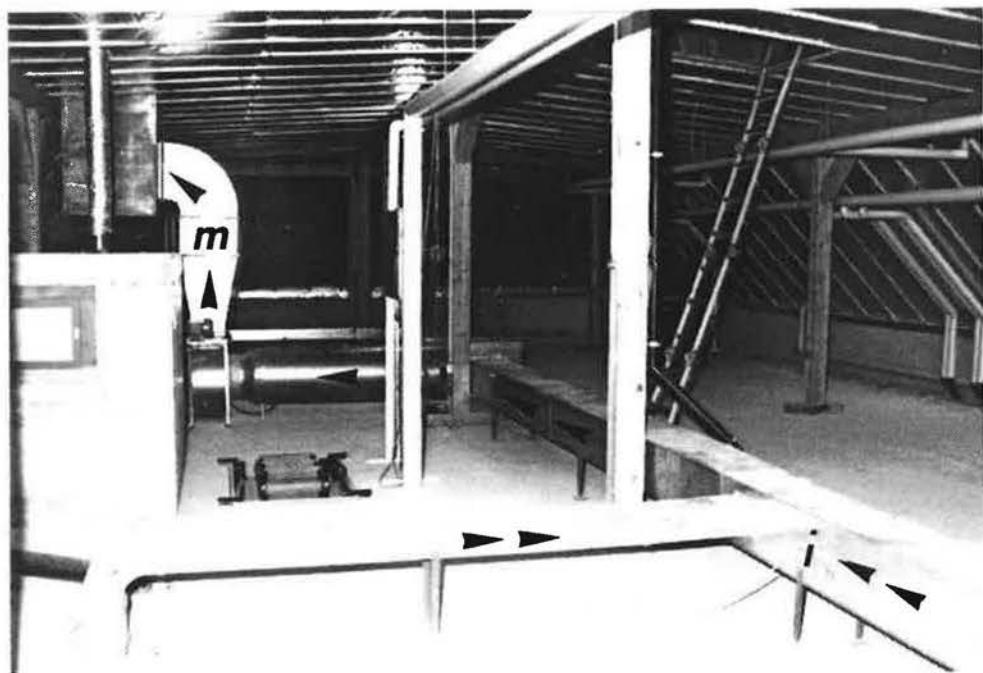


Figure 2.10 : Installation technique : moteur et canalisations de la ventilation.
i Injection du gaz traceur *m* Mesure du gaz

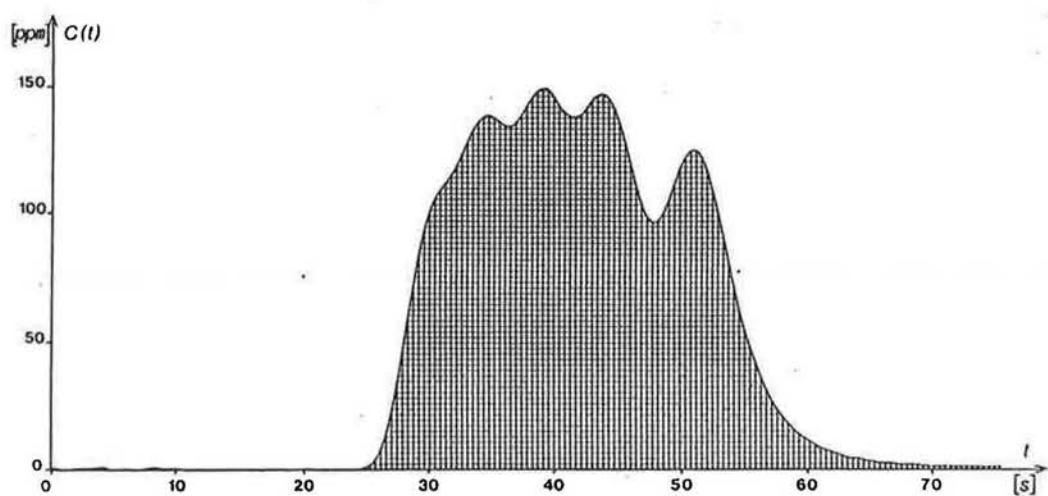


Figure 2.11 : Graphique de la courbe de concentration mesurée lors d'une mesure de débit par gaz traceur.

Le volume de gaz injecté divisé par l'intégrale temporelle de la concentration volumique donne directement le débit (équation 2.2 et figure 2.11). En reportant le débit en fonction du signal délivré par les anémomètres pour chaque régime de ventilation on obtient ainsi la courbe de calibration de ces anémomètres.

L'avantage de cette méthode est qu'elle n'est pas influencée par les méandres des gaines de ventilation. On calibre l'ensemble anémomètre et canalisations. L'inconvénient est qu'elle assez lente, elle n'est utilisable qu'en condition stationnaire (il faut 1 à 3 minutes pour obtenir une mesure). Elle n'est pas utilisable pour des mesures continues.

2.2/4 Incertitude des mesures par gaz traceur

Les causes d'incertitudes dans ce genre de mesure sont multiples. D'une part parce que l'appareil CESAR est relativement complexe; et d'autre part du fait que l'on ne travaille pas dans des conditions de laboratoire bien définies, mais que l'on est soumis à des conditions fluctuantes parfois mal définies que l'on ne peut pas contrôler.

Les causes d'erreurs directement rattachées au principe de mesure sont les suivantes :

- calibration de l'injection de gaz traceur (débit)
- calibration de la mesure de concentration en gaz traceur (BINOS)
- qualité de la régulation (réactions rapides et appropriées)
- mélange du gaz traceur (homogénéité et rapidité)
- estimation du volume de mélange effectif
- conditions de mesure (régime d'aération variant fortement)
- hypothèse de la théorie (températures, ...)

Globalement, on peut estimer l'incertitude à 15% si les conditions lors de la mesure n'étaient pas trop défavorables. Cela se vérifie en contrôlant que la concentration de consigne a bien été maintenue ($\pm 5\%$). L'algorithme utilisé admet des températures identiques dans toutes les zones, ce qui conduit à un biais systématique pour des mesures d'hiver [4]. Si on considère deux zones, l'appartement à 20 degrés et l'extérieur à 0 degré (ce qui est à peu près le cas pour nos mesures d'hiver), cela donne une surestimation du taux de renouvellement d'air de l'appartement d'environ 7%.

En ce qui concerne les mesures de débit dans les canalisations de la ventilation, on peut aussi s'attendre à des erreurs de 15%.

3 RESULTATS DES MESURES DE RENOUVELLEMENT D'AIR

3.1 Perméabilité à l'air des appartements et des vérandas

Par *perméabilité* nous désignons ici le taux de renouvellement d'air sans l'influence des occupants. Cette grandeur représente donc les infiltrations d'air dues à la ventilation mécanique (extraction d'air) et aux conditions extérieures (différence de température, vent). On pourrait aussi parler de d'étanchéité qui est la notion inverse, mais il y a risque de confusion dès que l'on compare les valeurs numériques.

Pour mesurer cette perméabilité, il faut donc éliminer l'influence de l'occupant (aération par ouverture des fenêtres). Ceci peut se faire idéalement lorsque les locataires sont absents (week-end, vacances), mais cela n'est pas toujours possible. Il faut souvent se contenter de leur donner des consignes d'aération, tout en étant bien conscient qu'on a aucun moyen de contrôle. Dans notre cas, des mesures de week-end ne nous permettaient de toute façon pas de faire toutes les mesures souhaitées. Nous avons donc décidé de respecter ce moment de tranquillité et durant les mesures nous donnions comme consigne de n'aérer que brièvement deux fois par jour (matin et soir).

La précision des mesures dépend donc de la façon dont les locataires ont respectés nos recommandations. Certains nous ont par avance averti qu'ils ne pouvaient pas dormir la fenêtre fermée, d'où des mesures de nuit non significatives. Toutefois l'observation des graphiques d'injection de l'appareil de mesure du taux de renouvellement d'air CESAR permet de s'assurer dans une certaine limite que les fenêtres étaient bien fermées durant les mesures.

La perméabilité a été mesurée sur 24 heures pour observer l'effet de la ventilation mécanique et ceci pour les espaces suivants :

- appartement (sans véranda)
- véranda sud
- espace tampon (véranda nord)

Les vérandas ont été dissociées des appartements car elles font appel à des techniques de construction différentes ($\approx 80\%$ de vitrage) et on peut donc s'attendre à une perméabilité plus grande.

Comme nous l'avons déjà précisé, le principe de la mesure par gaz traceur ne permet d'obtenir directement que la quantité d'air "frais" (sans gaz traceur) qui est entrée dans la zone où la concentration en gaz est maintenue à un niveau de consigne (100 ppm). Et ceci sans discrimi-

nation des flux. Donc le taux de renouvellement d'air qui nous sert à mesurer la perméabilité est la somme de tous les flux pénétrant dans l'espace mesuré. Par exemple pour une véranda, le flux provenant de l'extérieur et celui provenant de l'appartement sont compris dans sa perméabilité.

En général ces mesures ont duré au moins 24 heures, mais n'ont pas dépassé 48 heures par espace. Elles ont donné les résultats suivants, en moyenne journalière (24 h) et en minimum et maximum journalier :

Perméabilité [1/h]	Appartements				
	V duplex	W duplex	X 4 pièces	Y 3 pièces	Z 3 pièces
Appart. moy.	0,18(2)	0,19	0,25(2)	0,17	0,17
	min.	0,06	0,13	0,06	0,08
	max.	(1)	(1)	0,26	0,28
Véranda sud	moy.	0,53	0,21	0,21	0,22
	min.	0,31	0,12	0,10	0,11
	max.	0,75	0,35	0,65	0,37
Véranda nord	moy.	-	-	0,60	0,81
	min.	-	-	0,12	0,15
	max.	-	-	1,68	1,62

(1) non-mesurable

(2) précision moindre ($\pm 30\%$)

Tableau 3.1 : Perméabilité moyenne journalière et valeurs horaires extrêmes exprimées en [1/h] (erreur $\pm 15\%$).

Les résultats les plus fiables sont donnés par l'appartement <W> car les locataires étaient en vacances. Ceci fut aussi le cas pour la mesure de l'appartement du logement <Z>. En général les mesures dans les vérandas sont aussi de meilleure qualité, car il est plus facile aux gens d'éviter d'entrer dans celles-ci que de ne pas aérer leur appartement.

Pour certaines mesures, la régulation n'était pas parfaite (indice (2) dans le tableau). Ceci provient soit de brèves ouvertures répétées, soit d'un mauvais mélange du gaz traceur dans l'air. Ce qui fait que ces mesures sont de moindre précision, de l'ordre de $\pm 30\%$ au lieu de 15 %.

Les valeurs maximum ne sont pas les plus grandes valeurs observées durant la période de mesure, mais uniquement celles pour lesquelles il semblait qu'aucune ouverture de fenêtre n'ait apparemment eu lieu (on ne peut malheureusement pas en être sûr). Il est clair que lors d'ouvertures de fenêtres on obtient des valeurs beaucoup plus grandes, mais alors on ne mesure plus seulement la perméabilité. De même, la moyenne sur 24 heures n'est pas calculée avec ces valeurs excessives.

Pour les appartements on constate que les perméabilités sont très proches les unes des autres, légèrement inférieures à 0.2 [1/h]. Pour les raisons expliquées ci-dessus, les mesures des appartements X et V sont moins précises. Ce d'autant plus pour le <V> où les occupants ne peuvent pas dormir la fenêtre fermée et où donc le résultat est plutôt une valeur diurne.

La perméabilité dépendant directement de la longueur des joints des ouvrants (fenêtres de l'appartement et des vérandas), le tableau 3.2 permet de juger de cette influence.

	V	W	X	Y	Z	
Total	48.3	46.2	40.9	25.4	25.4	[m]
Tot/vol	0.16	0.16	0.17	0.14	0.14	[m/m ³]

Tableau 3.2 : Longueur de joint des ouvrants des appartements et longueur rapportée à leur volume.

On voit qu'il n'y a pas une grande différence entre les rapports de longueur de joint sur volume des différents appartements. Ce qui est confirmé par les perméabilités mesurées.

Etonnamment, les vérandas sud ne sont pas beaucoup plus perméables que les appartements (≈ 0.2 [1/h]), tout au plus les valeurs maximales et minimales sont-elles légèrement plus élevées. La valeur maximum de la véranda <X> semble très élevée (0.65), mais elle a été observée deux jours consécutifs à la même heure, sans qu'il y ait d'ouverture de fenêtre ou de porte apparente. L'appartement <V> est un peu particulier, il est équipé d'une canalisation de récupération de chaleur allant de la serre à l'appartement. Celle-ci est munie d'un ventilateur (éteint durant les mesures), mais pas d'un clapet d'étanchéité empêchant la circulation naturelle de l'air. Ceci explique donc que les valeurs de cette véranda soient beaucoup plus élevées.

Construites selon le même principe que les vérandas sud, les vérandas nord sont par contre beaucoup plus perméables (0.6 - 0.8

[1/h]). Le rapport de la longueur de joint des ouvrants sur le volume de la véranda ne suffit pas à expliquer cette différence :

Véranda	Longueur de joint / volume
sud bât. A (V, W)	1.9 [m/m ³]
sud bât. C (X, Y, Z)	1.5 [m/m ³]
nord appartement X	1.8 [m/m ³]
nord appartement Y	1.2 [m/m ³]

Tableau 3.3 : Rapport longueur de joint sur volume des vérandas.

Cette perméabilité supérieure des vérandas nord est peut-être due simplement à un moindre soin apporté lors de la construction. Il est apparu que certains joints de surfaces vitrées ont dû être refaits après la construction, peut-être que ceci n'a pas été fait pour les vérandas nord qui ne sont pas soumises aux pluies battantes.

La perméabilité de la véranda nord de l'appartement <Z> n'a pas pu être mesurée car le gaz injecté se répandait durant les minutes qui suivent dans les WC ! Nous avions déjà rencontré des problèmes similaires dans l'appartement <Y>, mais ceux-ci avaient pu être résolus en mastiquant les tubes servant au passage des câbles électriques. Ceci soulève une question intéressante en ce qui concerne l'étanchéité entre les différents espaces d'un bâtiment (appartement, véranda, escalier, cave, ...) du fait des gaines techniques et autres tubes où l'air peut circuler librement, voir même être poussé par les différences de pression régnant dans un immeuble.

3.2 Comportement de l'occupant

De part son besoin d'aération, l'habitant a une grande influence sur le taux de renouvellement d'air des appartements. L'effet des ouvertures de fenêtres vient se rajouter à la perméabilité mesurée précédemment.

Le comportement de l'occupant est fortement variable en fonction de l'heure et d'un jour à l'autre. Afin de prendre ceci en compte, les mesures de taux de renouvellement d'air ont été prises sur une semaine environ et les résultats réduits sous forme de moyennes horaires. Les tranches horaires ont été moyennées sur les jours de mesure, ce qui donne finalement un profil du comportement de l'occupant de 24 valeurs horaires en moyenne hebdomadaire.

Puisque les mesures eurent lieu en hiver, seul le volume de l'appartement est mesuré, les vérandas n'étant généralement pas utili-

sées en cette saison. Toutefois deux familles nous ayant averti qu'elles se servaient des vérandas comme d'une pièce à part entière (salle à manger pour les <Z> et salle de jeu pour les <W>), nous les avons incluses pour ces deux appartements dans le volume mesuré. Sur le tableau suivant on peut voir les dates de mesure, ainsi que les conditions extérieures moyennes (moyennes des valeurs journalières jour&nuit).

Appartement	Période	$\langle T_{ext} \rangle [^{\circ}C]$	$\langle G_{SSW} \rangle [W/m^2]$
V	16.01 - 21.01.89	$1,9 \pm 0,9$	41 ± 48
W	27.02 - 6.03.89	$5,1 \pm 1,2$	105 ± 95
X	8.02 - 13.02.89	$1,9 \pm 1,7$	74 ± 72
Y	25.01 - 31.01.89	$-0,9 \pm 0,6$	82 ± 84
Z	21.03 - 31.03.89	$10,2 \pm 3,6$	156 ± 63

Tableau 3.4 : Conditions extérieures lors des mesures de comportement de l'occupant (moyenne hebdomadaire et écart-type des valeurs journalières jour & nuit).

La moyenne du taux de renouvellement d'air mesuré sur une semaine nous donne l'effet du comportement de l'occupant sur le taux de renouvellement d'air global par rapport à la perméabilité.

Renouvellement d'air [h^{-1}]	Appartements				
	V	W	X	Y	Z
n	moy.	0,40	0,29	0,26	0,20
	min.	0,13	0,11	0,08	0,07
	max.	1,22	0,98	1,08	1,53
perméabilité moy.	0.18	0.19	0.25	0.17	0.17
effet (% perm.)	120	53	4	18	350

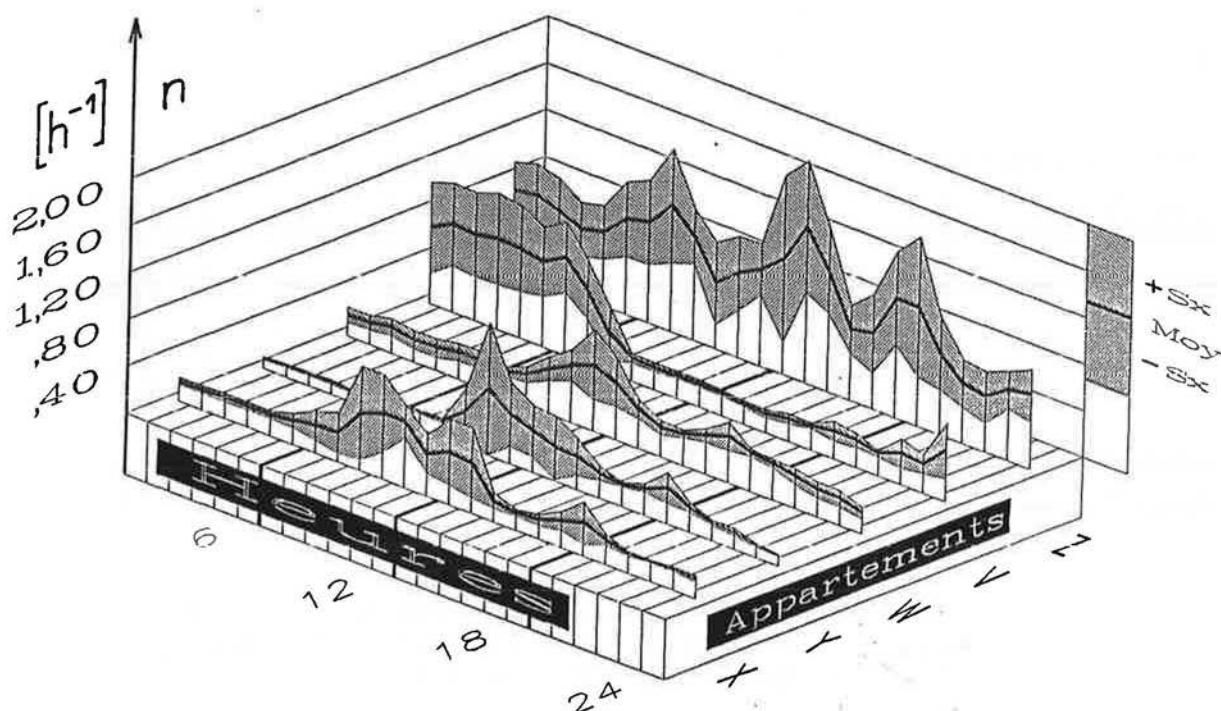
Tableau 3.5 : Taux de renouvellement d'air moyen hebdomadaire en présence d'occupants et valeurs horaires hebdomadaires minimum et maximum observées.
Rappel de la perméabilité moyenne (cf tableau 3.1) et effet du comportement de l'occupant sur le taux de renouvellement d'air en pourcent de la perméabilité.

On constate que les taux moyens des appartements X, Y, W sont bas (inférieurs à 0.3 [h^{-1}]). Les appartements <Z> et <V> ont des valeurs plus élevées qui s'expliquent par le fait que leurs occupants dorment la

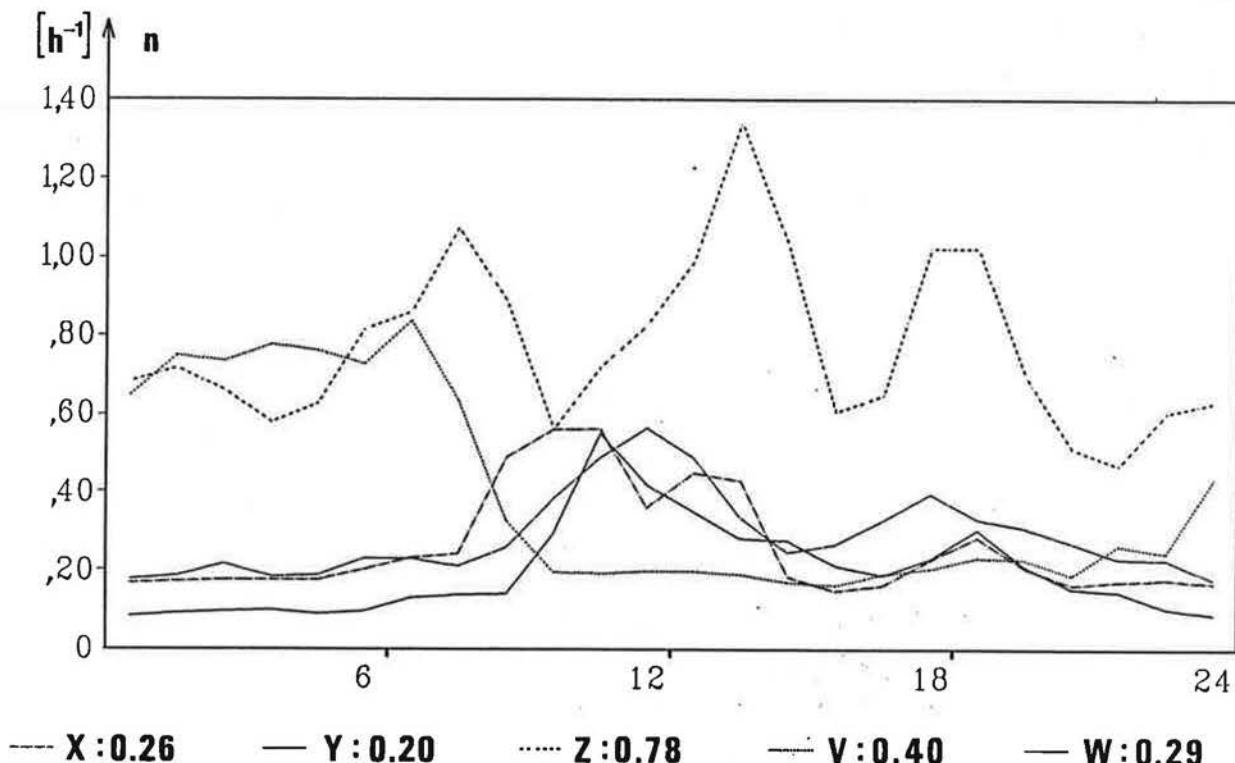
fenêtre ouverte. De plus, pour le $\langle Z \rangle$, les mesures eurent lieu plus tard dans la saison, c'est à dire fin mars, au lieu de janvier - février pour les autres appartements. On peut donc imputer le taux très élevé du logement $\langle Z \rangle$ aux premières surchauffes. En effet, ces jours-là à midi, le rayonnement global vertical sud atteignait $800 \text{ [W/m}^2]$ et la température extérieure 20 degrés.

Les valeurs horaires maximales sont celles dont la précision est la moins bonne. En effet elles correspondent à de fortes aérations avec fenêtres largement ouvertes ou courant d'air traversant. Ce sont des situations très défavorables durant lesquelles il est très difficile de maintenir une concentration homogène et à son niveau de consigne.

Quant à l'effet de l'occupant sur le taux de renouvellement d'air global du logement, on remarque qu'il est très variable. L'augmentation des infiltrations par rapport à la perméabilité va de 4 à 350 %. Pour l'appartement $\langle X \rangle$ l'augmentation est très faible (4%), les occupants ont peut-être été influencés dans leur comportement par la mesure. Peut-être n'ont-ils pas compris que pour cette série de mesures, ils pouvaient se comporter comme à l'ordinaire.



Graphique 3.6 : Profil journalier du comportement de l'occupant par appartement : moyenne et écart-type obtenus sur une semaine.



Graphique 3.7 : Profil journalier du comportement de l'occupant : moyenne obtenue sur une semaine de mesure.

En regardant la figure 3.6 de bas en haut, différents comportements apparaissent (la figure 3.7 permet de comparer plus facilement les différents comportements). Premièrement les appartements X, Y, W présentent un comportement d'hiver traditionnel avec un fond moyen assez bas et des pics aux heures des repas principaux (12 et 18 h), de même que le matin pour certains (heures de ménage).

La famille <V> a un comportement totalement différent. On observe principalement deux plateaux, soit un régime de jour avec $\approx 0.2 \text{ [h}^{-1}]$ et un régime de nuit avec $\approx 0.6 \text{ [h}^{-1}]$. Les occupants ne rentrent pas manger à midi et ils dorment la fenêtre ouverte.

La famille <Z> a un comportement diurne qui est semblable aux trois premiers, mais avec un niveau moyen est beaucoup plus élevé, correspondant à une période de très beau temps engendrant des surchauffes. Le comportement nocturne est celui de la famille <V> (fenêtres ouvertes).

On peut juger du besoin d'aération journalier des occupants en faisant une statistique des aérations maximales journalières. Ce ne sont pas les taux de renouvellement d'air les plus élevés que l'on peut mesurer, mais les moyennes horaires les plus élevées (les taux qui sont restés en moyenne à cette valeur durant une heure consécutive).

Renouvellement d'air [h ⁻¹]	Appartements				
	V	W	X	Y	Z
$\langle n_{\max} \rangle$	0.84	0.57	0.56	0.55	1.34
$S_{n_{\max}}$	0.39	0.30	0.40	0.55	0.72

Tableau 3.8 : Moyenne et écart-type des valeurs horaires maximales journalières.

On voit que les appartements X, Y et W ont un renouvellement d'air maximum journalier compris entre 0.5 et 0.6 [h⁻¹] en moyenne hebdomadaire. Ce qui est inférieur au taux moyen hebdomadaire de l'appartement $\langle Z \rangle$! Cependant, tous les appartement ont dépassé au moins une fois dans la semaine un taux de renouvellement d'air de 1.0 [h⁻¹] en valeur horaire.

3.3 Ventilation mécanique

L'observation des mesures faites sur la ventilation mécanique permet de quantifier l'effet de celle-ci sur le taux de renouvellement d'air global des appartements. Dans les lignes qui suivent nous appellerons *taux d'extraction d'air* le taux de renouvellement d'air engendré par l'extraction mécanique, c'est à dire le taux de renouvellement d'air calculé à partir des mesures de débit de la ventilation mécanique. En principe, le taux d'extraction d'air n'est qu'une composante du taux de renouvellement d'air global; depuis un appartement, l'air peut s'échapper par les conduits de la ventilation ou par les fenêtres.

Les bâtiments de Préverenges sont équipés d'une extraction mécanique de l'air vicié à deux vitesses qui est commandée par une horloge selon le programme journalier de la figure 3.9. En petite vitesse le débit des installations est environ les deux tiers de celui en grande vitesse. Ainsi le débit moyen journalier est environ les 60% du débit maximum permis par les installations.

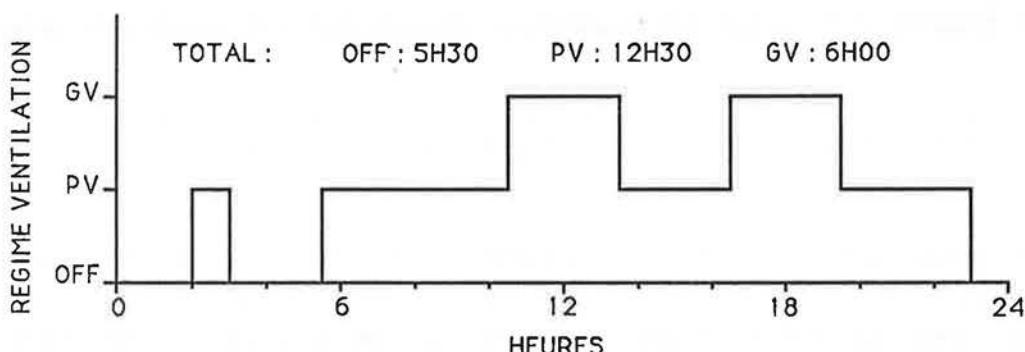


Figure 3.9 : Horaire de l'horloge de commande de la ventilation mécanique.

Chaque bâtiment compte deux installations de ventilation, pour la moitié Ouest et la moitié Est. Le débit moyen de chaque installation est enregistré toutes les demi-heures. Les mesures de débit sont faites au moyen d'anémomètres à hélice ou à fil chaud (Schiltknecht Mini-air et Thermo-air) disposés au centre d'un tuyau rectiligne (\varnothing 50 cm, longueur 3-5 m). Ces anémomètres ont été calibrés sur place par une méthode utilisant un gaz traceur (voir § 2/2.3 et {5}).

Les volumes chauffés de chaque demi-bâtiment sont les suivants (somme des volumes des appartements) :

	A-Ouest	A-Est	C-Ouest	C-Est	
Volume	1170	1170	1350	1700	[m ³]

Tableau 3.10 : Volume global des logements de chaque demi-bâtiments.

Pour le bâtiment C, la répartition des locaux entre les deux systèmes de ventilation est un peu particulière. Une des colonnes d'extraction de la partie Ouest est en fait branchée sur le système Est. La partie Ouest ayant en contre-partie la buanderie, les étendages et une salle commune avec cuisine et WC. Donc pour calculer le taux d'extraction d'air des appartements, les volumes donnés ci-dessus doivent être corrigés en tenant compte du nombre de bouches d'extraction réellement desservies par chaque système. Ce d'autant plus que le dimensionnement de la ventilation et la répartition des bouches d'extraction se fait non pas selon le volume de chaque appartement, mais en fonction du nombre de locaux borgnes de celui-ci.

De la même manière, les locaux buanderie et étendage du bâtiment A sont ventilés par l'installation de la moitié Ouest. Sinon cet immeuble ne présente pas d'autre particularité.

Dans les appartements, on a cinq types de bouches d'extraction, avec les systèmes de réglage et les débits de dimensionnement suivants :

Pièce	Réglage	Débit [m ³ /h]
Cuisine	clapet commandé par l'ouverture de la hotte	300
Bains	clapet commandé par interrupteur indépendant	80
WC-douche	clapet commandé par interrupteur lumière	60
WC	clapet commandé par interrupteur lumière	50
Réduit	cône réglable manuellement par pas de vis	20

Tableau 3.11 : Mode de fonctionnement et débit de dimensionnement des bouches d'extraction.

Les débits donnés ci-dessus sont des débits de dimensionnement à grande vitesse et clapet ouvert (s'il y en a un). A petite vitesse les débits sont environ réduits d'un tiers. Avec clapet fermé le débit est de 15 à 30 % de celui à clapet ouvert.

A propos des remarques faites ci-dessus concernant la répartition des bouches d'extraction entre les deux parties du bâtiment C et compte tenu de ces indications, ainsi que de certaines hypothèses concernant le temps d'ouverture journalier des bouches d'extraction; on peut calculer que environ 7% du débit de l'installation Est sert à ventiler la partie Ouest. Cette part sera à déduire des mesures de débit de la ventilation Est afin de calculer le taux d'extraction des appartements de cette moitié-ci du bâtiment. De la même manière, on peut estimer que pour les installations A-Ouest et C-Ouest, environ 30% du débit provient des locaux communs (buanderies et étandages).

On peut vérifier la plausibilité des hypothèses faites sur le temps d'ouverture des bouches d'extraction en comparant la somme des débits de dimensionnement des bouches d'extraction desservies par chaque installation avec les débits mesurés sur chacune d'elles. Ceci est fait dans le tableau 3.12 pour le mois de février 1989.

Débits bruts	A-Ouest	A-Est (V,W)	C-Ouest	C-Est (X,Y,Z)	
1. max. dim.	2080	1840	3790	3590	[m ³ /h]
2. moy. dim.	1250	1100	2270	2150	[m ³ /h]
3. estim. moy. dim.	500	360	810	690	[m ³ /h]
4. max. moy. mes.	1010	678	1283	1159	[m ³ /h]
5. moy. mes.	520	252	653	617	[m ³ /h]
6. (5)/(3)	1.04	0.70	0.81	0.89	[-]

Tableau 3.12 :

1. Débit maximum selon dimensionnement (clapets ouverts et grande vitesse).
2. Débit journalier moyen avec clapets ouverts (selon dimensionnement).
3. Estimation du débit journalier moyen (selon dimensionnement avec clapets ouverts par intermittence selon hypothèses).
4. Moyenne des débits maximum journaliers mesurés (fév. 89).
5. Débit moyen mensuel mesuré (fév. 89).
6. Rapport du débit moyen mesuré au débit de dimensionnement estimé.

Les valeurs du tableau 3.12 ne sont pas encore corrigées, ce sont les débits réellement mesurés dans chaque installation de ventilation. On voit que le débit moyen mesuré au mois de février 1989 (ligne 5. du tableau) est en général légèrement inférieur au débit moyen estimé en utilisant les débits de dimensionnement et en faisant des hypothèses sur

le temps d'ouverture des clapets des bouches d'extraction (ligne 3.). Donc ces hypothèses semblent convenir si on ne s'en sert que pour corriger la répartition des flux de la ventilation.

Après correction, on obtient la part des débits de la ventilation qui agissent vraiment sur les appartements. On peut ainsi calculer le taux d'extraction de l'ensemble des logements de chaque demi-bâtiment.

	A-Ouest	A-Est (V,W)	C-Ouest	C-Est (X,Y,Z)	
février : débit moyen	370	250	490	570	[m ³ /h]
taux d'extraction	0.32	0.21	0.36	0.34	[h ⁻¹]
janv-mars : débit moyen	340	260	500	530	[m ³ /h]
taux d'extraction	0.29	0.22	0.37	0.31	[h ⁻¹]

Tableau 3.13 : Débit d'extraction moyen mesurés après corrections et taux d'extraction pour chaque demi-bâtiment (moyenne des appartements seuls).

On voit que les taux d'extraction mesurés sont plus élevés que les perméabilités moyennes mesurées dans les logements correspondants; sauf pour le demi-bâtiment A-Est pour lequel les valeurs sont équivalentes aux imprécisions de mesure près.

Pour connaître le taux d'extraction de chaque logement, il faut tenir compte du nombre de bouches d'extraction que celui-ci comporte et faire l'hypothèse que l'installation est bien équilibrée (les bouches de même type ont toutes le même débit).

Les duplex ainsi que les appartements de 3 pièces ont le même nombre de bouches d'extraction (cuisine, réduit, bains, WC), seuls les appartements de 4 pièces n'ont pas de ventilation dans le réduit (celui-ci a une fenêtre). Par contre, ces logements-ci ont une longueur de joint des ouvrants plus importante que les 3 pièces (tableau 3.2). Ceci fait qu'en première approximation on peut dire que les appartements de chaque demi-bâtiment sont tous équivalents du point de vue de la ventilation mécanique et que les valeurs du tableau 3.13 sont applicables à chacun en particulier. Mais le comportement des occupants peut faire qu'il en soit tout autrement.

Jusqu'à présent nous avons comparé des mesures de perméabilité faites sur 24h avec des mesures de taux d'extraction prises sur un mois au moins. On peut avoir une idée plus précise de la contribution de la

ventilation mécanique si on prend les mesures faites les mêmes jours que les mesures de perméabilité (tableau 3.14).

Il faut préciser que si les fenêtres sont fermées (ce qui est le cas en principe pour les mesures de perméabilité), on peut raisonnablement penser que tout l'air qui s'échappe d'un appartement passe par l'installation de ventilation et donc que les taux de renouvellement d'air obtenus par les deux méthodes doivent être très proches. Dans le cas d'ouvertures de fenêtres, de l'air peut s'échapper sans passer par la ventilation (courants d'air traversants), et donc le taux mesuré sur l'extraction sera inférieur à celui donné par la perméabilité. Mais le taux d'extraction ne devrait en principe jamais être supérieur à la perméabilité.

Logement	V	W	X	Y	Z	
Perméabilité	0.18	0.19	0.25	0.17	0.17	[1/h]
Extraction	0.22	0.22	0.31	0.29	(1)	[1/h]

(1) non mesurable

Tableau 3.14 : Comparaison du taux d'extraction avec la perméabilité.

On voit que les mesures sur la partie du bâtiment A qui nous intéresse (Est) coïncident bien (aux incertitudes de mesure près), l'extraction mécanique semble être seule responsable des infiltrations. Par contre pour le C, il semblerait que l'installation de ventilation soit mal équilibrée entre les appartements, puisque les mesures sur la ventilation mécanique donnent des taux de renouvellement d'air nettement plus grands que ceux obtenus lors des mesures de perméabilité.

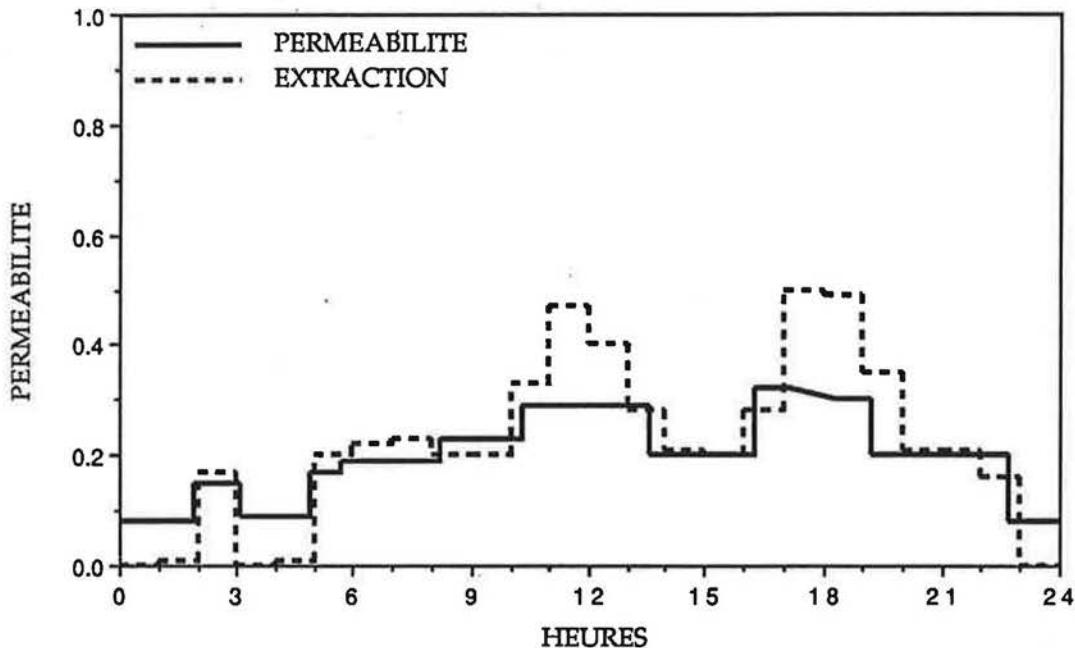
Il apparaît donc que des appartements que nous n'avons pas mesurés pourraient avoir un taux d'extraction, et donc une perméabilité, beaucoup plus grand que ceux qui ont été mesurés. On touche aussi ici aux limites d'un calcul de dimensionnement pour une installation de ventilation.

L'appartement <W> présentant des mesures de bonne qualité (occupants en vacances), c'est sur celui-ci qu'on peut le mieux mettre en évidence l'effet journalier de la ventilation mécanique sur la perméabilité.

Sur le graphique 3.15 on peut voir clairement trois régimes de perméabilité coïncidants avec ceux de l'extraction mécanique :

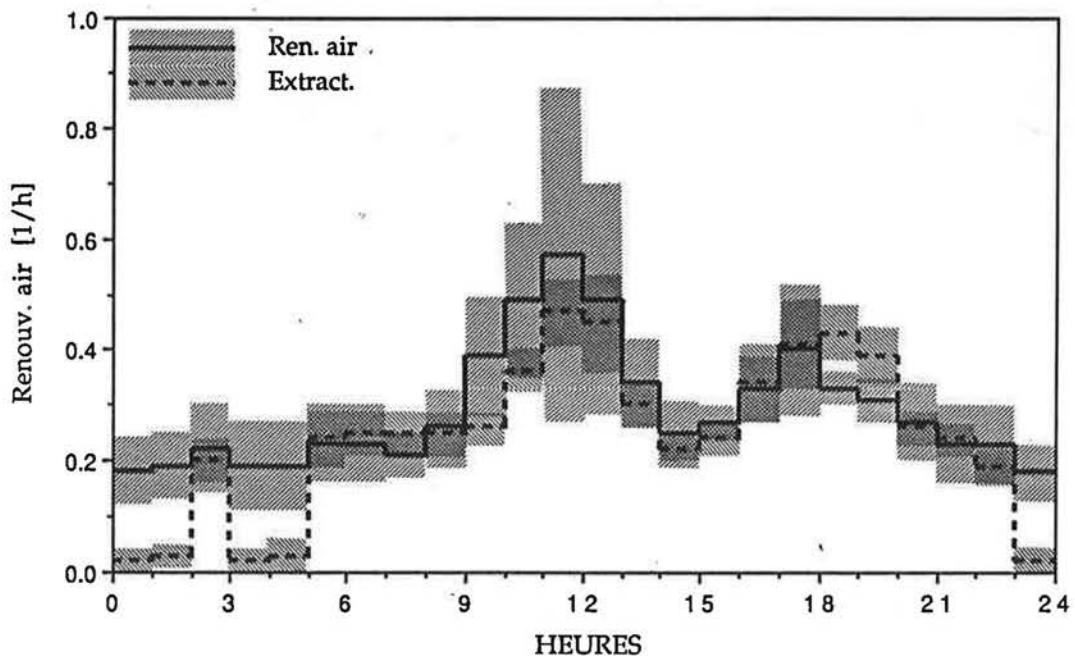
- Arrêt ≈ 0.1 [1/h]
- Petite vitesse ≈ 0.2 [1/h]
- Grande vitesse ≈ 0.3 [1/h]

Comparaison : perméabilité et taux d'extraction



Graphique 3.15 : Evolution de la perméabilité au cours de la journée et comparaison avec le taux d'extraction.

Comparaison : taux de renouvellement d'air et taux d'extraction



Graphique 3.16 : Comparaison du taux d'extraction d'air et du taux de renouvellement d'air lors d'une mesure du comportement des occupants.

On remarque que la nuit les infiltrations approchent tout de même 0.1 [1/h], celles-ci n'étant alors provoquées que par les conditions extérieures (différence de température, vent).

Sur ce même appartement il est aussi intéressant d'étudier l'effet de la ventilation mécanique sur le taux de renouvellement d'air lors des mesures de comportement de l'occupant. Sur le graphique 3.16 sont superposés le profil du taux de renouvellement d'air pour un comportement libre des occupants et celui du taux d'extraction d'air.

On voit que sur une semaine de mesure environ, le taux d'extraction moyen est bien inférieur au taux de renouvellement d'air global, soit 0.25 [h^{-1}] contre 0.29. Par contre si on regarde heure par heure, cela n'est pas toujours vérifié (19 et 20 heures). Mais ceci peut très bien être dû à un autre appartement qui ouvrirait à ce moment là ses fenêtres et qui augmenterait ainsi le débit de la ventilation mécanique par une diminution des pertes de charge.

Pour avoir une idée de l'influence des conditions naturelles sur la ventilation, on peut regarder les mesures de nuit alors que la ventilation est arrêtée (mesures février 1989).

Débit de nuit (jan-mar)	A-Ouest	A-Est	C-Ouest	C-Est	
Moyenne	5.	20.	90.	0.	[m^3/h]
Moy. + Ecart-type	50.	40.	190.	140.	[m^3/h]
Maximum	300.	140.	260.	600.	[m^3/h]
Taux d'extraction moy.	0.00	0.02	0.05	0.00	[h^{-1}]
Taux d'extr. moy. + ec.-t.	0.03	0.03	0.10	0.08	[h^{-1}]
Taux d'extr. max.	0.18	0.12	0.13	0.33	[h^{-1}]

Tableau 3.17 : Mesures du débit dans la ventilation à l'arrêt (nuit) et taux de renouvellement d'air correspondant entre janvier et mars 89.

On voit que les conditions naturelles peuvent conduire parfois à des taux d'extraction non négligeable. Cependant les valeurs extrêmes pour le bâtiment C-Est paraissent être dues plutôt à un mauvais fonctionnement de la commande de la ventilation plutôt qu'à des conditions exceptionnelles. En effet, les mêmes nuits, les autres ventilations ne présentent pas de telles valeurs. Les valeurs données par les lignes "moyenne du débit" et "taux d'extraction moyen" du tableau 3.17 sont seulement indicatives car elles correspondent à la plage de mesure pour laquelle les anémomètres sont le moins précis.

3.4 Pertes thermiques par renouvellement d'air

Outre les renseignements concernant la perméabilité des logements, les besoins d'aération et le comportement de l'occupant; les mesures de renouvellement d'air ont comme autre but principal de déterminer la part des pertes thermiques du bâtiment qui incombe aux échanges d'air avec l'extérieur (renouvellement d'air).

Cette grandeur est généralement très mal connue lorsqu'on fait le bilan thermique d'un bâtiment. On doit souvent se contenter de l'estimer, ou de la déduire du bilan global si tous les autres facteurs sont déterminés. Dans le cadre du projet NEFF 304.1 {2}, le bilan thermique détaillé des bâtiments de la CIPEF à Préverenges a été déterminé à l'aide de calculs théoriques et de mesures poussées. Les mesures de renouvellement d'air pourront être intégrées à ce bilan et permettre ainsi d'étudier la cohérence des différentes mesures visant à la détermination des autres sources de pertes thermiques.

A partir des mesures présentées dans ce chapitre, nous pouvons déjà chiffrer les pertes thermiques par renouvellement d'air. Pour un taux de renouvellement d'air donné n , les pertes spécifiques H_a se calculent de la manière suivante :

$$H_a = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot \frac{n}{3600} ; [W/K] \quad (\text{Eq. 3.1})$$

où : ρ masse volumique de l'air $[kg/m^3]$
 C_p chaleur massique de l'air $[J/kg \cdot K]$
 V volume d'air du local mesuré $[m^3]$
 n taux de renouvellement d'air $[h^{-1}]$

Pour de l'air sec entre 0 et 20 °C, le produit ($\rho \cdot C_p$) vaut environ 1200 $[J/m^3 \cdot K]$.

Le facteur 1/3600 permet de transformer les heures en secondes pour faire les calculs en joule ([J]). Si on fait les calculs en wattheures, ce facteur n'est pas nécessaire.

On a donc

$$H_a = \frac{1200}{3600} \cdot V \cdot n ; [W/K] \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Comme pour les pertes thermiques d'autres natures (conduction,...), les pertes thermiques spécifiques par renouvellement d'air sont exprimées

mées en watts par degré, c'est à dire qu'il suffit de les multiplier par la différence de température intérieure-extérieure pour obtenir la puissance des pertes P_a (en watts); ou par la différence de température cumulée (degrés-heures) du lieu considéré pour obtenir l'énergie perdue (en joules ou en wattheures).

Dans les équations ci-dessus, on voit que le produit ($V \cdot n$) correspond en fait à un débit ($[m^3/h]$). C'est le débit d'air frais qui pénètre dans le volume mesuré et qu'il faut réchauffer de la température extérieure à la température intérieure.

Pour les perméabilités des logements que nous avons mesurées, $0.19 [h^{-1}]$ en moyenne, les pertes spécifiques volumiques sont donc de $0.063 [W/m^3K]$. En utilisation réelle (environ $0.3 [h^{-1}]$ en hiver), cela correspond à $0.100 [W/m^3K]$.

Appartement	$\langle \Delta \rangle$ [h-1]	V [m³]	$\langle H_a \rangle$ [W/K]	$\langle T_{ext} \rangle$ [°C]	$\langle P_a \rangle$ [W]
V	0.40	303	40.4	1.9	731
W	0.29	295	28.5	5.1	425
X	0.26	247	21.4	1.9	387
Y	0.20	184	12.3	-0.9	256
Z	0.78	184	47.8	10.2	469

Tableau 3.18 : Pertes thermiques spécifiques par renouvellement d'air $\langle H_a \rangle$ et $\langle P_a \rangle$ en moyenne pour la semaine de mesure du comportement de l'occupant.

Appart.	P_{chf} [W]	G_{sol} [W]	B_{brut} [W]	$\langle P_a \rangle$ [W]	$\langle P_a \rangle / B_{brut}$ [%]
V	2060	402	2462	731	30
W	995	1113	2108	425	20
X	670	340	1010	387	38
Y	980	377	1357	256	19
Z	240	671	911	469	51

Tableau 3.19 : Pertes thermiques par renouvellement d'air $\langle P_a \rangle$ en moyenne pour la semaine de mesure du comportement de l'occupant (comparées avec les besoins bruts B_{brut} : puissance délivrée par le chauffage P_{chf} + gains solaires G_{sol}).

Dans le tableau 3.18, les pertes thermiques par renouvellement d'air de chaque appartement sont calculées pour la semaine de mesure du comportement de l'occupant. Ces pertes sont comparées à la puissance délivrée par le chauffage (besoins nets : compteur de chaleur dont sont munis les radiateurs) et aux besoins bruts, en moyenne sur cette même période dans le tableau 3.19. Les valeurs du logement $\langle Z \rangle$ confirme que les mesures ont bien eu lieu lors d'une période de surchauffe due aux gains solaires importants. Mis à part cet appartement, la part des pertes par renouvellement d'air va de 19 à 38% des besoins bruts (énergie délivrée par le chauffage + gains solaires).

En ce qui concerne les bâtiments dans leur globalité, la mesure de débit dans chaque installation de ventilation donne une très bonne appréciation du volume d'air global qui doit être chauffé. En effet, durant les mois les plus froids, la masse d'air extraite s'approche de celle qui pénètre dans le bâtiment. C'est seulement dans certain cas de forte aération avec un fort vent que l'on constate des courant d'air traversants qui ne passent pas par la ventilation mécanique.

3.5 Analyse des mesures de renouvellement d'air

Les mesures de renouvellement d'air à Préverenges nous ont permis de mettre en évidence des logements assez étanches, d'une perméabilité moyenne de $0.19 \text{ [h}^{-1}]$ en moyenne journalière (ventilation à deux vitesses en marche selon un programme journalier); dans lesquels le comportement de l'occupant en matière d'aération a une grande influence sur le renouvellement d'air global, de quelques pourcents à plus de trois cents pourcents de la perméabilité des logements.

Les avantages de bâtiments aussi étanches sont certains : pertes thermiques par renouvellement d'air grandement diminuées, pas de courant d'air sournois. Mais on peut craindre alors que l'humidité et les polluants produits par les habitants ou les matériaux (gaz carbonique, fumée, solvants, ...) n'atteignent des quantités pouvant causer des dégâts ou incommoder l'occupant, voire même nuire à sa santé. Il est intéressant de comparer les valeurs mesurées avec celles généralement admises ou recommandées.

Pour un locatif neuf avec extraction mécanique, la norme SIA 180 {7} recommande une perméabilité mesurée à 50 pascals et toutes ouvertures fermées ($n_{L,50}$) comprise entre $2 \text{ [h}^{-1}]$ (pour garantir une aération minimum en l'absence d'occupant) et $3 \text{ [h}^{-1}]$ (pour minimiser les pertes thermiques), ce qui correspond à une perméabilité de 0.10 et

0.15 [h^{-1}] environ en conditions ordinaires (l'extraction mécanique étant alors hors fonction).

On peut donc dire que la perméabilité de 0.2 [h^{-1}] environ, que nous avons mesurée avec ventilation en marche, suffit en principe largement à assurer un renouvellement d'air minimum sans habitants. On peut mentionner une étude suédoise [8] qui, lors d'une campagne de mesures effectuées sur des petits bâtiments de deux étages, a mesuré des perméabilités à 50 pascals comprises entre 0.3 et 0.8 [h^{-1}], soit 2.5 à 10 fois plus étanches que la recommandation SIA 180 !

Selon [9], en général, on considère qu'un taux de renouvellement d'air global de 0.5 [h^{-1}] suffit à éviter tout risque de moisissure dans un logement occupé de façon normale, isolé selon les normes (coefficient de transmission de chaleur des parois $k=0.6 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$ selon SIA 180) et chauffé à plus de 16 degrés pour une température extérieure ne descendant pas au dessous de -10 degrés. Si l'isolation est meilleure ($k=0.3 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}]$), un taux de 0.3 [h^{-1}] est suffisant - la température de la face intérieure des murs étant plus élevée du fait de la meilleure isolation, il y a alors moins de risque de condensation; par contre la condensation sur les vitrages et leur cadre peu augmenter.

Ici, à Préverenges, le coefficient k des parois (murs seulement) est de 0.36 [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$] et de 0.45 avec les caissons de stores. En comportement ordinaire des occupants, sur cinq appartements trois sont en dessous de 0.3 [h^{-1}], un est à 0.4 [h^{-1}]. Seul le dernier, mesuré en période d'apports solaires importants (surchauffe), est à 0.8 [h^{-1}] environ. Donc, de ce point de vue là, ces bâtiments se situent à la limite de ce qui est recommandé.

Le respect des valeurs conseillées ne dispense pas d'aérer le logement brièvement mais à fond plusieurs fois par jour, surtout à l'entre-saison. Des problèmes d'humidité ont été constatés dans certains appartements de Préverenges peu aérés. Par contre, d'autres familles, qui aèrent régulièrement, éprouvaient le besoin d'humidifier l'air de leur logement.

Des mesures de concentration de l'air en gaz carbonique (CO_2) effectuées par monsieur J. Fehlmann (Institut d'hygiène et de physiologie du travail, dirigé par le Prof. Wanner à l'EPF-Zürich) ont permis de montrer qu'il y avait aussi des risques pour que cette concentration dépasse un seuil critique (0.3% du volume d'air) la nuit dans les chambres à coucher, si on dort toutes portes et fenêtres fermées.

On considère d'ordinaire, pour le calcul des pertes thermiques, une habitation étanche comme ayant un taux de renouvellement d'air moyen de 0.5 [h⁻¹] {6}. Ici, en comportement ordinaire des occupants, sur cinq appartements trois sont en dessous de 0.3 [h⁻¹], un est à 0.4 [h⁻¹]. Seul le dernier, mesuré en période d'apports solaires importants (surchauffe), est à 0.8 [h⁻¹] environ; on ne peut donc pas en tenir compte pour le calcul des pertes en période de chauffage. Donc dans notre cas les pertes thermiques par renouvellement d'air sont nettement inférieures à ce qui est admis d'ordinaire.

4 TRANSFERTS DE CHALEUR VÉRANDA - APPARTEMENT

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les échanges d'air entre l'extérieur et l'intérieur des logements. La conception des bâtiments de Préverenges ayant été guidée par la recherche du captage de l'énergie solaire, les échanges d'air à l'intérieur même des logements ont aussi une grande importance. En effet il ne suffit pas de capter l'énergie solaire (vitrage et véranda sud), encore faut-il la transférer au reste de l'appartement. Ce transfert contribue à abaisser la facture de chauffage et aussi à atténuer les surchauffes dans les pièces exposées au soleil.

Dans un volume d'air partagé en deux zones de températures différentes, du fait des différences de densité de l'air qu'il en résulte, s'instaurent des échanges d'air au travers de l'interface entre la zone froide et la chaude, c'est la *convection naturelle*. Ce brassage de l'air, qui a lieu en toute circonstance dès qu'il existe un gradient de température, peut être freiné par des obstacles (mur, porte, meuble) ou au contraire être favorisé par une conception intelligente de l'aménagement intérieure et par quelques dispositifs annexes purement passifs (bouche de prise d'air chaud et conduite vers les zones froides), ainsi que par un comportement attentif de l'occupant (ouverture de portes aux moments propices).

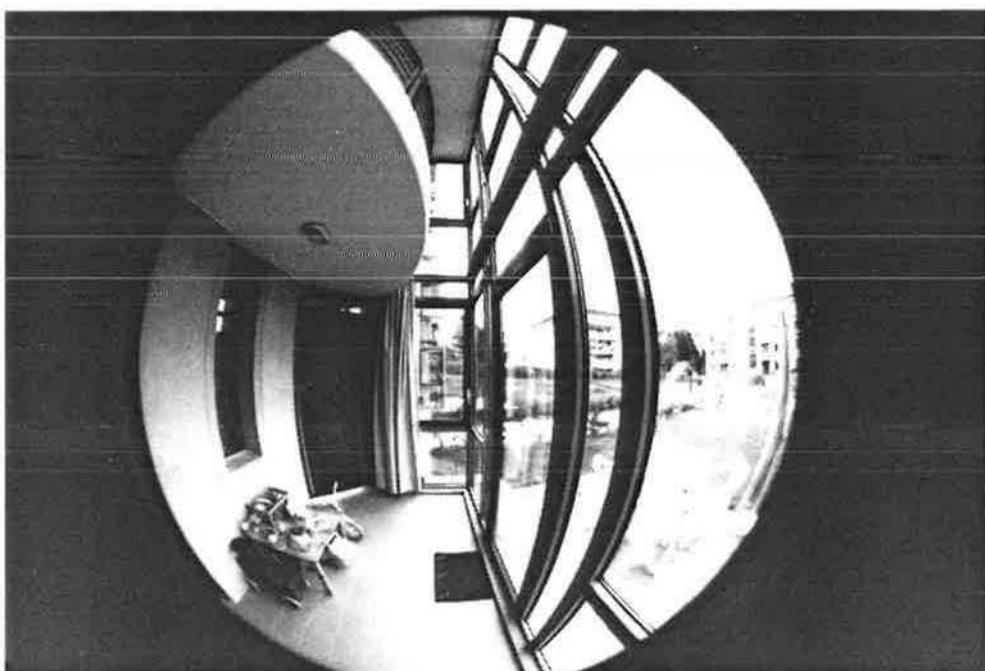


Figure 4.1 : Photographie de l'intérieur d'une véranda d'un duplex.

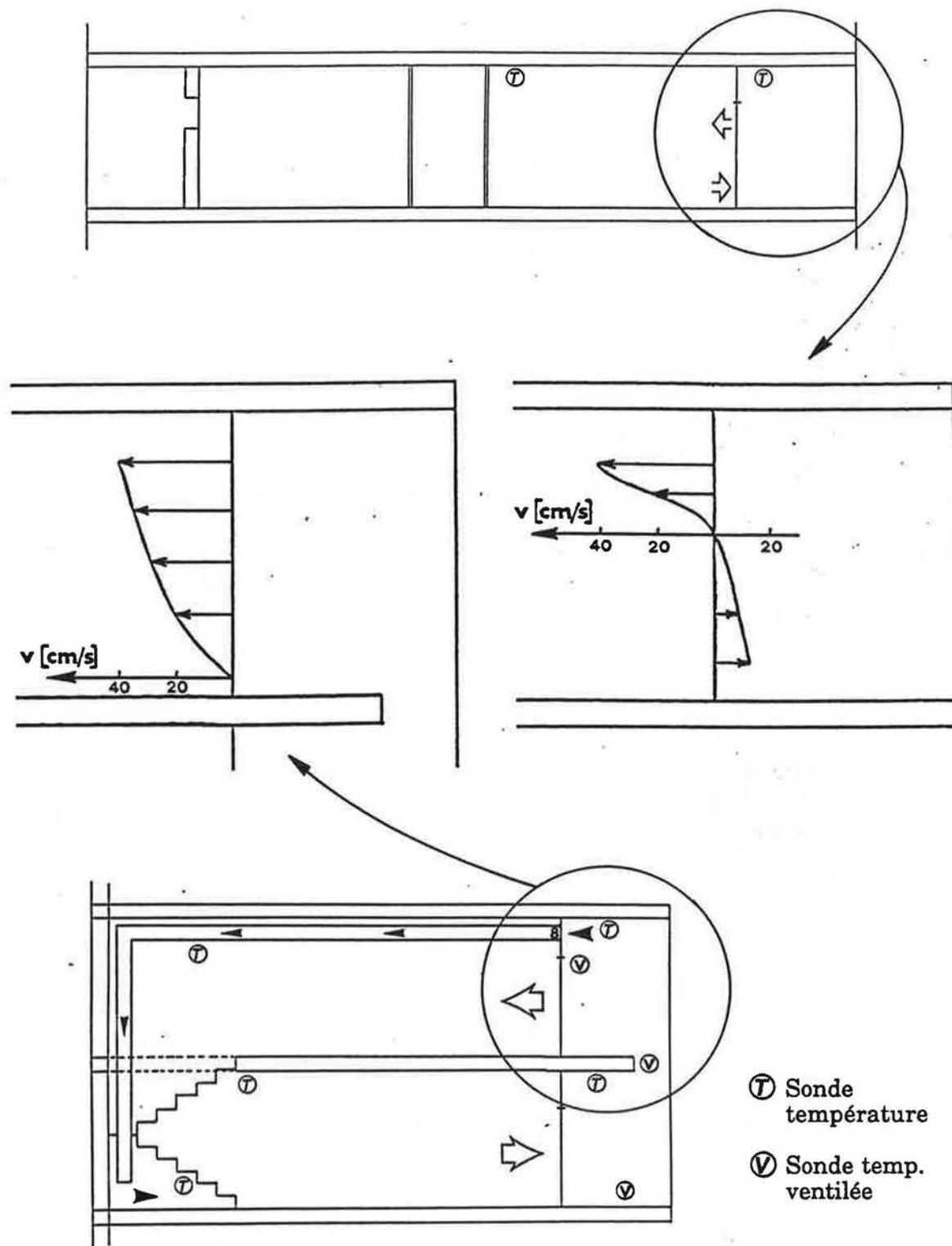


Figure 4.2 : Coupe des logements mesurés, emplacement des sondes de température et profils de vitesse typiques mesurés.

Afin de bénéficier d'un transfert de chaleur même en l'absence d'occupant, des conduits ainsi qu'une ventilation mécanique peuvent être installés entre la véranda et le logement. Le transfert de chaleur se fait alors par *convection forcée*.

Pour ces mesures de convection, nous nous sommes attachés principalement à deux duplex du bâtiment A, l'appartement <W> et le logement supérieur centre-Ouest (appelé <U> par la suite) qui est plus fortement instrumenté pour les mesures de températures. Les transferts de chaleur dans les duplex sont beaucoup plus intéressants car la géométrie sur deux niveaux (y compris la véranda) favorise la convection naturelle (figure 4.2). Des mesures sur un appartement conventionnel (à un niveau), le <Z>, mettent en évidence cet effet. Par la suite, tout ce qui est écrit concerne les duplex, sauf si cela est expressément précisé.

4.1 Convection naturelle

Pour mesurer un transfert de chaleur par un fluide, il faut mesurer le débit de ce fluide et la chute de sa température au travers de la boucle de restitution. Si cela ne pose pas beaucoup de problème dans le cas d'un liquide comme l'eau dans une conduite de distribution de chauffage, ceci est par contre beaucoup plus délicat dans le cas d'une boucle convective qui s'établit de façon naturelle dans un espace ou entre deux espaces. En effet la vitesse de l'air est assez faible, son parcours y est moins bien défini et la section traversée importante.

Dans notre cas, pour remédier à tous ses points délicats et pour être sûr de mesurer l'intégralité du flux d'air, les mesures de débit ont été faites au travers des portes de l'interface de la véranda. Comme celle-ci comporte deux portes inférieures et deux supérieures - et que l'on peut raisonnablement penser qu'en cas de convection bien établie, l'air pénètre dans la véranda entièrement et uniquement par le bas et en ressort entièrement et uniquement par le haut - seule une porte supérieure a été ouverte pour y faire les mesures de débit; les portes inférieures étant ouvertes.

Ces mesures de débit ont été réalisées à l'aide d'un anémomètre à fil chaud DISA, fixé sur un support mobile motorisé afin d'obtenir les profils de vitesse souhaité. Alors que le profil vertical dépend très fortement de la hauteur considérée, le profil de vitesse horizontal est constant sur plus des 90% de la largeur de la porte. L'intégration de ces profils de vitesse sur la hauteur de la porte donne le débit moyen traversant cette dernière.

Mesures par appart.	Date	$\langle T_{ext} \rangle^{24h}$ [°C]	$\langle G_V^{SSW} \rangle^{24h}$ [W/m ²]	G_V^{SSW} [W/m ²]
Z (1 niv.)	16.05.89	14.0	150	510
W (2 niv.)	9.03.89	4.8	210	800
U n°1	31.10.89	13.3	120	660
U n°2	1.11.89	12.4	100	600
U n°3	7.11.89	4.6	180	730

Tableau 4.3 : Date des mesures de convection naturelle et condition météo : moyennes sur 24 h. et moyenne horaire maximum journalière du rayonnement global vertical SSW.

Mesures par appart.	$ v_{air}^{max} $ [cm/s]	$\langle v_{air} \rangle$ [cm/s]	Débit [m ³ /h]	ΔT [K]	Conv. Nat. apports [W]	Ray. in serre [W]
Z (1 niv.)	>40	15	400	5.3	700	3500
W (2 niv.)	>40	25	1450	9.4	4500	8800
U n°1	30	21	1200	7.4	3010	7250
U n°2	28	19	1120	6.1	2320	6590
U n°3	35	23	1340	9.5	4310	8020

Tableau 4.4 : Mesure typique pour chaque jour de mesure du tableau 4.3. Comparaison avec le rayonnement solaire entrant dans la véranda (calculé à partir de G_V^{SSW}).

Les conditions extérieures lors des cinq jours de mesure sont données dans le tableau 4.3. Pour chacun de ces jours de mesure, le tableau 4.4 présente les résultats d'une mesure typique. Si on fait le rapport des apports de chaleur par convection naturelle au rayonnement solaire entrant dans la serre, on trouve que, pour les duplex, 35 à 54% de cette énergie est transmise à l'appartement. Par contre pour l'appartement sur un niveau <Z>, ce rapport n'est plus que de 20%. De par sa géométrie, un duplex permet donc un transfert de chaleur par convection naturelle environ deux fois plus important qu'un appartement à un seul niveau.

La qualité des mesures de débit est la même pour les trois logements des tableaux ci-dessus. Par contre les mesures de température sont de qualités différentes suivant l'appartement considéré. Ceci joue un grand rôle, la chute de température de l'air après son passage au travers de l'appartement étant un facteur déterminant pour le calcul du transfert de chaleur.

C'est dans le logement sur un niveau <Z> que les mesures de température sont le moins représentatives. On n'y dispose que de deux sondes ($\text{Pt}100\Omega$, non-ventilée, protégée du rayonnement) situées l'une au plafond (à environ 5 cm) de la véranda, l'autre au plafond et au fond de la pièce adjacente (voir figure 4.2). La perte d'énergie du flux d'air est donc mal déterminée car on contrôle mal la température de l'air à son retour dans la véranda.

Les duplex sont instrumentés de la même manière que ci-dessus, mais puisqu'ils sont sur deux étages, on dispose donc au moins du double de sonde. Le niveau supérieur se trouvant dans le flux "chaud" et le niveau inférieur dans le flux "froid", on a ainsi une meilleure estimation de l'énergie transférée. Dans le duplex <U>, on dispose de quatre sondes supplémentaires disposées à des endroits plus représentatifs du parcours de l'air (trois sondes ventilées dans la véranda et une sonde au bas de l'escalier intérieur, voir figure 4.2).

4.2 Convection forcée

Les quatres duplex supérieurs du bâtiment A sont équipés d'une installation mécanique de récupération de chaleur, qui extrait l'air chaud du haut de la véranda pour le transférer à la partie inférieure nord du logement (derrière et au bas de l'escalier intérieur, voir figure 4.2). Ce système autorise des transferts de chaleur sans intervention de l'occupant.

La puissance électrique du ventilateur est de 60 watts. Son enclenchement est commandé par un thermomètre différentiel tenant compte des températures de la véranda et de l'appartement.

Une mesure de profil de vitesse d'air dans la canalisation de cette installation a donné les résultats du tableau 4.5 [10]. Cette mesure a été réalisée au moyen d'un anémomètre à hélice placé au 2/3 de la longueur (20 fois le diamètre environ) de la portion horizontale du tuyau.

Portes inférieures	Débit [m^3/h]
Fermées	370
Ouvertes	468

Tableau 4.5 : Débits mesurés dans la canalisation de convection forcée (toutes fenêtres et portes supérieures de la serre fermées).

Les gains par convection forcée sont donnés au paragraphe suivant, ils sont calculés à partir de relevés de température permanents.

4.3 Transfert de chaleur par convection

Combinées aux relevés de température permanents effectués par la chaîne d'acquisition de Préverenges (demi-heure par demi-heure, durant plus d'une année), les mesures ponctuelles présentées ci-dessus ont permis de calculer les transferts de chaleur potentiels de l'appartement <U> pour une saison de chauffage.

Les calculs des gains par convection naturelle se font au moyen d'un modèle qui recalcule les profils de vitesse d'air à partir des relevés de température [10]. Ce modèle ne prend en compte les gains par transfert de chaleur que si les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- a) température de la véranda supérieure à 25 degrés (seuil à partir duquel un transfert de chaleur devient intéressant)
- b) température extérieure inférieure à 12 degrés (seuil d'enclenchement du chauffage).

Les mêmes conditions sont appliquées aux gains par convection forcée et par conduction (pas de convection). Dans les deux cas de convection, on fait l'hypothèse que les portes de la serre étaient fermées durant les mesures de température vérifiant la condition des 25 degrés ci-dessus. La température de la véranda doit alors être corrigée par le calcul en tenant compte de l'énergie qui lui est soutirée.

Pour présenter les résultats, deux cas mettant en évidence des comportements d'occupants typiques ont été considérés, permettant ainsi d'évaluer leur influence sur les transferts de chaleur :

- a) un *occupant idéal* : c'est celui qui est sensible aux problèmes énergétiques ou économiques, il ouvre les portes de la véranda dès que sa température dépasse 25 degrés et les referme lorsque le rayonnement solaire n'est plus suffisant (les quatre portes pour la convection naturelle ou celles du bas pour la convection forcée)
- b) un *occupant indifférent* : c'est celui qui est moins motivé, ou qui est absent, et qui laisse les portes de la véranda fermées en permanence. Dès lors le seul transfert de chaleur possible est la convection forcée portes fermées et, simultanément, les gains par conduction au travers de l'interface (ces gains existent aussi pour l'occupant idéal, mais sont alors négligeables face à la convection).

On peut aussi imaginer un troisième type d'occupant, celui qui laisse constamment les portes de la véranda ouvertes (ce qui a été observé à Préverenges dans quelques logements). Cette situation devient alors pire

que pour un appartement sans véranda, car l'enveloppe de celle-ci présente un coefficient de déperdition thermique plus mauvais que la façade conventionnelle. C'est la plus mauvaise utilisation que l'on puisse faire de la véranda, et ceci n'a pas été considéré par la suite.

Les gains par convection forcée sont considérés indépendamment des gains par convection naturelle, on admet qu'ils ne peuvent pas avoir lieu simultanément.

Apports [MJ]	G _{DUF}	G _{DUS}	B _{nets}	B _{bruts}
janvier	1290	596	4726	6720
février	1138	526	3792	5557
mars	2004	924	2196	5232
avril	1487	687	1898	4180
mai	1682	777	267	2834
octobre	1673	773	1618	4172
novembre	867	400	4543	5919
décembre	309	143	5767	6327
saison chauff.	10450	4830	24810	40940

Tableau 4.6 : Grandeur mesurées ou calculées pour les mois de chauffage de l'année 1989 : gains solaires directs utiles par les fenêtres G_{DUF} et via la serre G_{DUS}, besoins nets B_{nets} (apports chauffage) et besoins bruts B_{bruts} (inclus environ 100 [MJ/mois] pour les gains internes).

	<T _{ext} > [°C]	fract. utile [%]	P _{C+S} [MJ]	P _{C-S} [MJ]	P _{C-S/P_C+S} [%]
janvier	1.7	6.8	857	2016	235
février	3.3	6.2	679	1668	246
mars	7.1	16.4	238	1543	648
avril	8.1	5.2	330	1345	408
mai	15.2	0.3	109	798	732
octobre	10.6	6.2	231	1206	522
novembre	4.0	7.8	631	1750	277
décembre	2.7	3.0	989	1894	192
saison chauff.	6.6	6.5	4060	12220	301

Tableau 4.7 : Grandeur mesurées ou calculées pour les mois de chauffage de l'année 1989 : température moyenne mensuelle <T_{ext}>, fraction du temps vérifiant la condition 12/25 °C, pertes par conduction de l'élément de façade comportant la véranda, avec celle-ci P_{C+S} ou sans P_{C-S}.

Occupant Gains [MJ]	IDEAL		INDIFFERENT	
	Convection naturelle	Conv. forcée portes ouvertes	Conv. forcée portes fermées	Conduction (sans conv.)
janvier	283	234	202	68
mars	548	443	389	157
saison	1980	1550	1340	450

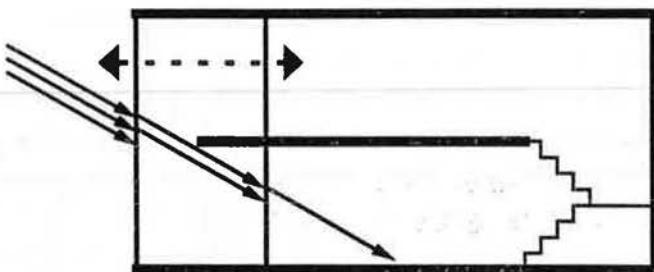
Tableau 4.8 : Calculs des transferts de chaleur pour deux occupants de comportements différents : moyennes mensuelles typiques et moyennes sur les mois de chauffage de 1989 (janv-mai + oct-déc).

Des quatre cas étudiés ici, le transfert de chaleur par convection naturelle est le moyen le plus efficace d'amener une partie de la chaleur captée de la véranda vers le logement. Celui-ci nécessite toutefois une intervention de l'occupant (ouverture et fermeture des portes). Sur une saison de chauffage, la chaleur transférée ainsi (occupant idéal) atteint près de 2000 mégajoules (100%). Comparé à ce chiffre, la convection forcée permet un transfert de 1550 [MJ] (78%) avec un occupant idéal, respectivement de 1340 [MJ] (68%) avec un occupant indifférent. Il est à noter qu'alors de l'énergie électrique devra être fournie au système afin de faire fonctionner le ventilateur. Dans le cas considéré ici, cette énergie n'est pas très élevée puisqu'elle ne dépasse pas 80 mégajoules, le ventilateur ne fonctionnant que durant 6.5% du temps durant les huit mois de chauffage. Remarquons pour terminer qu'en l'absence de ventilation mécanique, et avec un occupant indifférent, le gain de chaleur par conduction au travers de l'interface se limite alors à 450 [MJ] (23%).

Dans notre cas, la convection naturelle présente l'avantage par rapport à la convection forcée d'un plus grand débit, ceci provient de la plus large ouverture. Par contre elle n'est opérationnelle qu'avec un occupant attentif. Cela signifie qu'il devrait être à la maison durant la journée, ou au moins à midi, afin d'ouvrir les portes lorsque la serre s'est suffisamment réchauffée et que les gains solaires sont convenables. Les portes ne peuvent pas être laissées ouvertes en permanence, car on augmente alors les pertes thermiques.

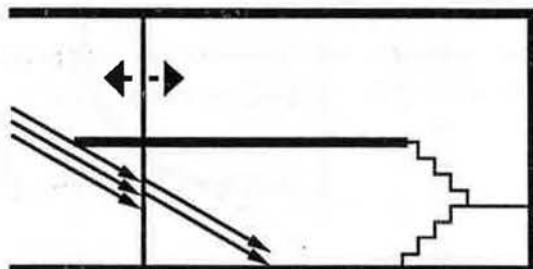
La convection forcée a l'avantage de fonctionner de façon satisfaisante même avec un occupant indifférent. Elle est certes plus efficace lorsque l'occupant intervient pour ouvrir les portes inférieures, mais on pourrait très bien imaginer des clapets au bas de l'interface qui s'ouvrent lorsque le ventilateur s'enclenche. Elle devrait surtout être munie de clapets qui ferment toutes les ouvertures de l'interface quand

a) Véranda fermée en permanence (Référence)



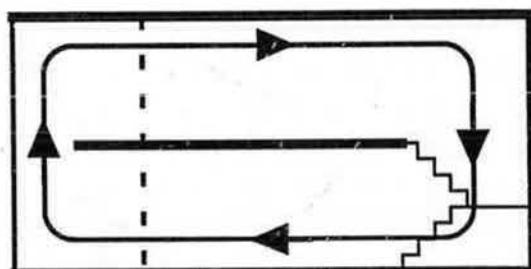
100 %

b) Balcons à la place de la véranda



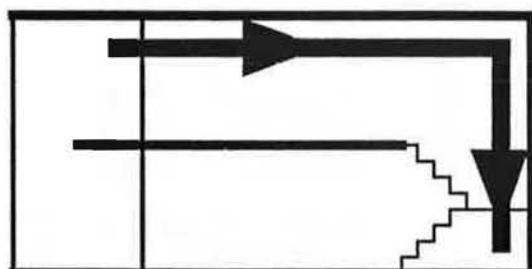
116 %

c) Convection naturelle - Utilisation optimale



92 %

d) Convection forcée, portes fermées en permanence



95 %

Figure 4.12 : Besoins relatifs en chauffage, sur toute la saison de chauffage, selon la situation et le mode d'utilisation de la véranda.

5 ETANCHEITE DE L'INTERFACE VERANDA-LOGEMENT

5.1 Considérations théoriques

La méthode de la concentration constante, avec un seul gaz traceur, permet de mesurer le flux d'air entre une zone (sans gaz) et une autre zone (avec gaz). Dès que l'on a plus de deux zones, la situation se complique si on désire déterminer un flux donné. Cela demeure toutefois possible en combinant judicieusement plusieurs mesures complémentaires (voir aussi §2.2/1).

Dans le cas particulier, nous avons cherché à déterminer la perméabilité à l'air du mur mitoyen entre la véranda et l'appartement. Nous avions donc trois zones en contact : l'extérieur, l'appartement et la véranda; soit six flux possibles, comme le montre la figure 5.1.

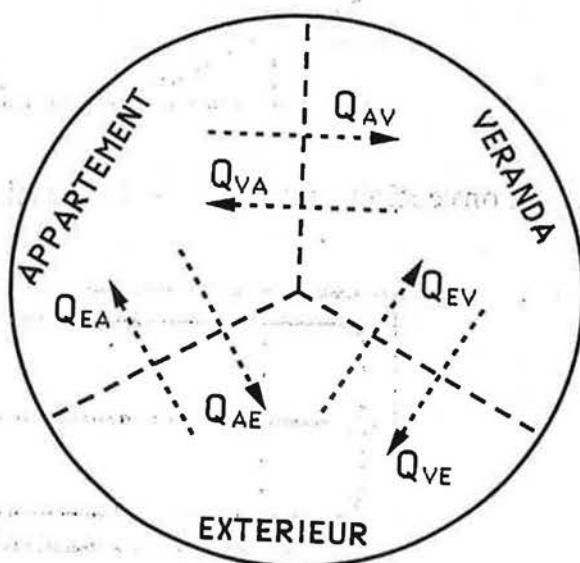


Figure 5.1 :

Flux d'air entre l'extérieur,
l'appartement et la véranda.

En injectant le gaz traceur dans l'appartement, il est possible de déterminer la somme des flux qui y pénètrent (provenant de l'extérieur et de la véranda), c'est à dire $Q_{EA}+Q_{VA}$. On procède de la même manière pour la véranda et on obtient $Q_{EV}+Q_{AV}$.

En injectant le gaz traceur simultanément dans le logement et la véranda, on détermine séparément les deux flux suivants : Q_{EA} et Q_{EV} . En combinant les quatre résultats obtenus, on arrive donc à isoler les flux cherchés qui traversent l'interface, soit Q_{AV} et Q_{VA} .

En pratique, la situation n'est toutefois pas aussi favorable, chaque mesure prenant passablement de temps (une heure au moins, mais en

- {10} Etude du transfert de chaleur par convection naturelle et forcée entre une serre et un logement.
E. Pitton, Travail pratique du diplôme de Physique
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, janvier 1990.
- {11} Swiss Research Program : Energy Relevant Air Movement in Buildings.
H. J. Zollinger
Program coordinator, Zürich, Switzerland, october 1986.