

P. Nusgens (1)
M. Guillaume (2)

VENTILATION NATURELLE DES MAISONS INDIVIDUELLES

Afin de réduire les besoins d'énergie pour le chauffage des bâtiments, nous avons considérablement amélioré l'isolation thermique de l'enveloppe des nouveaux bâtiments.

De ce fait, la ventilation, nécessaire à la survie de tout être humain au sein d'un bâtiment, prend une part de plus en plus importante dans les consommations d'énergie.

Il devient dès lors primordial de bien connaître et de bien pouvoir prédéterminer les phénomènes de ventilation.

C'est dans ce but que l'on résume dans ce texte les principaux résultats de trois campagnes de mesures dans des logements individuels, pour la plupart du type « social ».

Ces trois campagnes illustrent les différentes étapes réalisées dans la compréhension du phénomène.

Cependant, un travail important reste encore à faire, plus particulièrement dans la corrélation entre les mesures d'étanchéité à l'air des différents composants d'un logement et les mesures, au gaz traceur, des taux de renouvellement d'air.

1. GENERALITES

1.1 Introduction

L'être humain ne peut vivre à l'intérieur d'un bâtiment sans qu'il y ait, au sein de celui-ci, un apport minimal d'air frais.

Cependant, avec la crise énergétique que nous connaissons depuis 1973, l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments croît considérablement et, dans les besoins énergétiques sans cesse décroissants pour le chauffage de ces bâtiments, on s'aperçoit que ceux nécessités par la ventilation prennent une part de plus en plus importante.

Il s'avéra donc rapidement utile de mieux dominer le phénomène « ventilation des bâtiments » afin de réduire les besoins ou du moins, afin de mieux les prédéterminer.

C'est dans cette optique que nous nous sommes lancés dans plusieurs campagnes de mesures in situ dont les trois relatées ici illustrent bien l'évolution que nous avons suivie dans la tentative de compréhension des phénomènes constatés.

1.2 Lois de variation de la teneur en gaz traceur d'un local après injection

1.21 Notations

Voici les principales notations utilisées dans cette étude :

q : quantité de gaz traceur injectée dans un logement (m^3)

r_i (r_1, r_2) : taux de renouvellement d'air dans un local i

t : temps (h)

(1) Ingénieur civil, Premier assistant à la Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

(2) Ingénieur civil, chef de laboratoire, département Recherche et développement, C.S.T.C.

v_i (v_1, v_2) : quantité d'air entrant dans un local i
 V_i (V_1, V_2) : volume du local i (m^3)
 X_i (X_1, X_2) : concentration volumique de gaz traceur dans un local i (% vol.)
 $X_{i,0}$ ($X_{1,0}, X_{2,0}$) : concentration initiale (% vol.)
 X_e : concentration de gaz traceur dans l'air extérieur (% vol.)

1.22 Cas d'un seul local

La figure 1 représente schématiquement le cas d'un seul local comportant une fenêtre extérieure.

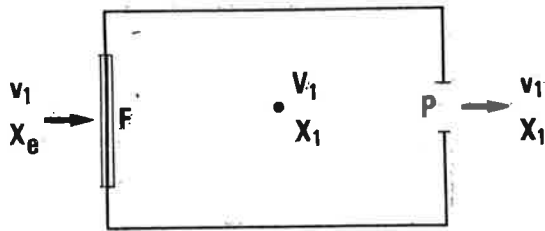


Fig. 1.
 F : fenêtre
 P : porte

Lois théoriques

L'équilibre interne à tout moment s'exprime par la relation :

$$V_1 dX_1 = v_1 X_e dt - v_1 X_1 dt$$

ou bien

$$X'_1(t) = \frac{v_1}{V_1} (X_e - X_1(t)) \quad (1)$$

Nous appellerons $\frac{v_1}{V_1} = r_1$ le taux de renouvellement d'air.

La relation (1) mise sous la forme :

$$X'_1(t) = r_1 (X_e - X_1(t)) \quad (2)$$

est une équation différentielle linéaire non homogène dont la solution est :

$$X_1(t) = X_e + (X_{1,0} - X_e) e^{-r_1 t} \quad (3)$$

où $X_{1,0}$ est la valeur de X_1 à l'instant 0.

La relation (3) peut également se mettre sous la forme :

$$\ln(X_1(t) - X_e) = \ln(X_{1,0} - X_e) - r_1 t \quad (4)$$

si $X_{1,0} > X_e$

ou bien sous la forme :

$$\ln(X_e - X_1(t)) = \ln(X_e - X_{1,0}) - r_1 t \quad (4 \text{ bis})$$

si $X_{1,0} < X_e$.

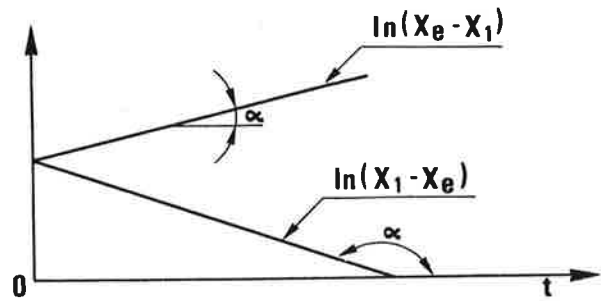


Fig. 2.

Les relations (4) et (4 bis) portées en graphique semi-logarithmique (fig. 2) donnent des droites.

La pente de celles-ci vaut $\text{tg} \alpha = -r_1$ ce qui sera un moyen simple pour déterminer le taux de renouvellement d'air r_1 .

Remarque

Nous pouvons également obtenir graphiquement r_1 , mais de façon moins précise, à l'aide de la relation (3), qui est portée en graphique à la figure 3.

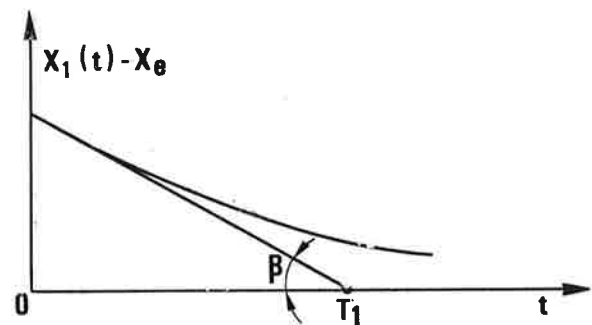


Fig. 3.

Au temps T_1 , la tangente à la courbe aura pour équation :

$$X_{1,0} - X_e = T_1 \text{tg} \beta \quad (5)$$

Suivant la relation (2), $\text{tg} \beta$ vaudra

$$-r_1 (X_e - X_{1,0}).$$

Dès lors, la relation (5) donne :

$$(X_{1,0} - X_e) = -r_1 T_1 (X_e - X_{1,0}) \quad (6)$$

ou bien, après simplifications :

$$-r_1 = \frac{1}{T_1} \quad (7)$$

Cette méthode sera moins précise que la précédente, étant donné l'imprécision du tracé de la tangente initiale; cependant, elle pourra être utilisée comme moyen rapide pour déterminer r_1 en cours d'essais.

1.23 Cas de plusieurs locaux

1.23.1 Lois théoriques pour deux locaux

Le cas simplifié de deux locaux peut se repré-

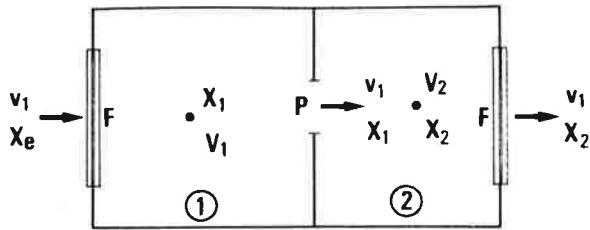


Fig. 4.
F : fenêtres
P : porte
1 et 2 : locaux

senter schématiquement suivant la figure 4.

Nous reprendrons le même raisonnement qu'au paragraphe 1.22 ci-dessus.

L'équilibre interne donne pour le local 1 :

$$X_1 = X_e - (X_e - X_{1,0}) e^{-r_1 t} \quad (8)$$

L'équilibre interne donne pour le local 2 :

$$X'_2 = \frac{v_1}{V_2} X_e - \frac{v_1}{V_2} (X_e - X_{1,0}) e^{-r_1 t} - \frac{v_1}{V_2} X_2. \quad (9)$$

En posant :

$$X_{2,0} = \frac{V_1}{V_1 - V_2} (X_e - X_{1,0})$$

$$\text{et } r_2 = \frac{v_1}{V_2},$$

nous obtenons après résolution de l'équation (9) :

$$X_2 = e^{-r_2 t} r_2 X_e t + X_{2,0} e^{-(2 r_2 + r_1) t}. \quad (10)$$

La relation (10) nous permet de trouver la valeur de la tangente initiale (en $t = 0$) qui est :

$$\left(\frac{dX_2}{dt} \right)_{t=0} = r_2 X_e + (-2 r_2 + r_1) X_{2,0}, \quad (11)$$

relation dans laquelle tous les facteurs sont connus sauf r_2 .

Nous pourrions donc graphiquement, grâce à la relation (11), obtenir la valeur de r_2 .

1.23.2 Cas général

Le cas précédent, bien que simplifié, conduit à des résultats complexes qui le deviendront davantage si l'on considère les cas généraux de plusieurs locaux.

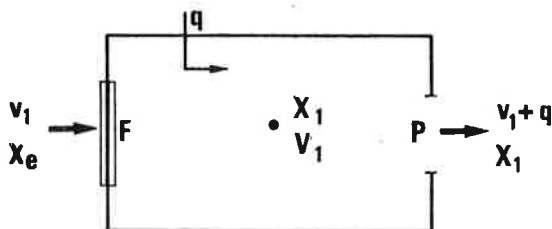


Fig. 5.
F : fenêtre
P : porte

Nous n'envisagerons ici que la méthode expérimentale suivante.

La quantité totale de gaz traceur (pour l'entière du logement) à tout instant t sera donnée par la relation :

$$\sum_i X_i(t) V_i = X(t) \sum_i V_i \quad (12)$$

ou bien

$$X(t) = \frac{\sum_i X_i(t) V_i}{\sum_i V_i} \quad (13)$$

On peut ainsi considérer l'ensemble du logement comme étant un seul local dans lequel la teneur en gaz traceur $X_1(t)$ est, à tout moment, donnée par la relation (13).

Dès lors, un graphique semi-logarithmique semblable à celui de la figure 2 donnera une droite dont la pente caractérisera le taux de renouvellement d'air global cherché.

1.24 Autre loi de variation de la teneur en gaz pendant l'injection

On n'envisagera que le cas d'une injection continue q constante d'un gaz traceur dans un local pendant un temps suffisamment long.

1.24.1 Cas général

Le schéma descriptif de l'essai est repris à la figure 5. L'équilibre interne à tout moment peut s'exprimer par la relation :

$$V_1 dX_1 = q dt + v_1 X_e dt - (v_1 + q) X_1 dt \quad (14)$$

ou bien

$$X'_1 = \frac{q}{V_1} + r_1 X_e - \left(r_1 + \frac{q}{V_1} \right) X_1, \quad (15)$$

ce qui est une équation différentielle dont la solution est :

$$X_1 = \left(X_{1,0} - \frac{q}{V_1} - r_1 X_e \right) e^{-\left(r_1 + \frac{q}{V_1} \right) t} + \left(\frac{q}{V_1} + r_1 X_e \right). \quad (16)$$

1.24.2 Cas particulier

L'équation générale (16) donnera, dans le cas où la teneur en gaz traceurs de l'air extérieur est négligeable :

$$X_1 = \frac{q}{V_1} + \left(X_{1,0} - \frac{q}{V_1} \right) e^{-\left(r_1 + \frac{q}{V_1} \right) t}. \quad (17)$$

La relation (17) peut également se mettre sous la forme :

$$\ln \left(X_1 - \frac{q}{V_1} \right) = \ln \left(X_{1,0} - \frac{q}{V_1} \right) - \left(r_1 + \frac{q}{V_1} \right) t. \quad (18)$$

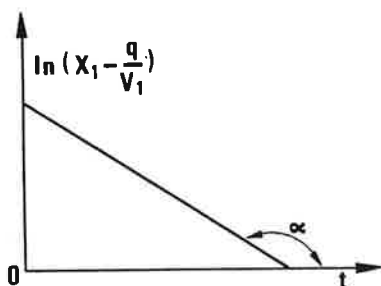


Fig. 6.

Cette loi est portée en graphique à la figure 6. Nous constatons que la pente de cette droite vaut :

$$\operatorname{tg} \alpha = - \left(r_1 + \frac{q}{V_1} \right), \quad (19)$$

relation dans laquelle $\frac{q}{V_1}$ est connu; ceci constitue un moyen simple pour déterminer r_1 .

1.25 Loi de décroissance de la teneur en gaz traceur

Cette loi est celle obtenue avec la plupart des gaz traceurs utilisés, comme par exemple le SF_6 , le N_2O_5 , le N_2O , le CO_2 et le O_2 .

Dans la suite de ce texte, nous traiterons des résultats d'essais obtenus avec le CO_2 , le N_2O et le O_2 .

L'injection du gaz traceur permet d'atteindre dans le logement la teneur initiale $X_{1,0}$ de la relation (4) ci-dessus car dans ce cas, la teneur initiale $X_{1,0}$ est supérieure à la teneur X_e de l'air extérieur.

La mesure de la décroissance de la teneur de ce gaz dans le logement permettra d'élaborer un graphique semblable à celui de la figure 2 et d'obtenir finalement le taux de renouvellement d'air cherché.

Si le gaz traceur utilisé n'est pas présent dans l'air extérieur (c'est par exemple le cas du SF_6), la relation (3) explicitée ci-dessus se simplifie et devient :

$$X_1(t) = X_{1,0} e^{-rt}. \quad (20)$$

Dans ce cas, c'est toujours la pente de la droite du graphique semi-logarithmique de la figure 2 qui donnera le taux de renouvellement d'air cherché.

1.26 Loi de croissance de la teneur en gaz traceur

C'est la loi obtenue lorsque le gaz traceur utilisé est l'oxygène (O_2).

Dans ce cas, une injection importante d'azote (N_2) diminuera la teneur en O_2 de l'air intérieur au logement jusqu'à une valeur $X_{1,0}$ utilisée dans la relation (4 bis) car dans ce cas, $X_{1,0}$ est inférieur à la teneur X_e de l'air extérieur.

La mesure de la croissance de la teneur en O_2 dans le logement permettra d'élaborer un graphique semblable à celui de la figure 2 et d'obtenir finalement le taux de renouvellement d'air cherché.

1.3 Principe de la mesure

1.31 Instrumentation

1.31.1 Gaz traceur : N_2O ou CO_2

Dans ce cas, l'appareil de mesure est un analyseur de gaz à absorption sélective dans l'infrarouge.

Le principe de la mesure est le suivant : la cellule de mesure est divisée en deux enceintes identiques contenant du CO_2 ou du N_2O .

Ces deux enceintes reçoivent un rayonnement infrarouge qui, au préalable, a traversé respectivement une cellule de référence vide de gaz traceur et une cellule d'analyse parcourue de gaz à analyser; le gaz à analyser absorbe une partie du rayonnement proportionnelle à la teneur en gaz traceur et il en résulte un échauffement différent dans les deux enceintes de mesure. La différence de température ainsi créée entraîne une différence de pression entre les deux enceintes qui, convertie en grandeur électrique, fournit le signal de mesure.

1.31.2 Gaz traceur : O_2

Dans ce cas, l'appareil de mesure est un analyseur de gaz basé sur les propriétés paramagnétiques de l'oxygène et sur la dépendance de celles-ci vis-à-vis de la température; en effet, le paramagnétisme de l'oxygène diminue lorsque la température de celui-ci augmente.

Le gaz à analyser est soumis, dans une cellule de mesure, à un champ magnétique important créé par un aimant permanent entre les pôles desquels un filament chauffe le gaz avec lequel il est mis en contact.

Le champ magnétique ayant tendance à attirer le gaz froid et à refouler le gaz chaud, un véritable vent magnétique se crée dans la cellule de mesure et la vitesse de celui-ci dépend de la teneur en oxygène du gaz analysé.

Le filament réchauffeur est réalisé en matériau dont la résistance varie fortement avec la température; le vent magnétique aura pour effet de refroidir le filament et de faire varier la résistance de celui-ci.

Ce filament est inséré dans un pont de Wheatstone dont le déséquilibre servira de mesure de la vitesse du vent magnétique et donc de la teneur en oxygène du gaz à analyser.

1.32 Principe d'injection du gaz traceur

Dans une habitation, certaines pièces sont ventilées par de l'air extérieur et d'autres par de l'air provenant de pièces voisines.

taux de 3,8 vol./h, soit près de dix fois celui de la maison 3.

Les mesures systématiques dans les différentes pièces de la maison 7 ne permettent pas d'établir généralement une relation entre le taux de renouvellement et la vitesse du vent.

Cela est dû à la difficulté d'obtenir un éventail de mesures suffisant en vitesse et en orientation.

On a pu obtenir une relation valable uniquement pour le living (fig. 8) qui possède des ouvertures (portes et fenêtres) sur deux parois opposées et qui, dès lors, est moins sensible à l'orientation du vent.

Pour ce local, on obtient une loi :

$$n_{(\text{vol./h})} = 0,11 + 0,16 V,$$

V étant la vitesse du vent relevée en site météorologique (à 10 m de hauteur) à la station la plus proche (environ 10 km).

D'autre part, les différents essais réalisés permettent d'estimer les taux de renouvellement pour une vitesse de vent météorologique de 4 m/s.

Ils sont repris dans le tableau 2 et comparés aux taux calculés suivant la norme DIN 4701 (1).

A l'exception du living, on constate une concordance satisfaisante entre les valeurs calculées et celles déduites des essais in situ

Tableau 2

Local	n suivant DIN 4701 (vol./h)	n estimé (vol./h)
Living	0,2	0,7
Cuisine	1,7	1,1
Chambre 1	0,5	0,7
Chambre 2	1,0	0,9 - 1,9
Chambre 3	1,9	2,2

Tableau 3 — Taux de renouvellement d'air (vol./h)

Essai \ Local	Chambre 1 SW	Chambre 2 NE	Chambre 3 NE	Living SW - NE	Cuisine NE
1	0,12	0,52	0,61	0,72	0,81
2	0,22	0,57	0,77	0,90	1,04
3	0,14	0,51	0,59	0,55	1,50
4	0,10	0,50	0,59	0,31	1,98
5	0,28	0,14	0,26	0,28	0,66
6	0,10	0,49	0,74	0,60	1,70
moyenne	0,16	0,46	0,60	0,56	1,28

(1) DIN 4701 Heizungen. Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Berlin, DIN, 1959.

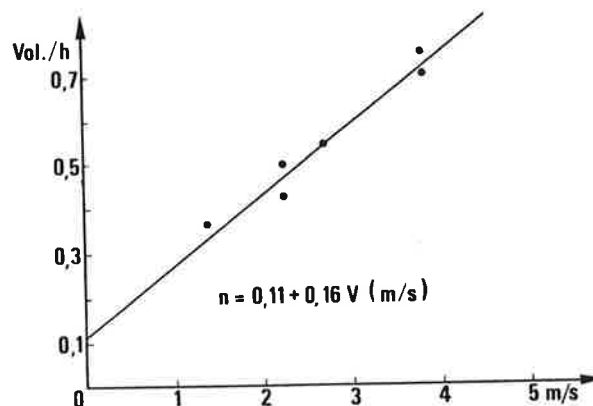


Fig. 8.

En abscisse, vitesse du vent
En ordonnée, renouvellement d'air

mais il ne faut pas oublier que pour des locaux semblables dans des maisons différentes on a mesuré des renouvellements passant du simple au décuple.

2.3 Analyse de la campagne « contamination globale »

Cette campagne a dû être réalisée dans une troisième maison (M8).

La concentration en gaz étant mesurée dans les différentes pièces, il est possible de déterminer les taux de renouvellement de chaque pièce. Ceux-ci ne sont pas représentatifs du volume d'air extérieur entrant dans la pièce (à cause des échanges internes) mais bien de la qualité de la ventilation de la pièce envisagée.

Les résultats sont repris dans le tableau 3. Il faut noter les taux de renouvellement d'air exceptionnels de la chambre 1 (0,16) et de la cuisine (1,28) comparés à ceux des autres pièces qui sont de l'ordre de 0,5.

Pour la chambre 1, il n'y a pas de raison évidente pour expliquer cette faible ventilation; des essais effectués dans d'autres maisons n'ont pas montré une telle discordance pour la chambre 1.

On peut donc supposer, soit que les caractéristiques d'étanchéité des châssis peuvent varier fortement dans une même série, soit que la mise en œuvre de ces châssis a une importance primordiale, soit que des défauts d'étanchéité autres que ceux des châssis jouent un rôle important.

En ce qui concerne la cuisine, le taux de ventilation élevé peut s'expliquer par la présence d'une porte extérieure et d'une porte vers la cave.

Le tableau 4 reprend les valeurs de renouvellement global mesurées dans les différents essais. Il n'est pas possible de trouver une corrélation entre le renouvellement global et la vitesse moyenne du vent mesurée à 5 m au-dessus du toit.

Cela est sans doute dû au fait que les conditions climatiques étaient très variables, en amplitude et en orientation au cours d'un même essai. Pendant la campagne d'essais caractérisée par une vitesse de vent faible, de l'ordre de 2 m/s, l'habitation testée présentait un taux de renouvellement d'air de l'ordre de $(0,47 \pm 0,13)$ vol./h.

2.4 Conclusions

Les essais pièce par pièce ont mis en évidence d'importantes différences dans les taux de renouvellement d'air de pièces semblables localisées dans des maisons de construction et d'architecture identiques.

Par contre, les essais en contamination globale montrent que là où, dans un même logement, la méthode de la norme DIN 4701 donne des prédéterminations satisfaisantes par rapport aux mesures, certaines pièces peuvent être ventilées très différemment les unes des autres.

Cependant, les mêmes discordances n'ayant pas été constatées dans l'ensemble des logements, nous pouvons supposer que les caractéristiques d'étanchéité à l'air des châssis et de leur placement, et même l'étanchéité globale à l'air du logement, sont à l'origine des discordances.

Il semble finalement que les variations d'amplitudes et de fréquences, pour une même vitesse moyenne du vent, ainsi que les différentes orientations obtenues au cours des essais,

soient responsables du manque de corrélation entre le renouvellement d'air global et la vitesse météorologique moyenne du vent.

3. MESURE DE LA VENTILATION D'UNE MAISON INDIVIDUELLE - DEUXIEME CAMPAGNE DE MESURES

3.1 Description de la campagne

Une seule maison a été testée par la méthode de la contamination globale. Il s'agit d'une maison unifamiliale située dans un site bien dégagé. Elle comporte un seul niveau habitable dont le volume est de 325 m^3 (fig. 9). Elle est normalement chauffée par une pompe à chaleur air - air et comporte donc un réseau de gaines de pulsion et de reprise d'air.

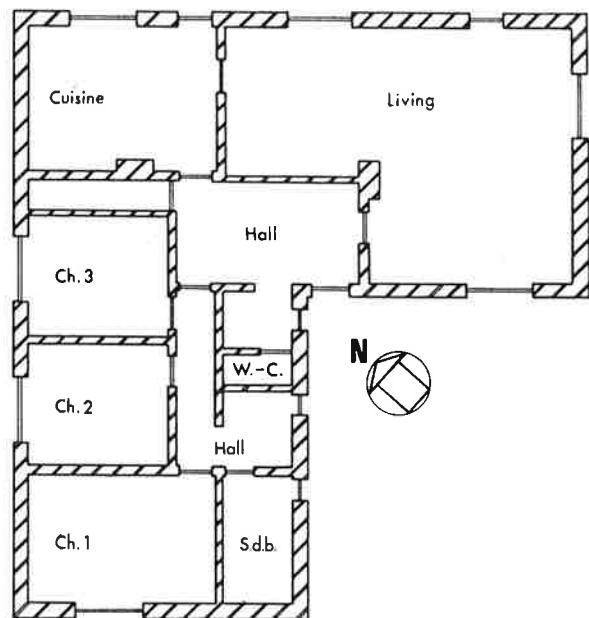


Fig. 9.

En plus des mesures du taux de renouvellement, nous avons effectué des mesures de pressions superficielles au centre des six parois extérieures (fig. 9). La pression de référence était la pression régnant dans une des pièces de l'habitation (cuisine).

Un mât météorologique était disposé à proximité de la maison, du côté d'où viennent les vents dominants. Il comportait 7 thermistances dont deux pour les mesures de température et cinq pour les mesures de vitesses (à 1 m l'une de l'autre).

Tableau 4 — Renouvellement d'air global n_T

Essai →	1	2	3	4	5	6
n_T (vol./h)	0,51	0,68	0,46	0,36	0,32	0,50
\bar{V} (m/s)		2,5	1,9	1,7	1,0	1,6
OR.		N-NW	N	N-NW	N	N

Tableau 5 — Taux de renouvellement d'air mesurés dans la maison (vol./h). — Essais en ventilation naturelle

Pièce d'habitation \ Essai	M ₁ (1)	M ₂ (2)	M ₃	M ₄	M ₇	M ₉
Salle de bains	1,16	0,69	0,05	0,19	0,24	0,20
Chambre 1	1,31	0,60	0,07	0	0,06	0,03
Chambre 2	1,34	0,59	0,09	0	0,03	0,02
Chambre 3	—	0,50	0,12	0	0,02	0,03
Hall	1,16	0,62	0,10	0,24	0,24	0,24
Cuisine	1,16	0,43	0,02	0,25	0,24	0,23
Living (1 ^{er} poste)	1,15	0,70	0,01	0,15	0,26	0,23
Living (2 ^{ème} poste)	1,10	0,70	0,01	0,14	0,25	0,23
Moyenne (pondérée par les volumes)	1,20	0,61	0,05	0,14	0,19	0,17
Vent météorologique moyen (m/s)	4,0	7,3	3,5	2,3	4,4	4,8
Orientation	N-NW	W-SW	W-NW	W-SW	W-NW	W

(1) Bouches de pulsion découvertes
 (2) Bouches de pulsion découvertes et ventilateur en fonctionnement.

3.2 Taux de renouvellement d'air

Six essais de renouvellement d'air ont été effectués. Les résultats sont repris dans le tableau 5. Les essais M1 et M2 sont particuliers. Ils ont été réalisés avec les bouches de pulsion d'air découvertes, le ventilateur de pulsion étant respectivement arrêté ou en marche. On constate l'importance de ces bouches par rapport aux autres essais. Le défaut d'étanchéité se situe vraisemblablement au niveau de la pompe qui se trouve dans la cave en communication directe avec le garage dont la porte était très peu étanche. La mise en route du ventilateur diminue le défaut d'étanchéité car, dans ce cas, le circuit d'air est refermé sur lui-même (en ce qui concerne les pressions) et les infiltrations incontrôlées diminuent.

Pour les autres cas, les infiltrations naturelles sont effectivement réduites au minimum pratiquement réalisable. Ces infiltrations augmentent évidemment avec la vitesse du vent mé-

téorologique mais le nombre restreint et la discussion des résultats ne permettent pas de dégager des lois très significatives. Les infiltrations et surtout leur répartition dans le bâtiment sont aussi très affectées par l'orientation du vent.

3.3 Pressions dynamiques et microclimat extérieur

Les mesures de pression à l'intérieur des différentes pièces n'ont pas fait apparaître de déséquilibre significatif, en raison notamment des ouvertures ménagées dans le bas des portes. On peut considérer les pertes de charge intérieures comme pratiquement négligeables. Il en résulte que la pression de référence prise dans la cuisine est valable pour toute l'habitation.

La figure 10 montre un exemple de relevé des pressions superficielles sur les façades. On constate l'importance des fluctuations rapides et la quasi-impossibilité d'interpréter, tout au

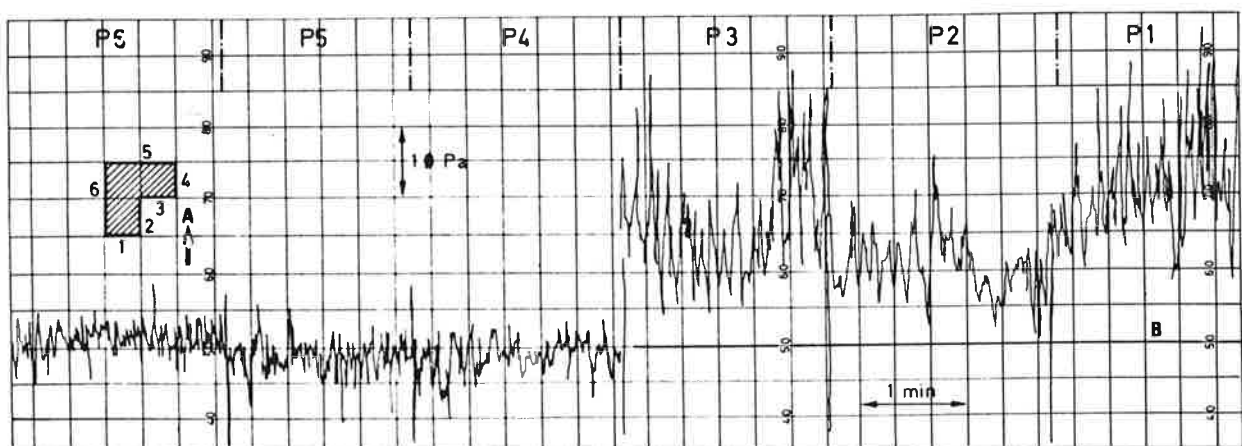


Fig. 10 — Enregistrement des pressions superficielles sur les façades.
 A : vent météorologique 8 m/s
 B : zéro

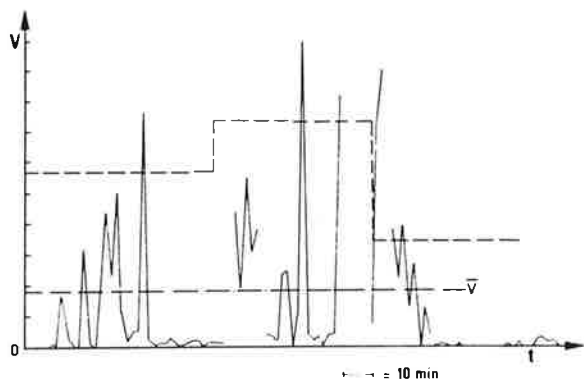


Fig. 11 — Enregistrement du vent météorologique.
 \bar{v} : vitesse moyenne

long d'un essai, le relevé de la pression instantanée. Il faudrait recourir à des mesures plus élaborées telles que valeur moyenne et efficace. En effet, il paraît illusoire de rechercher une interprétation statique du phénomène; les oscillations induisent sans doute des infiltrations nettement supérieures à celles qui correspondraient aux mesures moyennes en écoulement stationnaire. D'autre part, les contrôles effectués sur le microclimat montrent que la définition du vent météorologique ne suffit pas. La figure 11 illustre le comportement du vent près de la maison à 5 m de hauteur. Le vent moyen n'est même pas conservé à proximité de l'habitation (tableau 6) et de plus, il s'y superpose des oscillations temporelles importantes.

4. MESURE DE LA VENTILATION ET DE L'ÉTANCHEITÉ À L'AIR DE TROIS LOGEMENTS SOCIAUX (1)

4.1 Introduction

Au cours d'une campagne de mesures effectuées dans trois maisons sociales identiques, on s'est intéressé :

- à l'étanchéité à l'air des menuiseries extérieures (portes, fenêtres et portes-fenêtres)
- à la conformité de la perméabilité à l'air de ces menuiseries extérieures aux normes belges existantes
- à la part prise par la perméabilité de ces menuiseries dans les taux de renouvellement d'air mesurés à l'aide d'un gaz traqueur.

L'implantation et la numérotation (qui servira de repère dans la suite de ce texte) des trois maisons étudiées sont reprises à la figure 12; on y a mesuré non seulement les taux de ventilation dus aux infiltrations d'air, mais également ceux obtenus à l'aide d'un système mécanique contrôlé que l'on avait réalisé dans l'espoir de voir se réduire l'effet des infiltrations sauvages, surtout en ce qui concerne le système à double flux avec un excédent d'insufflation par rapport à l'extraction.

(1) Voir bibliographie n° 1.

(2) NBN B 62-001 Hygrométrie des bâtiments. Isolation thermique. Conditions hivernales. Bruxelles, IBN, 1974.

Tableau 6 — Profils de vitesse de vent

Altitude (m)	Vitesse moyenne et déviation standard (m/s)	
	1	0,2 ± 0,5
2	—	0,4 ± 1,2
3	1,2 ± 1,6	0,6 ± 0,6
4	2,0 ± 2,8	2,4 ± 2,6
5	1,8 ± 2,5	3,8 ± 5,2
vent météo (m/s)	5,9 S-SW	10,3 NW

La norme belge qui fixe la perméabilité à l'air des fenêtres extérieures est la norme NBN B 62-001 (2), élaborée en vue de définir le confort et de réduire la consommation d'énergie d'un bâtiment en conditions hivernales. Afin de satisfaire à cette norme, la perméabilité à l'air des menuiseries extérieures doit répondre à la prescription suivante, laquelle est définie suivant le site où sont implantées les trois maisons étudiées :

site protégé $Q_{100} \leq 6 \text{ m}^3/\text{h.m}$

Ceci signifie que, soumis à une pression différentielle de 100 Pa, un châssis de fenêtre ne laissera s'infiltrer qu'une quantité horaire d'air extérieur de 6 m³ par unité de longueur des joints des ouvrants.

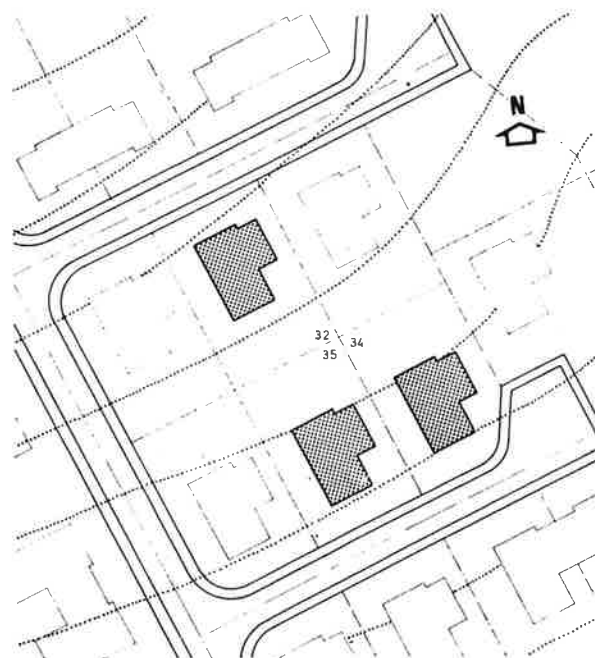


Fig. 12.

Le but du rédacteur de la norme est de réaliser un renouvellement d'air de 1,5 vol./h dans les logements équipés de ces menuiseries et ce, pour un vent moyen dont la vitesse est de 5 m/s.

4.2 Méthodes d'essais

4.2.1 Mesures du microclimat

Ces mesures consistent à déterminer pour le climat extérieur la température, l'humidité relative, la vitesse et l'orientation du vent :

- la température est mesurée à l'aide de thermocouples cuivre-constantan placés sous abri et avec un hygromètre à cheveu permettant également l'enregistrement de l'humidité relative
- un anémomètre à cupule de mesure de la vitesse du vent ainsi qu'un transmetteur potentiométrique de direction du vent sont placés tous deux sur un mât de 10 mètres de hauteur.

4.2.2 Mesure de l'étanchéité des éléments de façade

Celle-ci fut faite à l'aide d'un caisson étanche appliqué sur la face extérieure des murs. Les essais furent menés de façon à mettre l'intérieur du caisson en dépression ou en surpression.

4.2.3 Pression due à l'action du vent sur les façades

La pression de part et d'autre de chaque élément de façade fut mesurée à l'aide de prises de pression raccordées à des capteurs électroniques de pression différentielle.

Ces mesures ont permis de déterminer le coefficient C donné par la relation :

$$\Delta p = C \rho \frac{v^2}{2}$$

où Δp est la pression différentielle mesurée (en Pa),

ρ est la masse volumique de l'air extérieur (en kg/m^3),

v est la vitesse du vent (en m/s).

4.3 Résultats obtenus

4.3.1 Perméabilité à l'air des menuiseries extérieures

La numérotation des différentes menuiseries extérieures est donnée à la figure 13.

Pour chacun de ces éléments, le tableau 7 permet de comparer la perméabilité à l'air mesurée avec la perméabilité normalisée.

Jusqu'à une pression différentielle de 100 Pa, la perméabilité mesurée en dépression ne fut pas sensiblement différente de celle obtenue en surpression. On constate que dans la plupart des cas, la perméabilité mesurée est de loin supérieure à la perméabilité tolérée par la norme; on en conclut dès lors que les trois maisons étudiées sont équipées de châssis et de portes dont l'étanchéité à l'air est mauvaise vis-à-vis de la norme.

4.3.2 Pression due à l'action du vent sur les façades

Seuls les vents soufflant du secteur SUD-OUEST et du secteur EST seront envisagés ici.

Les essais ont permis de calculer les coefficients de pression dynamique C au droit des

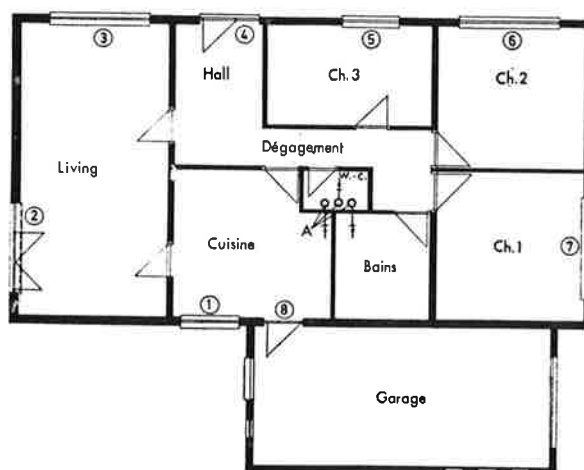


Fig. 13.

1 - 8 : éléments des façades
A : conduits de ventilation « naturelle »

Tableau 7 — Perméabilité à l'air mesurée in situ et normalisée (m^3/h)

N° des éléments		1	2	3	4	5	6	7
Suivant norme NBN B 62-001		20	60	40	36	20	40	40
Mesures in situ	maison 32	35	125	64	1470	18	47	70
	maison 34	15	97	54	286	31	32	95
	maison 35	22	140	50	298	22	92	47

Tableau 10 — Quantités d'air entrant

Maison n°	SUD-OUEST - 5 m/s		EST - 2 m/s	
	air entrant par les fenêtres (vol./h)	air entrant globalement (vol./h)	air entrant par les fenêtres (vol./h)	air entrant globalement (vol./h)
32	0,04	0,45	pas mesuré	pas mesuré
34	0,19	—	négligeable	0,2
35	0,24	0,73	négligeable	0,35

4.4 Résultats obtenus à l'aide d'une installation de ventilation mécanique contrôlée - double flux (VMC - DF)

Cette installation avait pour tâche d'extraire l'air vicié produit dans les locaux de service (cuisine, salle de bains, W.-C.) et d'insuffler de l'air extérieur frais dans les locaux de séjour (living, hall, chambre à coucher).

Les quantités d'air frais insufflées correspondent approximativement à un taux de renouvellement d'air de 1 vol./h et sont supérieures de 20 % aux quantités d'air vicié extraites; on peut considérer que dans ces conditions, l'intérieur de l'habitation est en légère surpression.

La figure 15 reprend les principaux résultats obtenus dans la maison 35. On constate que les quantités d'air insufflées par la VMC - DF se superposent à celles d'air entrant sous l'effet du tirage thermique et sous l'effet des coups de vent sur l'enveloppe extérieure du bâtiment.

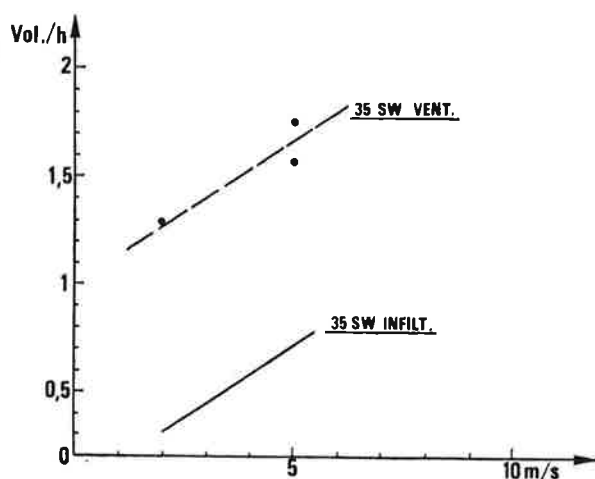


Fig. 15.

En abscisse, vitesse du vent
En ordonnée, renouvellement d'air

4.5 Conclusions

4.51 L'étanchéité à l'air des châssis et portes extérieures n'est pas satisfaisante si l'on prend comme référence les valeurs imposées par la norme.

Malgré cela, on constate cependant que pour des vents moyens de 5 m/s, les taux de renou-

vellement d'air obtenus sont compris entre les deux valeurs extrêmes de 0,45 et 0,7 vol./h; nous sommes loin d'atteindre la valeur de 1,5 vol./h considérée comme nécessaire par le rédacteur de la norme. On constate là une incohérence certaine entre les perméabilités à l'air tolérées et les performances désirées.

4.52 Même pour des maisons identiques construites en série sur le même site, les caractéristiques d'étanchéité à l'air des menuiseries extérieures et de leur placement peuvent être totalement différentes d'une maison à l'autre; il ressort bien sûr de cette constatation que l'on ne pourra jamais faire d'hypothèses valables sur la ventilation d'un bâtiment à partir de valeurs normalisées ni à partir d'essais effectués sur un autre bâtiment, même si celui-ci est identique au premier.

Dans ces conditions, le problème de l'estimation de la ventilation d'une habitation et de la consommation d'énergie y afférente reste entier.

4.53 Nos essais semblent mettre en évidence que la perméabilité à l'air des menuiseries extérieures et le placement de celles-ci ne sont responsables que d'une très faible part des infiltrations globales de l'habitation; nous rappelons à ce sujet que le pourcentage maximum atteint dans nos essais était de 32,9 %. Il est temps, nous semble-t-il, de faire comprendre à tous les corps de métier, et non plus seulement aux menuisiers, que la qualité de leur travail intervient pour une part non négligeable dans la ventilation d'une habitation et de là, dans les besoins d'énergie de cette habitation.

4.54 La tentative d'insérer une installation de ventilation mécanique contrôlée - double flux dans les logements étudiés n'a pas donné les résultats escomptés en ce sens que les infiltrations ne furent en rien réduites par la mise en surpression de l'habitation et que ces infiltrations, pour certains vents, sont du même ordre de grandeur que les quantités d'air insufflées par la VMC - DF.

Dès lors, cette ventilation ne deviendra réellement contrôlée et génératrice d'économie d'énergie que si l'étanchéité à l'air de l'ensemble de l'habitation (et plus seulement des menuiseries extérieures) s'améliore considérablement.

diverses fenêtres extérieures; ces coefficients C sont donnés dans le tableau 8.

En utilisant les résultats donnés dans les tableaux 7 et 8, on peut calculer les quantités d'air entrant et sortant par les fenêtres extérieures; ceci nous conduit aux résultats donnés dans le tableau 9.

Les déséquilibres constatés entre les quantités d'air entrant et d'air sortant peuvent s'expliquer :

- par la perméabilité globale à l'air des maisons, faisant qu'une quantité d'air entrant par la façade, par exemple, peut ressortir par la toiture et vice-versa
- par les coups de vent qui font qu'une quantité d'air entrant par un châssis de fenêtre ou une porte d'une pièce, peut également ressortir par le même châssis ou par la même porte sans pour cela affecter le renouvellement d'air des autres pièces.

4.33 Taux global de renouvellement d'air

Au cours des essais, on s'est efforcé de maintenir les températures intérieures aux valeurs suivantes :

- 22 °C dans les livings
- 18 °C dans les cuisines et les chambres
- 24 °C dans les salles de bains
- 16 °C dans les halls d'entrée et les W.-C.

Nos résultats, portés sur un graphique (fig. 14), montrent une nette différence dans la ventilation globale des maisons 32 et 35 pour un vent soufflant du secteur SUD-OUEST.

Tableau 8

Élément n°	Coefficient de pression dynamique C	
	SUD-OUEST	EST
1	- 0,13	+ 0,05
2	- 0,09	- 0,36
3	+ 0,35	- 0,29
5	+ 0,14	- 0,29
6	0	- 0,29
7	- 0,36	- 0,29

Tableau 9 — Quantités d'air entrant et sortant

Maison n°	SUD-OUEST - 5 m/s		EST - 2 m/s	
	air entrant (vol./h)	air sortant (vol./h)	air entrant (vol./h)	air sortant (vol./h)
32	0,04	0,2	pas mesuré	pas mesuré
34	0,19	0,09	négligeable	0,1
35	0,24	0,07	négligeable	0,1

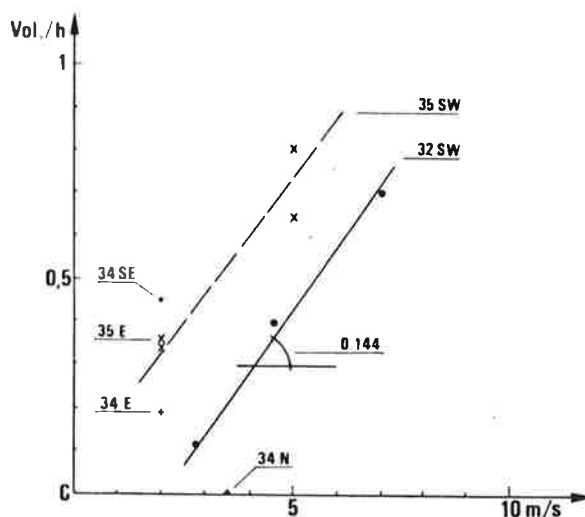


Fig. 14.

En abscisse, vitesse du vent
En ordonnée, renouvellement d'air

Malheureusement, la maison 34 n'a pu être mesurée que pour un vent soufflant du secteur EST-SUD-EST; cette maison semble cependant être sensible à l'orientation du vent et en tout cas, nettement plus sensible à ce facteur que la maison 35.

4.34 Importance de la perméabilité des châssis de fenêtre dans la ventilation globale des maisons

Nous avons comparé dans le tableau 10 les quantités d'air extérieur entrant par les fenêtres à celles qui entrent globalement dans chaque maison.

Nous constatons que la quantité d'air entrant par les fenêtres extérieures peut atteindre des valeurs comprises entre 0 % (cas d'un vent d'EST de 2 m/s et des maisons 34 et 35) à 32,9 % (cas d'un vent du secteur SUD-OUEST de 5 m/s et de la maison 35) de la quantité totale d'air entrant dans chaque maison. Si nous ne considérons que le cas le plus fréquent en Belgique, à savoir celui d'un vent soufflant du secteur SUD-OUEST à une vitesse de 5 m/s, nous constatons que la part prise par la perméabilité des fenêtres et de leur placement dans la ventilation globale de chaque maison varie de 8,9 % (maison 32) à 32,9 % (maison 35).

Bibliographie

1. ...

Circuits d'air. Economie d'énergie dans les équipements de ventilation, 2^e partie. Bruxelles, Rapport de recherche IC-IB, janvier 1979.

2. Nusgens P. et Caluwaerts P.

Determination of the ventilation rate in a series of social houses. Ventilation and infiltration in dwellings. CIB proceeding 52.

3. Uyttenbroeck, J. et Heikhaus, H.

Mesures de la consommation d'énergie dans dix maisons neuves non habitées. Bruxelles, C.S.T.C.-revue n° 1, mars 1978.

NATURAL VENTILATION IN ONE-FAMILY HOUSES

Summary

In order to reduce the energy required to heat buildings, the thermal insulation level of the envelope of new buildings has been considerably improved.

As a result the ventilation necessary for human habitation of buildings accounts for an increasingly important part of their energy consumption.

It is therefore of prime importance to have a good understanding of ventilation phenomena, and to be able to predetermine them.

Following this aim the article summarizes the results of three programmes of measurements carried out in one-family houses, which in most cases were of the « council house » type.

These three measurement programmes illustrate the different stages reached in our understanding of the phenomena.

However a lot of work remains to be done, in particular as regards the correlation between the airtightness measurements of the various components of a dwelling and the air-change rates obtained with tracer-gas measurements.

NATÜRLICHE LÜFTUNG VON EINFAMILIEN-HÄUSERN

Zusammenfassung

Um den Energiebedarf für die Heizung von Gebäuden zu verringern hat man die Wärmedämmung der Aussenseiten neuer Gebäude erheblich verbessert.

Dadurch fällt ein immer grösserer Teil des gesamten Energieverbrauchs auf die für die Menschen im Gebäude lebensnotwendige Lüftung.

Die Kenntnis und die Berechenbarkeit der Lüftungsvorgänge wird dadurch immer mehr in den Vordergrund gestellt.

Darum werden hier die wichtigsten Ergebnisse von drei Mess-Serien in Einfamilienhäusern, meist Sozialwohnungen, zusammengefasst.

Diese drei Mess-Serien zeigen die verschiedenen Etappen, die im Verständnis der Vorgänge durchlaufen wurden.

Viel Forschungsarbeit bleibt jedoch noch auszuführen, insbesondere in der Korrelation zwischen der Luftdurchlässigkeit der verschiedenen Bauteile eines Hauses und der durch Messungen mit Spurengas erhaltenen Lüfterneuerungszahl.