



études et recherches

**la perméabilité à l'air  
des bâtiments d'habitation**

par Claude Moyé  
ingénieur au CSTB



cahiers  
du centre scientifique et technique du bâtiment  
établissement public 4, avenue du recteur poincaré, paris 16

livraison 262 · septembre 1985 cahier 2019

# la perméabilité à l'air des bâtiments d'habitation

Ont participé à cette étude :

Jean-Marie de Souza, ingénieur, Jean Boutelet, Claude Pompeo et Claude Redolfi, techniciens.

## RÉSUMÉ

La réalisation et la mise au point d'un appareillage d'essai transportable a permis d'effectuer pendant trois ans, dans le cadre des recherches financées par le ministère de l'Urbanisme et du Logement et par la Direction de la Distribution d'Électricité de France, des mesures de perméabilité à l'air sur un nombre important de logements de différentes technologies de construction.

Le recensement et l'analyse des données ainsi recueillies est présenté ici.

Ce travail permet de proposer une méthode de prise en compte des défauts d'étanchéité pour le calcul du renouvellement d'air parasite dans les logements.

## SUMMARY

The development and construction of portable test equipment used to determine air permeability has made it possible, over a period of three years, to carry out measurements on a large number of dwellings built using different construction technologies.

The recording and analysis of the data collected is presented in this paper.

This makes it possible to propose a method for taking sealing defects into account in the calculation of parasitic air change of dwellings.

## RESUMEN

La ejecución y perfeccionamiento de un sistema de pruebas transportable ha permitido efectuar, durante tres años, y en el contexto de investigaciones financieramente a cargo del Ministerio del Urbanismo y de la Vivienda y de la Dirección de la Distribución de Electricidad de Francia, diversas mediciones de permeabilidad al aire en un número importante de viviendas correspondientes a distintas tecnologías constructivas.

Se presenta en este artículo la compilación y el análisis de los datos que se han conseguido con este motivo.

Se puede proponer, por consiguiente, un método destinado a tener en cuenta los defectos de hermeticidad para el cálculo de la renovación de aire parásito en las viviendas.

sommaire		
1	Introduction – situation existante .....	3
2	Méthodologie des mesures in situ de la perméabilité à l'air .....	3
2,1	Principe .....	3
2,2	Appareillage .....	4
2,3	Conduite des mesures .....	5
2,4	Détermination de la perméabilité à partir des résultats des mesures .....	6
3	Constructions et parois testées .....	7
4	Résultats des mesures .....	16
4,1	Observations qualitatives .....	16
4,2	Présentation des résultats .....	16
5	Perméabilité à l'air in situ des ouvrants et des feux ouverts .....	17
5,1	Les fenêtres .....	17
5,2	Les portes .....	17
5,3	Les coffres de volets roulants .....	17
5,4	Les trappes de comble .....	17
5,5	Les feux ouverts .....	17
6	Perméabilité à l'air correspondant aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Interprétation des mesures in situ .....	18
6,1	Principes .....	18
6,2	Résultats bruts des mesures dans le cas des façades isolées intérieurement par complexes plaque de plâtre-isolant, collées .....	18
7	Conclusions .....	19
7,1	Perméabilité à l'air des différents défauts d'étanchéité à prendre en compte dans les calculs .....	19
7,2	Exemple d'application des règles proposées .....	20
7,3	Incidence des défauts d'étanchéité sur le coefficient G des logements .....	20

## 1 introduction – situation existante

Le renouvellement d'air dans les logements de construction récente est composé :

a) du renouvellement d'air « spécifique », nécessaire aux différents besoins des occupants du logement (hygiène, sécurité) et à la conservation du bâti (limitation des condensations et de la diffusion de la vapeur d'eau).

Ce renouvellement d'air est assuré par un système de ventilation. Celui-ci doit fournir les débits nécessaires à la satisfaction des besoins tout en limitant les dépenses énergétiques et en respectant le confort des occupants (acoustique, vitesse d'air, etc.) ;

b) du renouvellement d'air « supplémentaire », dû à la perméabilité des ouvrants et aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe.

La partie de ce renouvellement d'air due aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe et aux mauvaises fenêtres est couramment appelée « renouvellement d'air parasite » ;

c) de l'ouverture des fenêtres, qui représente un supplément de déperditions plus ou moins important (surchauffes, habitudes).

Outre le supplément de consommation de chauffage provoqué par le renouvellement d'air parasite, celui-ci est souvent source de gêne en hiver du fait de la vitesse des filets d'air froid passant par les fentes de l'enveloppe.

En principe, la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments doit se limiter aux points de la construction où l'étanchéité ne peut être assurée à moins de sujétions technologiques excessives, donc de surcoûts prohibitifs, c'est-à-dire à la perméabilité des ouvrants. Ces points sont ceux retenus dans le calcul de la perméabilité de l'enveloppe par le DTU « Règles Th-G » actuel : fenêtres, portes, coffres de volets roulants.

Les autres points de l'enveloppe sont donc actuellement considérés comme étanches.

L'appareillage pour les mesures de perméabilité à l'air in situ, développé et mis au point par le CSTB, devait servir à l'origine à vérifier la perméabilité in situ des composants cités ci-dessus.

En fait, les premières mesures ont montré que les parties non ouvrantes présentaient une perméabilité importante.

Dès lors, se posaient quatre questions :

- Où se situent les défauts d'étanchéité et quelles sont les valeurs de perméabilité à l'air correspondantes dans les conditions actuelles de construction ?
- Comment les prendre en compte, a priori, dans les calculs du coefficient G et des déperditions de base ?
- Comment améliorer la situation actuelle ?
- Comment remédier aux défauts constatés dans le parc existant ?

La présente étude se propose de répondre aux deux premières questions.

Les réponses aux deux dernières concernent les spécialistes des technologies de construction et les partenaires à l'acte de construire : maîtres d'ouvrage, concepteurs, entreprises.

Pour situer l'importance relative des différents postes intervenant dans la perméabilité à l'air de l'enveloppe, on donne ci-après, à titre d'exemple, leur part respective pour deux logements :

- un logement situé en immeuble collectif à refends et planchers en béton ;

– une maison individuelle en maçonnerie et plafond léger sous comble perdu (plaques de plâtre clouées sous solives en bois).

Dans ces deux cas, les murs sont isolés intérieurement par un complexe plaque de plâtre isolant collé et les menuiseries sont en bois et posées au nu intérieur.

Voici les valeurs, exprimées en pourcentage :

	Logement en collectif	Maison individuelle
<b>Perméabilité des ouvrants</b>		
– Coffres de volets roulants – Fenêtres et portes-fenêtres – Portes (sur l'extérieur et sur sous-sol)	21 } 24 } – } 45	11 } 22 } 33
<b>Défauts d'étanchéité</b>		
– Parois opaques – Divers (tuyaux, gaines, etc.)	39 } 16 } 55	59 } 8 } 67

On constate que la perméabilité des ouvrants, c'est-à-dire les seuls postes pris actuellement en compte dans le calcul de la perméabilité de l'enveloppe, correspond à moins de la moitié de la perméabilité totale pour le logement en collectif, et au tiers pour la maison individuelle.

Les fuites par les défauts d'étanchéité représentent un peu moins ou un peu plus de la moitié selon leur importance dans la surface totale de l'enveloppe. On verra au paragraphe 7.3 leur incidence sur le coefficient de déperdition volumique G.

L'importance prise par le poste « divers » du logement collectif est due aux trous percés dans le gros œuvre pour le passage des tuyaux de chauffage central alimentant les radiateurs. Ce poste est donc moins élevé avec d'autres types de chauffage.

## 2 méthodologie des mesures in situ de la perméabilité à l'air

### 2,1 principe

L'essai consiste à mettre l'ensemble du logement en dépression à l'aide d'un ventilateur et à mesurer le débit d'air extrait pour différentes valeurs de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

On a choisi ce principe car de très nombreux logements sont normalement en dépression du fait de l'extraction mécanique dont ils sont équipés.

Les dépressions à appliquer doivent s'étager dans la plage des valeurs moyennes des pressions correspondant aux diverses classes d'exposition au vent, soit environ entre 5 et 40 Pa.

Par ailleurs, on est limité, d'une part, par les effets perturbateurs du vent (les essais ne sont effectués que si les vitesses de vent sont inférieures à 2 m/s), d'autre part, par l'obligation de ne pas soumettre les joints (entre ouvrant et dormant des fenêtres par exemple) à des déformations excessives, sans rapport avec celles rencontrées en pratique, leur comportement pouvant alors être modifié.

Pour ces raisons, tous les essais ont été effectués à des dépressions comprises entre 10 et 40 Pa.

Toutefois, le ventilateur utilisé ayant un débit limité à 900 m<sup>3</sup>/h environ, il n'a pas été possible dans certains cas d'atteindre une dépression de 40 Pa. Les essais ont alors été faits pour au moins trois valeurs différentes de la dépression.

## 2.2 appareillage

L'appareillage est composé d'une « fausse porte » applicable de manière étanche en feuillure des dormants existants, d'un ventilateur, d'une série de diaphragmes et de deux manomètres.

La « fausse porte » comprend un élément principal et des éléments modulaires permettant de l'adapter exactement aux différentes dimensions de feuilures, une trappe de passage

obturable hermétiquement, deux manchettes métalliques, quatre traversées tubulaires et les passages étanches des câbles d'alimentation.

Des conduits souples permettent le raccordement du ventilateur à la manchette intérieure et du tube porte-diaphragme à la manchette extérieure. Le tube porte-diaphragme comporte un croisillon destiné à régulariser le flux d'air avant son arrivée au diaphragme. Les traversées tubulaires permettent le branchement des prises de pression.

Les figures 1 à 5 ci-après précisent cette description.

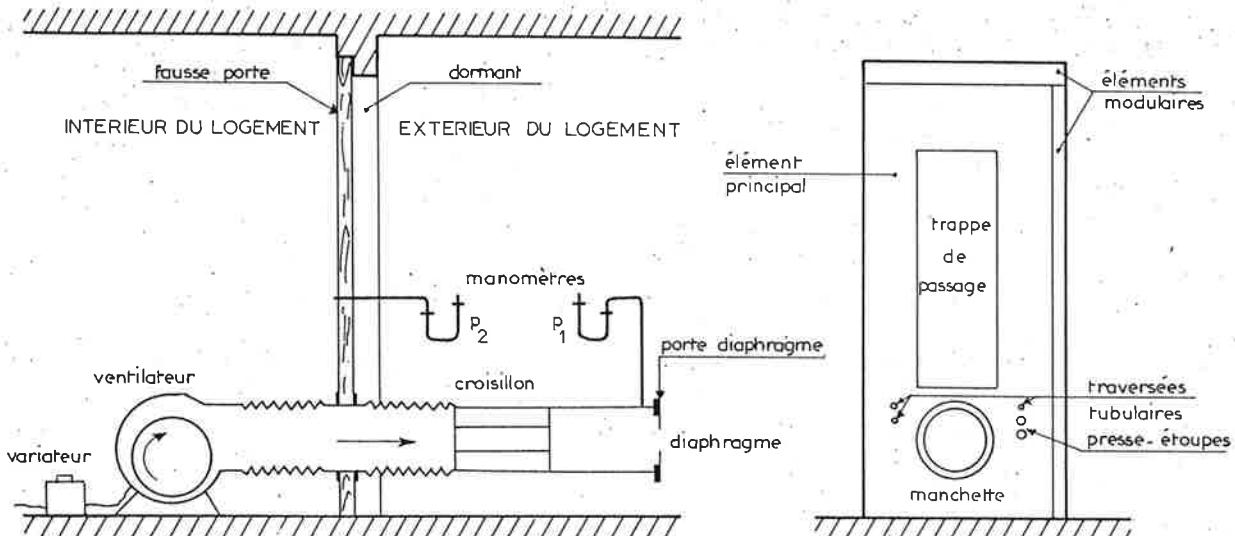


Figure 1 Principe de l'appareillage pour la mesure in situ de la perméabilité à l'air

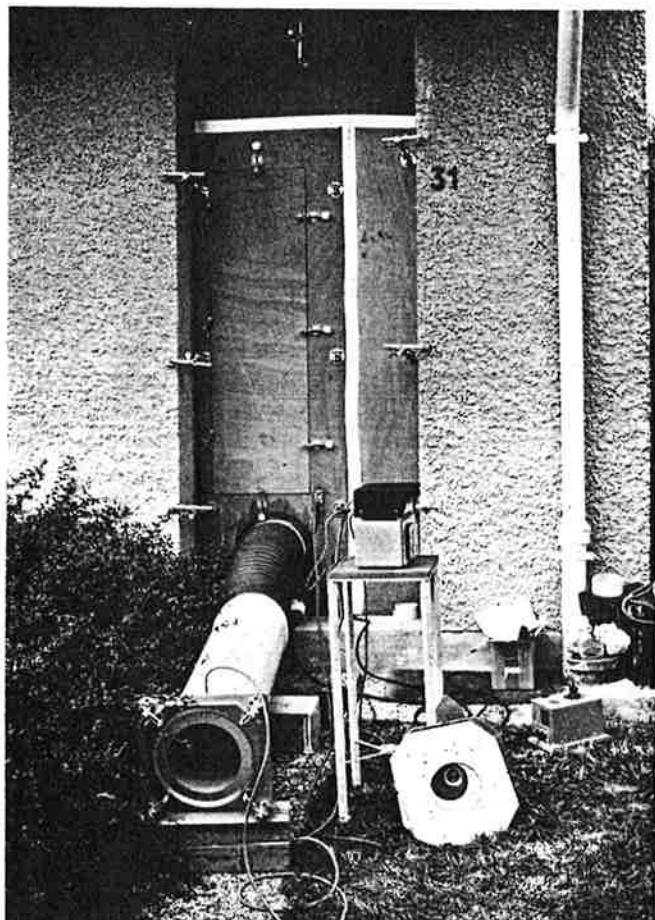


Figure 2 La « fausse porte » mise en place

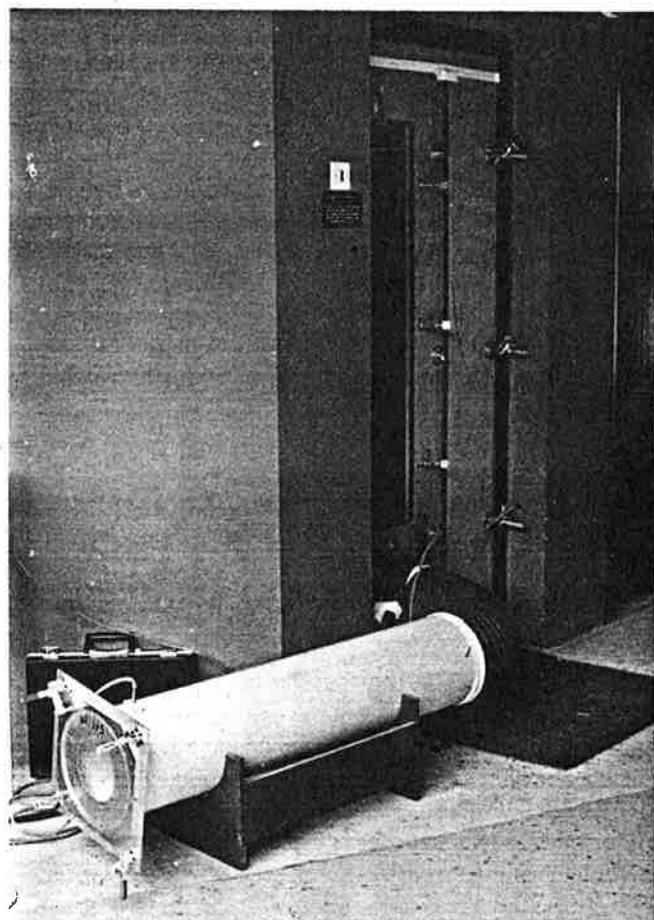


Figure 3 Tube porte-diaphragme incluant le croisillon régulateur de flux d'air

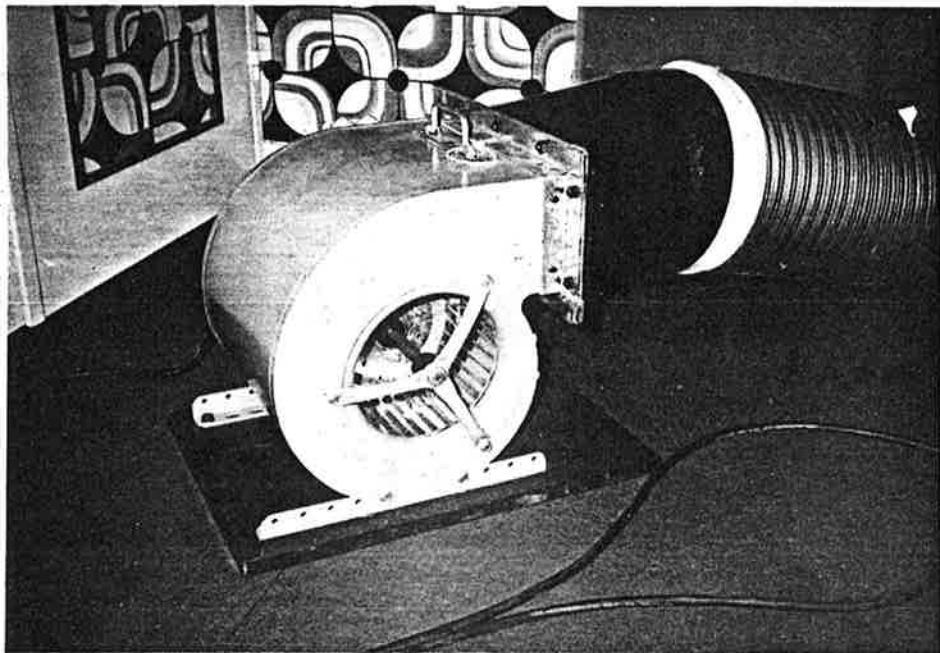


Figure 5 Le ventilateur posé à l'intérieur du local

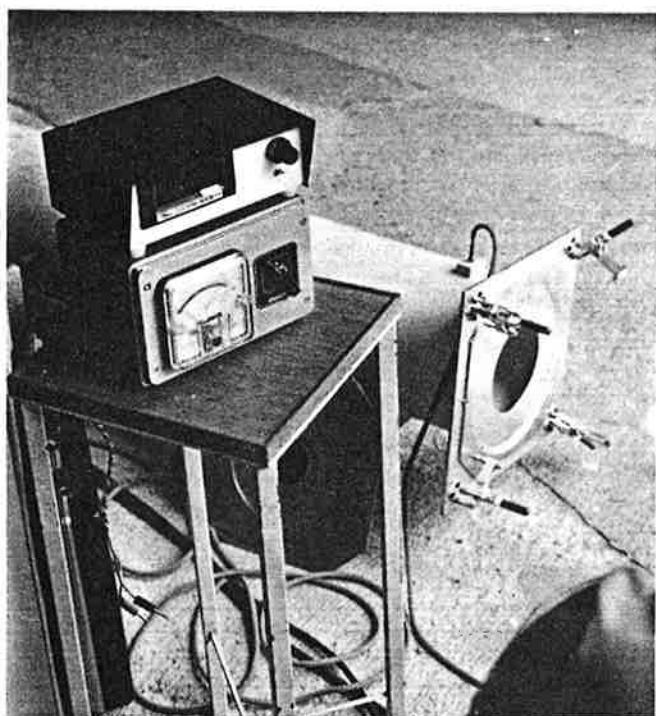


Figure 4 Le manomètre et le porte-diaphragme

### 2.3 conduite des mesures

L'appareillage étant mis en place, on obture systématiquement les bouches d'extraction d'air. La pose de dispositifs d'obturation supplémentaires dépend de l'objet des essais. Généralement, on cherche à quantifier séparément la perméabilité des ouvrants, celle correspondant aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe, puis celle des entrées d'air spécifiques.

On opère alors de la manière suivante :

- on obture les entrées d'air ainsi que les fentes entre dormants et ouvrants et, éventuellement si nécessaire, les fuites sur les logements adjacents ;
- on effectue une première mesure de perméabilité – soit  $P_{op}$  la valeur mesurée ;
- on ôte les obturations disposées entre dormants et ouvrants ;
- on effectue une seconde mesure de perméabilité – soit  $P_t$  la valeur mesurée.

La première mesure donne directement la perméabilité correspondant aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe, égale à  $P_{op}$ .

La seconde mesure permet de déterminer la perméabilité globale des ouvrants, égale à la différence  $P_t - P_{op}$ .

Une troisième mesure, effectuée après avoir ôté les dispositifs d'obturation des entrées d'air, permet d'obtenir, par différence avec les débits mesurés dans la seconde mesure, le débit total d'air entrant par les entrées d'air pour chaque valeur de la différence de pression régnant entre l'intérieur et l'extérieur.

Dans un nombre restreint de cas, on a cherché à quantifier un poste particulier : la perméabilité de la façade de telle ou telle pièce, d'une porte sur local non chauffé (garage, cellier, sous-sol,...), d'une trappe de comble, etc.

On procède alors, comme précédemment, par différence entre deux états.

Toutefois, il est nécessaire de prendre certaines précautions. En effet, si les débits mesurés sont élevés et les écarts relativement faibles, l'imprécision sur l'évaluation de la perméabilité recherchée est grande. Il est donc nécessaire que ces débits soient assez différents.

Dans le cas où l'on désire déterminer le débit d'air provenant d'un local, il faut tenir compte des transferts d'air qui s'opèrent généralement par les défauts d'étanchéité des cloisons entre locaux d'un même logement, surtout lorsqu'il s'agit de cloisons montées à sec. Il est alors nécessaire d'effectuer au moins trois mesures (le local considéré seul, les autres locaux seuls, puis l'ensemble), de manière à pouvoir, par le calcul, déterminer le débit transféré entre locaux.

PRÉPARATION DES LOCAUX  
AVANT LES MESURES  
DE PERMÉABILITÉ A L'AIR

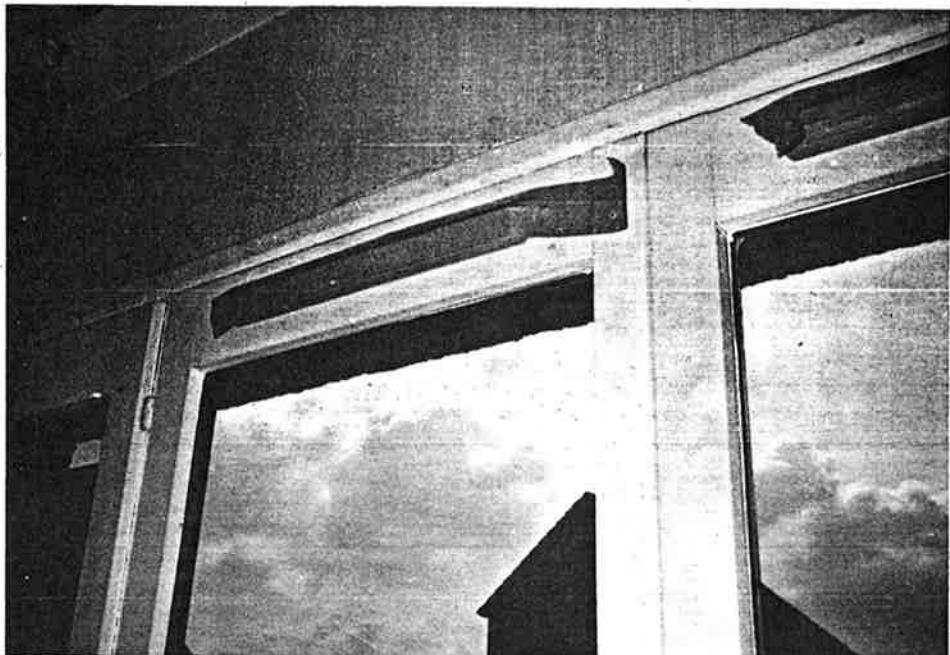


Figure 6  
Obturation des entrées d'air

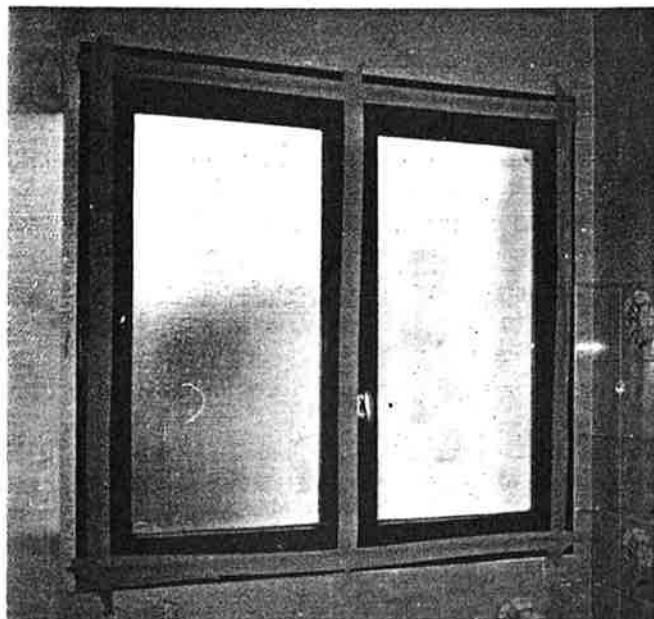


Figure 7 Obturation des fenêtres



Figure 8 Obturation des sorties d'air

**2.4 détermination de la perméabilité à partir des résultats des mesures**

La différence de pression ( $\Delta P$ ) et le débit d'air de fuite (Q) étant liés par une relation de la forme :

$$Q = k (\Delta P)^n \quad (1)$$

on doit vérifier que les résultats des mesures s'alignent selon une droite de pente n lorsqu'on les porte sur un graphique en coordonnées logarithmiques (fig. 9).

L'exposant n est de l'ordre de 2/3 pour les écoulements à travers des fentes, telles celles existant entre ouvrants et dormants des menuiseries. C'est la valeur prise en compte par la norme NF P 20-302.

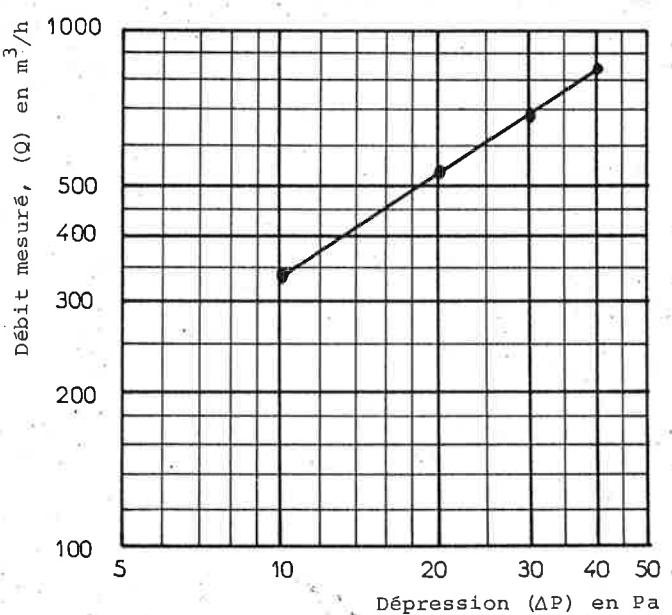


Figure 9 Résultats des mesures portées en coordonnées logarithmiques

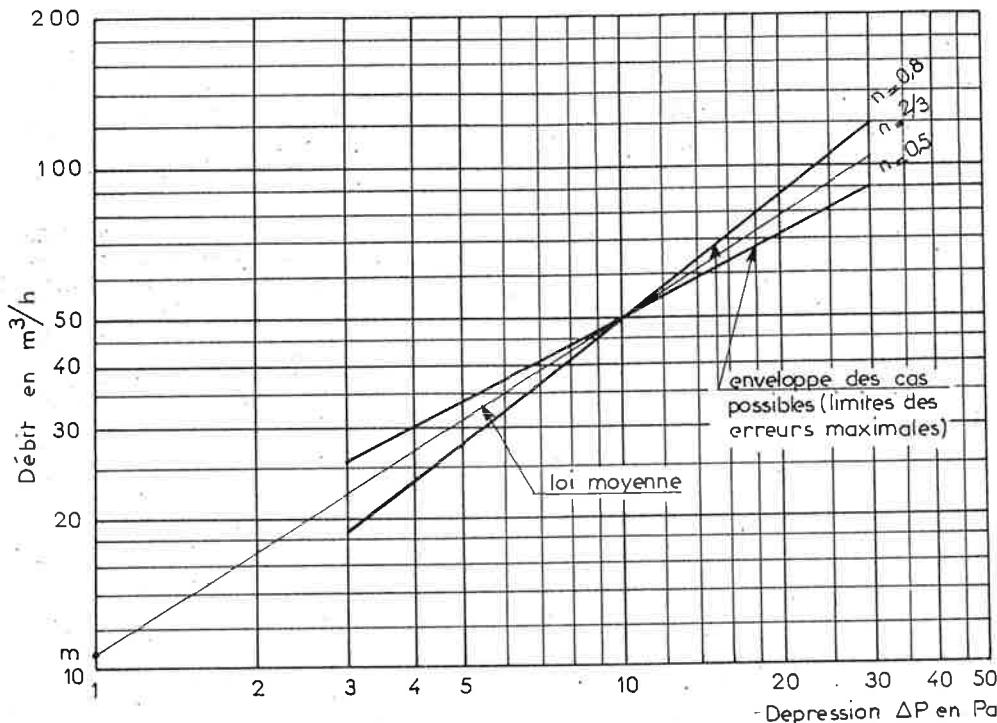


Figure 10  
Limites des erreurs admises

Pour une configuration donnée, la perméabilité P est obtenue de la manière suivante :

- on calcule la droite de régression en coordonnées logarithmiques entre les valeurs mesurées de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur ( $\Delta P$ ) et du débit d'air de fuite (Q) ;
- on calcule, selon la loi de régression déterminée ci-dessus, le débit ( $Q_{10}$ ) pour la différence de pression ( $\Delta P$ ) égale à 10 Pa. On vérifie ainsi, par le coefficient de régression d'une part et la comparaison des débits de fuite résultant de la mesure et du calcul selon la loi de régression d'autre part, la cohérence des mesures ;
- on calcule la perméabilité P, valeur du débit pour une différence de pression de 1 Pa entre l'intérieur et l'extérieur, en considérant que la loi entre ces deux grandeurs suit toujours l'exposant 2/3, c'est-à-dire que l'on a :

$$P = \frac{Q}{10^{2/3}}$$

$$\text{ou } P = 0,215 Q_{10}$$

Le but de l'étude étant de définir une méthode de calcul permettant de prendre en compte *a priori* les défauts d'étanchéité dans la détermination du coefficient G et des déperditions de base, cette méthode d'exploitation des résultats de mesure a été adoptée pour les raisons suivantes :

- La dépression existant dans les logements équipés d'une VMC simple flux à l'extraction (cas des logements testés) est de l'ordre de 10 Pa. Elle peut être plus faible si les défauts d'étanchéité de l'enveloppe sont importants et être supérieure pour des logements très étanches, notamment aux moments où l'on demande à l'installation d'extraire le débit maximal. Pour fixer les idées, la plage de variation se situe entre 3 et 30 Pa, dans les conditions de fonctionnement normal et pour des constructions correctement réalisées.

Afin de minimiser les erreurs dans l'évaluation du renouvellement d'air supplémentaire pour les dépressions

comprises dans cette plage, on prend, comme point de départ du calcul, le débit pour une différence de pression de 10 Pa ;

- ainsi qu'on le verra au paragraphe 4, la dispersion des valeurs expérimentales de l'exposant n de la relation (1) suit assez bien une loi de Gauss centrée sur une valeur de n égale à 2/3. L'étude montre de plus qu'il n'y a pas de corrélation entre les valeurs de n et les perméabilités mesurées, ce qui confirme que les types de défauts sont multiples et répartis, sans type préférentiel marqué.

En conclusion, centrer le calcul sur la loi moyenne est représentatif des défauts constatés.

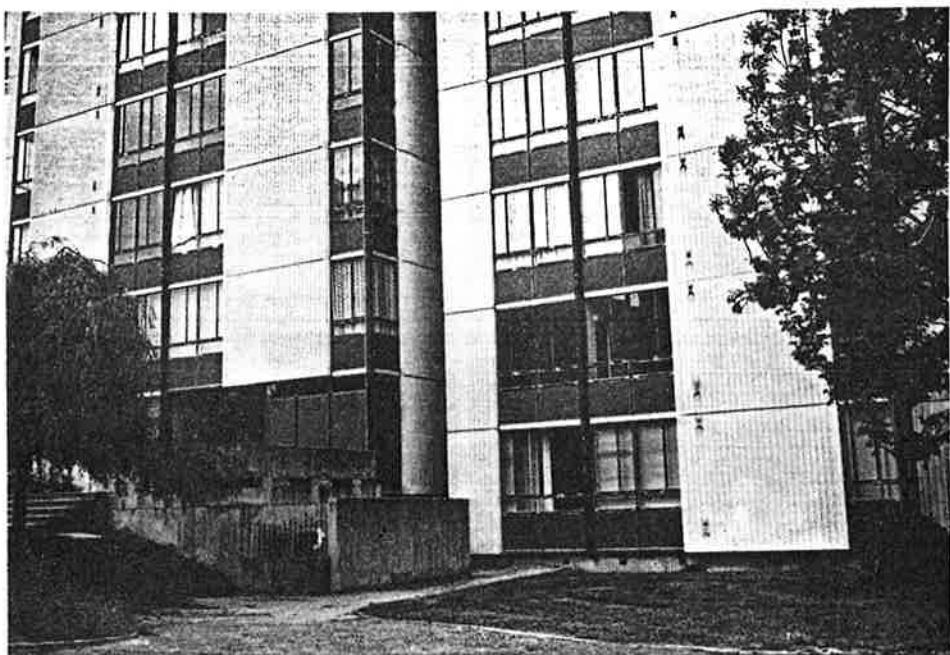
D'autre part, ainsi qu'on le rappelle ci-dessus, le classement en perméabilité à l'air des fenêtres, établi selon la norme NF P 20-302, donne des valeurs de perméabilité déterminées pour une valeur de l'exposant n égal à 2/3.

Pour simplifier le calcul du renouvellement d'air supplémentaire, on peut donc utiliser les mêmes lois pour les ouvrants et pour les défauts d'étanchéité. Les perméabilités données ci-après sont donc ramenées à l'unité de différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur, le calcul du renouvellement d'air supplémentaire s'effectuant selon la méthode explicitée au DTU « Règles Th-G 77 ». La figure 10 donne, à titre d'exemple, les limites des erreurs ainsi admises.

### 3 constructions et parois testées

A part deux ensembles, les mesures ont été faites dans des logements habités, en service depuis au moins quelques mois. Il s'agit de constructions âgées d'au plus dix ans. Les constatations faites sont donc représentatives des performances des techniques de construction actuelles et des conditions d'utilisation réelles des logements.

Dans les tableaux 1 à 10 ci-après, les logements sont classés selon le (ou les) critère(s) principal(aux) retenu(s) par la suite pour l'analyse de la perméabilité des parois opaques.



*Figure 11  
Façade de l'ensemble A  
(façades légères et  
murs sandwich béton-polystyrène)*



*Figure 12 Ensemble B (éléments de remplissage et murs isolés intérieurement)*

Ainsi, figurent :

- au tableau 1 : les logements comportant en façade des panneaux menuisés en allège. Pour l'ensemble A, les autres parois (planchers, murs) sont en béton (étanche à l'air). Pour l'ensemble B, les murs (trumeaux) sont isolés intérieurement ;
- aux tableaux 2, 3 et 4 : les logements comportant des murs isolés intérieurement par complexe de doublage plaque de plâtre-isolant collé. C'est le type de mur le plus courant et celui sur lequel l'échantillon testé est le plus important, donc le plus représentatif.

Sont regroupés au tableau 2, les logements situés en collectif (planchers en béton étanches à l'air), au tableau 3 les maisons individuelles et semi-collectifs à plafond léger sous comble (plaques de plâtre clouées sous solives), et au tableau 4 deux logements comportant des plafonds en lambris bois ;

- aux tableaux 5, 6 et 7 : les logements comportant des murs isolés par l'extérieur par isolant collé et enduit sur isolant, ou par bardage.

Le tableau 5 regroupe les logements en collectif ou semi-collectif à planchers en béton (étanches à l'air) ; le tableau 6, les logements comportant un plafond léger et, enfin, le tableau 7, les logements comportant à la fois une isolation intérieure et une isolation extérieure ;

- au tableau 8 : un logement en maison individuelle en maçonnerie (isolation répartie) ;
- au tableau 9 : un logement en maison individuelle à ossature métallique ;
- au tableau 10 : deux logements en maison individuelle à ossature bois.

L'échantillon concernant ces trois dernières techniques de construction est malheureusement trop peu important pour être représentatif.

Tableau 1 Éléments de remplissage insérés entre planchers en béton  
Logements en collectifs

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa			
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut						
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)					
<b>Fenêtres à la française en acier avec joints en silicone</b>																
Autres murs : sandwich béton – polystyrène enduits deux faces																
A	13	7	200	11,7	–	–		42,2	53 (1)	–	–	–	23,7			
			200	11,7	–	–		42,2	53 (1)	–	–	–	23,8			
			160	9,1	–	–		33,7	44 (1)	–	–	–	19,5			
			217	14,3	–	–		41,1	67 (1)	–	–	–	34,0			
			217	14,3	–	–		41,1	67 (1)	–	–	–	66,5			
			217	14,3	–	–		41,1	67 (1)	–	–	–	33,5			
			128	6,5	–	1,0		20,0	30 (1)	–	–	–	17,6			
<b>Fenêtres à la française en bois avec joints caoutchouc</b>																
Autres murs : béton banché avec isolation intérieure par complexe plaque de plâtre-isolant, collé																
B	2	3	190	11,2	0,8	0,1		32,3	29 (2) 15,6 (3)	–	–	–	12,4			
			183	8,4	0,8	0,7	Coffre de volet roulant : 0,4 m <sup>3</sup> /h.m	44,0	35,2 (2) 12,3 (3)	–	–	–	16,2			
			170	6,6	0,8	0,5		26,5	28 (2) 11,1 (3)	–	–	–	21,7			
1. Linéaire des liaisons des éléments de remplissage et des fenêtres avec le gros œuvre.							3. Linéaire des liaisons des fenêtres avec les murs isolés par l'intérieur.									
2. Linéaire des liaisons des éléments de remplissage avec le gros œuvre.																

Tableau 2 Murs isolés intérieurement par complexe plaque de plâtre-isolant, collé  
Logements en collectif à ossature béton

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa			
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut						
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)					
<b>Fenêtres à la française à menuiserie en bois, au nu intérieur</b>																
C																
C	10	1	195	11,7	0,8	0,8		24,8	30 (1)	–	–	–	37,2			
				7	0,8	1,2	Coffre de volet roulant : 0,65 m <sup>3</sup> /h.m	45,5	19,5 (1)	–	–	–	14,0			
D																
1. Linéaire des liaisons des fenêtres avec les murs isolés intérieurement.																

**Tableau 3 Murs isolés intérieurement par complexe plaque de plâtre-isolant, collé  
Plafond sous comble en plaques de plâtre clouées sous solives en bois  
Logements en maisons individuelles ou semi-collectifs**

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité				Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut			
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa selon descriptif	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur mesurée	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)		
<b>Fenêtres à la française en menuiserie bois, montées au nu intérieur – Classe A 2</b>													
E	4 à 7	5	273	11,1	0,8	0,9	Porte d'entrée : 3,8 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> Porte sur sous-sol : 12 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> Porte sur sous-sol : 1,25 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> Trappe de comble : 20 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	92,6	54,6 (1)	67,1	35,0 (2)	82,7	
			279	14,2	0,8	—		12,7	40,9 (1)	79,0	26,3 (2)	99,2	
			172	11,2	0,8	—		44,2	32,8 (1)	52,6	29,4 (2)	139,3	
			229	13,0	0,8	—		56,5	38,3 (1)	52,5	29,3 (2)	60,0	
			229	12,7	0,8	0,45		91,0	38,3 (1)	51,7	29,1 (2)	67,0	
F	4	4	210	12,6	0,8	—	Porte sur garage : 3,1 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	72,0	36,2 (1)	31,8	22,0 (2)	62,3	
			246	15,4	0,8	—		81,1	44,4 (1)	63,0	32,1 (2)	87,9	
			220	9,8	0,8	—		73,4	27,4 (1)	24,8	12,6 (2)	79,4	
			210	15,4	0,8	—		81,1	44,4 (1)	31,8	22,6 (2)	81,4	
G	5	2	236	11,6	0,8	—	Porte sur sous-sol : 14 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	90,6	35,2 (1)	53,0	29,6 (2)	49,7	
			270	16,3	0,8	—		95,0	42,4 (1)	99,0	40,0 (2)	96,3	
H	2	3	290	16,7	0,8	1,75		157,3	50,1 (1)	75,0	33,0 (2)	124,5	
			290	16,7	0,8	1,35		157,3	50,1 (1)	75,0	33,0 (2)	143,2	
			286	18,9	0,8	0,60 (3)		147,1	47,6 (1)	65,0	29,6 (2)	112,2 (3)	
J	3	3	260	14,1	0,8 (4)	1,65 (5)		69,5	41,0 (1)	102	55,0 (2)	108,0	
			260	14,1	0,8 (4)	0,45		69,5	41,0 (1)	102	55,0 (2)	83,0	
			260	14,1	0,8 (4)	1,0		69,5	41,0 (1)	102	55,0 (2)	120,6	
K	2	7	380	22,4	0,8	0,8	Fuites du feu ouvert : 6,3 m <sup>3</sup> /h sous 1 Pa Porte sur garage : 4,4 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	195	60,1 (1)	100	40,8 (2)	128,6	
			380	22,4	0,8	1,0		195	60,1 (1)	100	40,8 (2)	109,0	
			380	22,4	0,8	1,45		195	60,1 (1)	100	40,8 (2)	105,6	
			385	20,3	0,8	0,85		184,5	59,8 (1)	88	39,0 (2)	91,2	
			385	20,3	0,8	0,95		184,5	59,8 (1)	88	39,0 (2)	89,0	
			305	20,5	0,8	1,25		114,5	55,3 (1)	67	35,0 (2)	75,5	
			365	22,8	0,8	0,8		123	59,2 (1)	58	37,0 (2)	150,5	
			350	17,7	0,8	0,65		162	51,8 (1)	87	37,2 (2)	82,3	
L	2	3	350	17,7	0,8	0,9		162	51,8 (1)	87	37,2 (2)	101,9	
			350	17,7	0,8	1,5		162	51,8 (1)	87	37,2 (2)	119,5	
			215	10,5	0,8	1,25		95,0	32,3	43,5	26,8 (2)	81,9	
M	3	2	195	13,5	0,8	0,85	Trappe de comble : 6 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	61,5	31,6 (1)	103,0	30,0 (2)	87,0	
			170	11,4	0,8	0,45		57,5	35,3	71,5	36,0 (2)	43,1	
N	1	2	265	14,7	0,8	1,0	Porte sur garage : 18 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	138,6	52,4 (1)	34,7	26,1 (2)	48,0	

Tableau 3 (suite)

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa selon descriptif	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur mesurée	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)			
<b>Fenêtres à la française en menuiserie bois, montées au nu intérieur – Classe A 3</b>													
P	2	2	175	11,3	0,3	2,3 (6)	Coffres de volets roulants : 0,3 m <sup>3</sup> /h.m	77,5	28,5 (1)	72	34,5 (2)	57,6	
			175	11,3	0,3	2,85 (6)	0,25 m <sup>3</sup> /h.m	77,5	28,5 (1)	72	34,5 (2)	87,1	
<b>Fenêtres à la française en menuiserie PVC, montées au nu intérieur – Classe A 3</b>													
Q	3	2	250	12,4	0,3	0,2	Trappe de comble : 5,8 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	107,6	37,2 (1)	105	45,3 (2)	58,9	
			175	18,1	0,3	0,25	Porte sur garage : 2,2 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	50,6	48,0 (1)	85	40,6 (2)	61,3	
<b>Fenêtres à la française en menuiserie acier, montées au nu intérieur – Classe A 2</b>													
R	1	2	204	9,6	0,8	0,95		79,7	39,2	42	27,2	51,8	
			204	9,6	0,8	0,9		79,7	39,2	42	27,2	61,0	
1. Linéaire des liaisons des murs isolés intérieurement avec les fenêtres. 2. Linéaire des liaisons des murs isolés intérieurement avec le plancher haut sous comble. 3. Seconde mesure après travaux d'amélioration.							4. Fenêtres à joints métalliques. 5. Joints non posés. 6. Joints absents, menuiseries déformées.						



Figure 13 Ensemble E (isolation par l'intérieur et plafond léger sous comble)



Figure 14 Ensemble F  
(isolation intérieure et plafond léger sous comble)

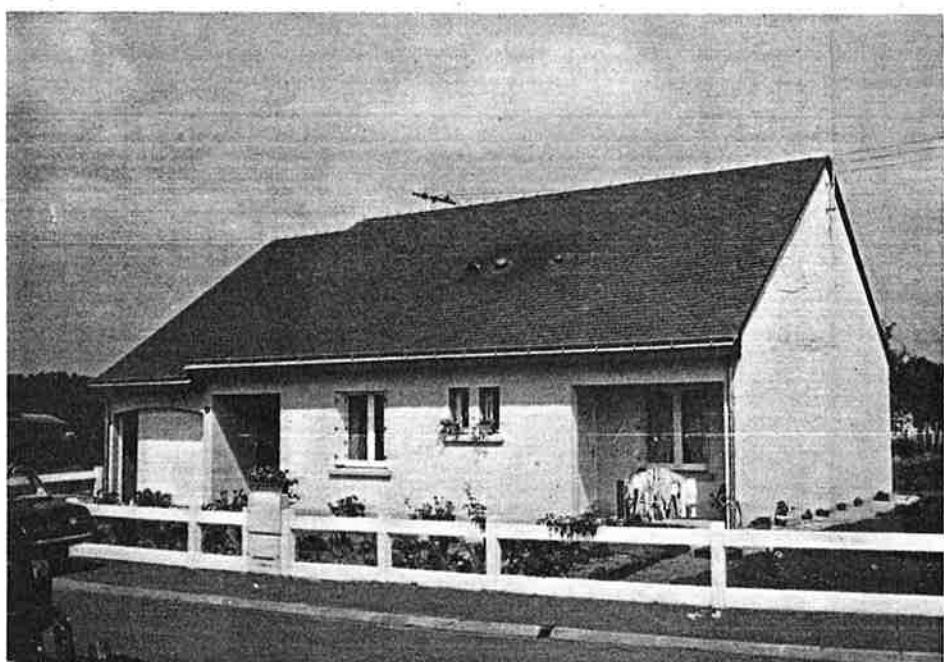


Figure 15 Ensemble Q  
(isolation intérieure et plafond léger sous comble)

Tableau 4 Murs isolés intérieurement par complexe plaque de plâtre – isolant, collé  
Plafonds en lambris bois sous solives – Maisons individuelles

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa selon descriptif	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur mesurée	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)		
Fenêtres à la française à menuiserie en bois, montées au nu intérieur – Classe A 2													
S	1	2	187	11,0	0,8	0,8		72,0	25,0 (1)	41,0	33,8 (2)	120,0	
			270	13,4	0,8	0,15		87,5	35,4 (1)	63,0	35,9 (2)	145,8	
1. Linéaire des liaisons des murs isolés intérieurement avec les fenêtres.							2. Linéaire des liaisons des murs isolés intérieurement avec le plafond.						

**Tableau 5 Murs isolés extérieurement par isolant collé et enduit, ou sous bardage**  
**Logements en collectif ou semi-collectif à planchers en béton**

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa selon descriptif	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur mesurée	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	
<b>Fenêtres à la française en menuiserie bois, montées au nu intérieur – Classe A 3 ou A 2</b>													
T	0	2	203	9,0	0,3	0,5			34,8	34,6 (1)	–	–	10,4
			203	9,0	0,3	0,65			34,8	34,6 (1)	–	–	9,3
U	1	2	198	12,4	0,8	0,15			51,8	33,9 (1)	–	–	2,7
			198	13,2	0,8	0,45			44,5	34,7 (1)	–	–	8,2
<b>Fenêtres coulissantes en menuiserie aluminium, montées au nu intérieur – Classe A 3</b>													
V	4	2	87	11,8	0,3	0,35	Coffres de volets : 0,55 m <sup>3</sup> /h.m		17,8	22,7 (1)	–	–	36,2
			195	18,2	0,3	0,35	0,5 m <sup>3</sup> /h.m		22,5	41,8 (1)	–	–	33,9
1. Linéaire des liaisons des fenêtres avec les murs.													

**Tableau 6 Murs isolés extérieurement par isolant collé et enduit**  
**Plafond haut suspendu sur ossature métallique sous comble perdu**  
**Maisons individuelles à deux niveaux**

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa selon descriptif	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur mesurée	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	
<b>Fenêtres à la française à menuiserie en bois, montées au nu intérieur – Classe A 2</b>													
W	3	2	285	15,9	0,8	0,8	Porte sur garage 1,5 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>		125	53,6 (1)	43,5	48,7 (2)	98,5
			257	14,4	0,8	1,3	Porte sur grenier 28 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>		110	48,9 (1)	30	35,2 (2)	59,3
1. Linéaire des liaisons des ouvrants avec les murs.													
2. Linéaire des liaisons du plafond avec les murs.													

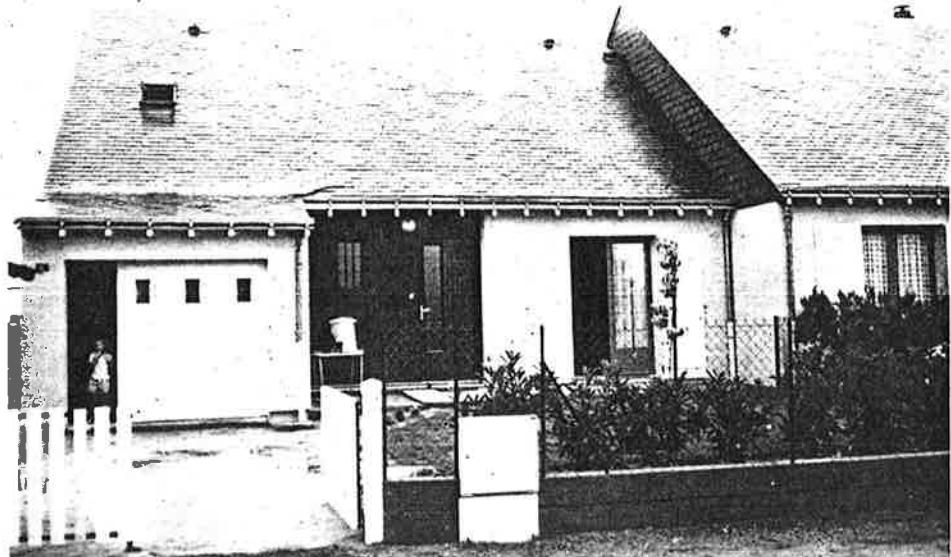


Figure 16 Ensemble W  
(isolation extérieure et plafond léger sous comble)



Figure 17 L'ensemble X  
(façades isolées par l'intérieur, pignons isolés par l'extérieur)

Tableau 7 Murs de façade isolés intérieurement par complexe plaque de plâtre-isolant, collé (murs de pignon isolés extérieurement par isolant collé et enduit)  
Logements en collectif à ossature béton

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité				Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut			
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa selon descriptif	Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)		
Fenêtres à la française en menuiserie bois, montées au nu intérieur – Classe A 3													
X	0	3	190 (¹)	8,7	0,3	0,1		22 (³)	29,6 (⁵)	–	–	9,7	
				188 (²)	6,9	0,3	0,1	11 (³)	13,2 (⁵)	–	–	6,5	
								46 (⁴)	9,2 (⁶)				
				188 (²)	6,9	0,3	0,4	11 (³)	13,2 (⁵)	–	–	13,0	
1. Logement en position centrale. 2. Logement en pignon. 3. Surface isolée intérieurement.				4. Surface isolée extérieurement. 5. Linéaire des liaisons des fenêtres avec les murs isolés intérieurement. 6. Linéaire des liaisons des fenêtres avec les murs isolés extérieurement.									

Tableau 8 Murs en maçonnerie (isolation répartie)

Planchers hauts et bas en maçonnerie

Logement en maison individuelle

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité				
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa	selon descriptif	mesurée	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)
Fenêtres coulissantes et basculantes en menuiserie bois, montées au nu intérieur – Classe A 3												
Y	0	1	280	14	0,3	0,5	Porte d'entrée : 1,5 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	92,0	27,0 (1)	112,0	43,6 (2)	64,0

1. Linéaire des liaisons des ouvrants avec les murs.

2. Linéaire des liaisons du plancher haut avec les murs.

Tableau 9 Murs à ossature métallique

Plancher haut en plaques de plâtre sous solives

Logement en maison individuelle

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa	selon descriptif	mesurée	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	
Fenêtres à la française en menuiserie aluminium, montées au nu intérieur et châssis Velux bois à l'étage													
Z	1	1	270	9,2 (1) 4,8 (2)	0,3 (2) 0,8 (2)	0,15 (1) 0,95 (2)			67 (1) 39 (2)	24,9 (3) 15,3 (3)	– 90,0	– 37,2 (4)	49 35

1. Au rez-de-chaussée.

2. A l'étage.

3. Linéaire des liaisons des murs avec les ouvrants.

4. Linéaire des liaisons des murs avec le plancher haut.

Tableau 10 Murs à ossature bois

Plafond en plaques de plâtre, sous solives en bois

Logement en maison individuelle

Référence de l'ensemble	Age (années)	Nombre de logements testés	Volume habitable (m <sup>3</sup> )	Perméabilités des ouvrants				Défauts d'étanchéité					
				Fenêtres		Autres ouvrants		Murs		Plancher haut		Perméabilité (P) (m <sup>3</sup> /h) sous 1 Pa	
				Surface (m <sup>2</sup> )	Perméabilité (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ) sous 1 Pa	selon descriptif	mesurée	Perméabilité pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Liaisons (m)	
Fenêtres à la française en menuiserie bois, montées au nu intérieur – Classe A 3													
AA	0	2	202	14,2 225	0,3 0,3	0,3 0,7		Trappe de comble : 16,8 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	46,2 81,2	34,7 (1) 39,5 (1)	84,8 85,6	40,5 (2) 38,0 (2)	34,6 45,3

1. Linéaire des liaisons des murs avec les fenêtres.

2. Linéaire des liaisons du plafond avec les murs.

## 4 résultats des mesures

### 4.1 observations qualitatives

Le logement objet des mesures étant mis en dépression, on procède d'abord à une observation qualitative des points où apparaissent les infiltrations d'air. Ceci permet de procéder, avant les mesures proprement dites, à l'obturation des fuites qui proviennent manifestement de malfaçons, ou qui sont à comptabiliser sur un poste particulier (cas des fuites aux trappes des gaines techniques ou aux feux ouverts par exemple).

Voici une liste des défauts d'étanchéité les plus fréquents :

#### a) parois sur l'extérieur

*murs isolés intérieurement par complexes plaque de plâtre – isolant, collé*

Liaisons avec les dormants des menuiseries, plinthes, prises de courant, gaines d'alimentation en électricité des convecteurs.

Toutes ces infiltrations ont la même origine : la mise en communication avec l'air extérieur de la lame d'air due aux plots de colle, située entre le complexe isolant et le mur support. Cette mise en communication se situe aux liaisons des dormants des ouvrants avec les murs et, dans le cas des maisons individuelles, aux liaisons des murs avec les plafonds en plaques de plâtre sous solives sous combles perdus.

Cette constatation est générale sur ce type de paroi.

#### éléments de remplissage

Liaisons entre les éléments et le gros œuvre.

#### murs à ossature et contre-cloissons sèches

Liaisons entre les cloisons et liaisons des cloisons avec les dormants des menuiseries, plinthes.

#### b) divers

- Arrivées des câbles électriques au compteur ou au disjoncteur.
- Trappes de gaines techniques.
- Tuyaux : chauffage central, arrivée d'eau, évacuation des eaux usées, etc.
- Feux ouverts : fissures des joints entre briquettes et des poutres en bois, ce qui met les locaux en communication avec le conduit de fumée au-dessus de la trappe installée dans l'avaloir.

Signalons également le cas particulier des constructions comportant des cloisons et (ou) des planchers creux en liaison avec des parois extérieures à lame d'air. Les parois intérieures sont, dans ce cas, le siège d'infiltrations qui se manifestent aux plinthes, aux huisseries, etc.

En ce qui concerne les ouvrants sur les locaux non chauffés (portes sur garages, sous-sol, grenier ou cellier et trappes de combles), il est important de souligner que ceux-ci sont très généralement montés sans joint. Les résultats de mesures donnés ci-après montrent l'importance que peuvent prendre ces postes, généralement omis dans le calcul du renouvellement d'air supplémentaire.

### 4.2 présentation des résultats

Les résultats des mesures sont portés aux tableaux 1 à 10. Y figurent également les principales caractéristiques dimensionnelles de chaque logement : volume habitable, surface des fenêtres, surface des parois verticales et horizontales sur l'extérieur, ainsi que les linéaires des liaisons entre parois lorsqu'elles sont le siège d'infiltrations d'air.

Les résultats de mesures comprennent :

- la perméabilité moyenne des fenêtres, quotient de la perméabilité totale mesurée pour l'ensemble des fenêtres par leur surface totale. Elle est exprimée en  $\text{m}^3/\text{h.m}^2$  pour une différence de pression de 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur. Le chiffre est porté en regard de celui correspondant à la classe des fenêtres figurant au descriptif, de façon à permettre une comparaison immédiate ;
- la perméabilité globale des parois opaques sur l'extérieur, exprimée en  $\text{m}^3/\text{h}$  pour une différence de pression de 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur ;
- la perméabilité des autres ouvrants ou poste particulier éventuellement mesurée, soit :
  - coffres de volets roulants, exprimée en  $\text{m}^3/\text{h.m}$  pour une différence de pression de 1 Pa ;
  - portes d'entrée ou sur local non chauffé ainsi que trappes de comble, exprimée en  $\text{m}^3/\text{h.m}^2$  pour une différence de pression de 1 Pa ;
  - feu ouvert, exprimée en  $\text{m}^3/\text{h}$  pour une différence de pression de 1 Pa. La perméabilité mesurée correspond aux fuites à travers la trappe et l'ensemble de l'ouvrage (maçonnerie, poutre, etc.)

Les valeurs de perméabilité globale sont déterminées comme indiqué au paragraphe 2.

Pour ne pas alourdir la présentation des résultats dans les tableaux, on n'a pas fait figurer la perméabilité déterminée à 10 Pa ainsi que la pente de la droite de régression de chaque essai. Cependant, afin de donner une idée sur la dispersion des phénomènes d'infiltration d'air observés en parois opaques, on trouvera en figure 18 l'histogramme des valeurs des pentes des droites de régression entre les débits et les différences de pression mesurés (ce qui correspond à l'exposant  $n$  de la relation (1) entre le débit et la différence de pression).

On constate que les valeurs de  $n$  varient de 0,5 à 0,8 avec une moyenne égale à 2/3, soit des valeurs correspondant à des sections d'infiltration comprises entre des trous du type entrée d'air et des fentes étroites.

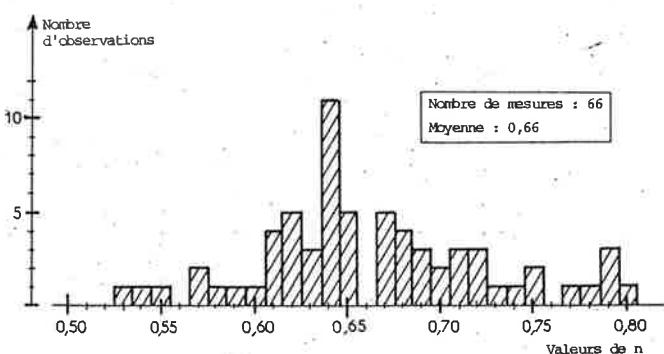


Figure 18  
Infiltrations d'air à travers les parois opaques  
Histogramme des valeurs de  $n$  de la loi  $Q = k \Delta P^n$

## 5 perméabilité à l'air in situ des ouvrants et des feux ouverts

### 5,1 les fenêtres

On donne en figure 19 les histogrammes des perméabilités moyennes (rappelons qu'une mesure s'applique à l'ensemble des fenêtres d'un logement), d'une part pour les fenêtres de classe A2, d'autre part pour les fenêtres de classe A3.

Le marquage n'étant en général pas visible, la référence adoptée est celle figurant au descriptif. On constate que la perméabilité des fenêtres de classe A2 présente une dispersion relativement importante (0,1 à 1,8), la moyenne se situant très près de la valeur de calcul (0,9 pour 0,8). Les perméabilités élevées proviennent généralement de joints déformés ou peints (peinture ou vernis).

En ce qui concerne les menuiseries de classe A3, la dispersion relevée est peu importante et centrée sur la valeur de calcul (0,3).

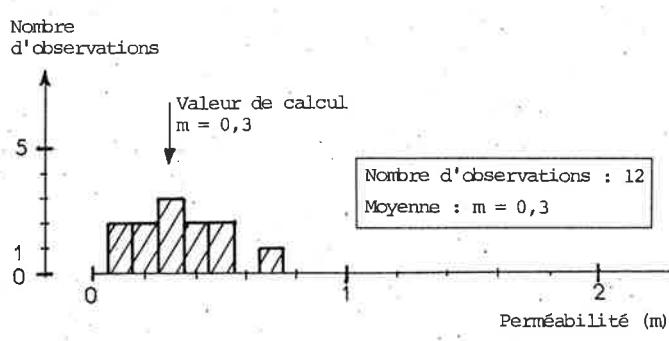
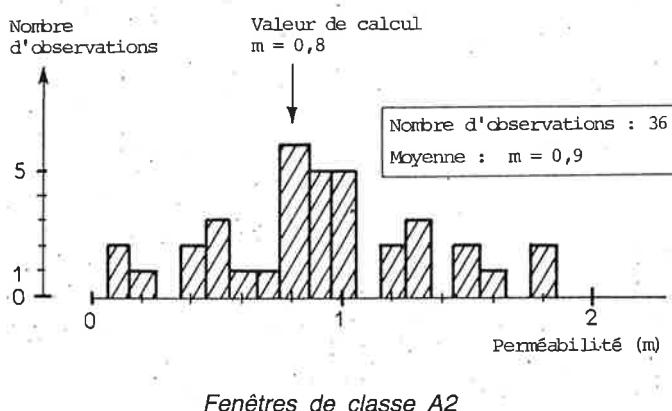


Figure 19 : Perméabilités mesurées in situ des fenêtres

Ne sont pas prises en compte dans cette analyse les mesures faites sur la référence P, (cf, tableau 3), la non-conformité des menuiseries posées relevant de la malfaçon.

Bien que la moitié des perméabilités mesurées excède les valeurs de calcul (ces valeurs sont les limites hautes des classes définies par la norme NF P 20-302), on peut estimer que le poste « fenêtre » ne présente pas un sujet de préoccupation. Il serait souhaitable toutefois d'informer les peintres de la nécessité de protéger les joints lors de la mise en peinture des menuiseries.

### 5,2 les portes

Deux mesures seulement ont été faites sur les portes d'entrée. S'agissant de portes avec seuil et joint, les deux résultats obtenus (3,8 et 1,5) ne permettent cependant pas de remettre en cause la valeur de calcul actuellement retenue (1,2). Des mesures complémentaires sont ici nécessaires.

En ce qui concerne les portes sur les locaux non chauffés (garages, sous-sol, greniers, etc.), les valeurs relevées présentent une grande dispersion (1,25 à 12) avec trois valeurs anormalement élevées correspondant à des dormants mal montés ou à des jours importants sous les portes. Ces trois cas mis à part, la moyenne des essais conclut à  $m = 4 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$  pour une différence de pression de 1 Pa, valeur voisine de celle fixée par les Règles Th-G 77 pour les portes courantes donnant sur l'extérieur. Précisons que ces résultats d'essais donnent en fait des perméabilités équivalentes, combinant celle de l'ouvrant et du local non chauffé sur l'extérieur. Cette dernière étant généralement très grande, les valeurs mesurées s'appliquent pratiquement à l'ouvrant seul.

Il apparaît donc qu'il est simplement nécessaire de prendre en compte la perméabilité des ouvrants sur locaux non chauffés dans le calcul de la perméabilité des logements suivant la méthode exposée au paragraphe 2,56 « Cas particulier où l'air entrant traverse un espace tampon » du DTU « Règles Th-G 77 ».

### 5,3 les coffres de volets roulants

Les valeurs relevées ( $v = 0,25$  à  $0,65$ ) semblent meilleures que celles fixées aux Règles Th-G 77.

Peu de mesures ayant pu être effectuées, il est cependant difficile de conclure.

### 5,4 les trappes de comble

Les quelques mesures faites sur des trappes de comble semblent montrer qu'elles ont normalement une perméabilité du même ordre de grandeur que celle des portes sans joint ( $6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$  pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur). C'est la valeur que l'on peut proposer pour leur prise en compte dans la détermination de la perméabilité des maisons individuelles.

### 5,5 les feux ouverts

Une seule mesure a été faite sur un feu ouvert, avec trappe fermée, afin de montrer l'importance que peut prendre ce poste :  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  pour 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur.

## 6 perméabilité à l'air correspondant aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe – interprétation des mesures in situ

### 6.1 principes

Il n'est généralement pas possible, du fait de leur diversité et de leur répartition dans la surface des parois opaques, de séparer expérimentalement les différents postes d'infiltration.

Aussi ne dispose-t-on que d'une mesure globale dont l'interprétation est spécifique à chaque technologie de construction.

D'autre part, les observations montrent que les infiltrations sont localisées aux liaisons entre les parois et (ou) entre les éléments de construction, en particulier chaque fois que les parois ou les éléments sont montés à sec ou peuvent, du fait du type d'assemblage, présenter des solutions de continuité entre eux.

La démarche suivie consiste à rechercher, pour chaque type de construction, la (ou les) liaison(s) ou type de paroi pouvant être le siège des infiltrations, puis à résoudre, pour chaque logement testé, une relation de la forme :

$$P = \sum (f_i l_i) + \sum (p_i A_i) \quad (2)$$

dans laquelle :

$P$  est la perméabilité globale mesurée

$f_i$  la perméabilité unitaire de chaque liaison de longueur  $l_i$

$p_i$  la perméabilité unitaire de chaque paroi de surface  $A_i$ .

Dans le cas général où le second membre de cette relation comprend plusieurs termes, la résolution n'est pas possible.

Par contre, elle est immédiate lorsque le second membre ne comporte qu'un seul terme.

Il convient donc de rechercher d'abord ces cas de figures, de façon à pouvoir utiliser les connaissances acquises pour la résolution des cas de figure plus compliqués.

La résolution est également possible, moyennant une certaine approximation, lorsque le second membre ne comprend que deux termes et que l'on dispose de suffisamment d'informations pour situer la fourchette de chacune des solutions.

C'est la démarche qui a été adoptée. Afin de ne pas alourdir inutilement ce rapport, elle est explicitée ci-après pour le cas le plus fréquent, celui des façades comportant une isolation intérieure par complexe plaque de plâtre – isolant, collé. Les dispositions constructives les plus courantes de cette technique de construction sont données à la figure 20.

### 6.2 interprétation des résultats des mesures dans le cas des façades isolées intérieurement par complexes plaque de plâtre-isolant, collés

En appliquant la démarche exposée ci-dessus on considère successivement :

a) Les ensembles C et D (tableau 2) et le premier logement de l'ensemble X (tableau 7).

Ce sont des logements en collectif pour lesquels les infiltrations sont localisées aux liaisons entre les murs et les dormants des ouvrants (baies vitrées et portes).

Il n'y a, en effet, pas d'infiltrations par les planchers en béton.

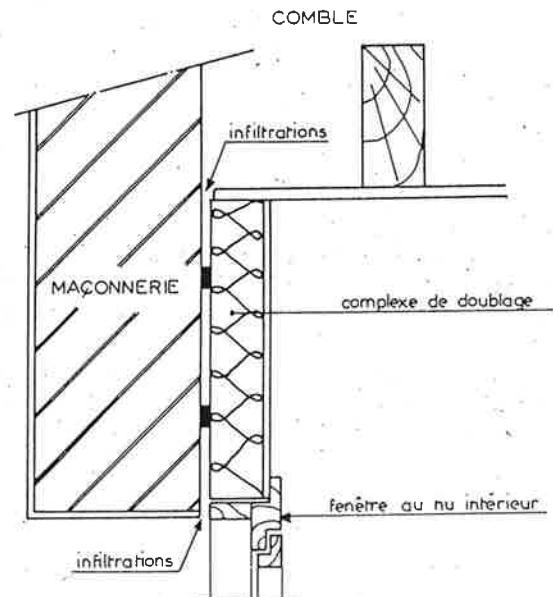


Figure 20 Isolation des murs par complexe de doublage plaque de plâtre-isolant, collé et fenêtre au nu intérieur

L'application de la relation (2) ci-contre permet de déterminer, pour chacun de ces cas simples, la valeur de la perméabilité  $f_i$  par mètre de liaison dormant – mur. On obtient les valeurs suivantes :

Ensemble	$f_i$ ( $m^3/h.m$ ) sous 1 Pa
C	1,25
D	0,70
X (1 <sup>er</sup> logement)	0,33

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, les valeurs de la perméabilité ( $f_i$ ) sont extrêmement dispersées. Elles situent uniquement la fourchette des valeurs possibles.

b) Les ensembles E à R, regroupés au tableau 3.

Ce sont des logements en maison individuelle ou en semi-collectif avec plafond sous comble perdu en plaques de plâtre sous solives.

Les infiltrations sont localisées, d'une part aux liaisons entre les murs et les ouvrants comme précédemment, d'autre part aux liaisons entre les murs et le plafond sous comble.

La relation (2) s'écrit ici pour chaque logement mesuré :

$$P = f_t L_t + f_i L_i \quad (3)$$

Dans cette relation :

$P$  est la perméabilité globale mesurée

$f_t$  est la perméabilité par mètre de liaison mur-plafond et  $L_t$  la longueur correspondante

$f_i$  est la perméabilité par mètre de liaison mur-dormant d'ouvrant, et  $L_i$  la longueur correspondante.

Cette unique relation ne permet pas la détermination cas par cas des deux inconnues  $f_i$  et  $f_t$ , mais on peut trouver des solutions compatibles entre ces deux variables en considérant que :

- $f_i$  peut varier entre 0,3 et 1,3 environ si on admet qu'il n'y a pas de différence sensible entre les montages des dormants en logement collectif et en maison individuelle ;
- $f_i$  et  $f_t$  ne sont pas nuls ;
- physiquement,  $f_i$  et  $f_t$  sont deux solutions positives de l'équation (3).

Pour résoudre ce problème, on a porté en figure 21 les droites représentant les relations (3). Pour plus de clarté, on n'a porté que les enveloppes des cas observés :

- les enveloppes hautes et basses de l'ensemble des données ;
- les enveloppes hautes et basses de la zone regroupant 90 % des données.

Cette présentation permet de situer les liaisons existant entre les deux variables  $f_l$  et  $f_t$ .

On constate, par exemple, que si l'on retient pour  $f_l$  les données déjà acquises, soit  $0,3 < f_l < 1,25 \text{ m}^3/\text{h.m}$  sous 1 Pa, on obtient, en se plaçant au centre de la zone la plus fréquente :

$$0,9 < f_t < 2 \text{ m}^3/\text{h.m} \text{ sous 1 Pa}$$

En éliminant les bornes extrêmes, le couple des valeurs représentatives de la moyenne des cas est ainsi :

$$f_l = 0,7 \text{ m}^3/\text{h.m} \text{ sous 1 Pa}$$

$$f_t = 1,2 \text{ m}^3/\text{h.m} \text{ sous 1 Pa}$$

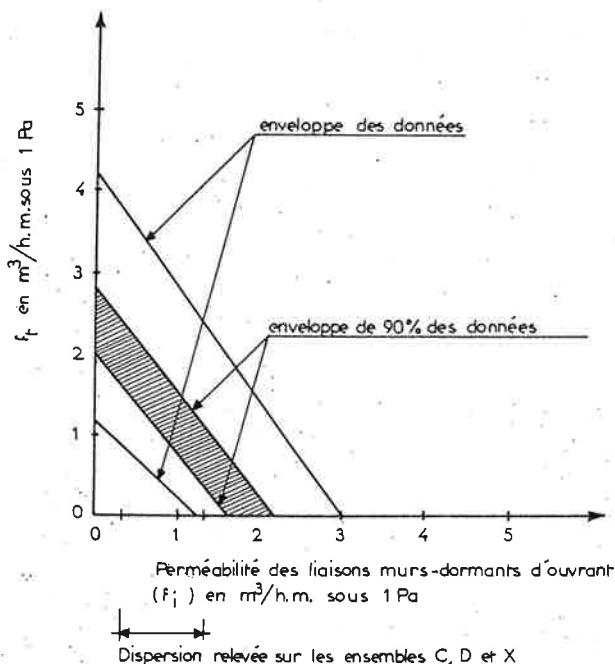


Figure 21. Ensembles E à R - Relations entre  $f_l$  et  $f_t$

## 7 conclusions

### 7,1 perméabilité à l'air des différents défauts d'étanchéité à prendre en compte dans les calculs

A partir des résultats et commentaires ci-dessus, on a cherché à déterminer des valeurs de calcul de la perméabilité à l'air des parois opaques et de leurs liaisons, dans un double but :

- la détermination du coefficient G des logements et de leur consommation de chauffage ;
- le contrôle a posteriori de la perméabilité à l'air des logements dans le cadre du contrôle de conformité au Règlement de construction.

Pour cela, on a tout d'abord réduit les fourchettes de dispersion en éliminant les mesures qui correspondent à des

infiltrations excessives du fait vraisemblablement de réalisations incorrectes, et on a cherché à rendre compte au mieux de la moyenne des performances réalisées avec les techniques et les habitudes actuelles des chantiers.

Il est évident que toute amélioration, soit du fait de techniques de construction différentes, soit du fait de précautions particulières, soit encore du fait d'une formation adéquate de la main d'œuvre, conduira à des performances meilleures. La détermination de ces performances améliorées pourra être abordée dans une seconde étape.

La perméabilité des liaisons avec les dormants des portes et fenêtres est exprimée dans le tableau qui suit en  $\text{m}^3/\text{h.m}^2$  d'ouvrant pour une différence de pression de 1 Pa entre l'extérieur et l'intérieur. Cette présentation a été jugée préférable car la perméabilité des portes et des fenêtres est déjà exprimée par rapport à leur surface. De plus, la comparaison des performances du composant seul et en place est immédiate. Pour cette transformation, on a considéré que le rapport moyen entre le périmètre des ouvrants et leur surface est égal à 3.

Voici les valeurs retenues :

### perméabilité à l'air correspondant aux défauts d'étanchéité

#### 1 perméabilités propres des parois opaques

(exprimées en  $\text{m}^3/\text{h}$  et  $\text{m}^2$  de paroi, pour une différence de pression de 1 Pa entre l'intérieur et l'extérieur)

- Murs à ossature métallique ou bois et cloison sèche, avec ou sans baie ni porte : ..... 0,5
- Lambris sous solives ou chevrons en plafond ou en rampant : ..... 2,0
- Autres parois : ..... 0,0

#### 2 perméabilités des liaisons entre parois opaques

(exprimées en  $\text{m}^3/\text{h}$  et  $\text{m}$  de liaison, pour une différence de pression de 1 Pa entre l'intérieur et l'extérieur)

- Liaison entre un plafond léger sous comble (plaqué de plâtre sous solives en bois ou plafond suspendu) et un mur isolé intérieurement par complexe isolant – plaque de plâtre, collé ou sur tasseau : ..... 1,0
- Liaison entre un plafond léger sous comble (plaqué de plâtre sous solives en bois ou plafond suspendu) et un mur en maçonnerie (isolation répartie) ou un mur isolé extérieurement : ..... 0,5
- Liaison entre un élément de remplissage ou une façade légère et un plancher, un refend ou un mur : ..... 0,5
- Autres liaisons : ..... 0,0

#### 3 perméabilités des liaisons entre murs et menuiseries

(exprimées en  $\text{m}^3/\text{h}$  et  $\text{m}^2$  de baie vitrée ou porte, pour une différence de pression de 1 Pa entre l'intérieur et l'extérieur)

- Liaison entre menuiserie au nu intérieur et un mur
  - à isolation intérieure et contre cloison maçonnée : ..... 0,8
  - à isolation extérieure : ..... 0,8
  - en maçonnerie (isolation répartie) : ..... 0,8
  - à isolation intérieure par complexe isolant – plaque de plâtre, collé ou sur tasseau : ..... 2,0
- Liaison entre une menuiserie en ébrasement et un mur : ..... 0,8

## 7.2 exemple d'application des règles proposées

Soit une maison individuelle ayant les caractéristiques suivantes :

- dimensions :  $12 \times 10 \text{ m}$
- un niveau sur terre-plein
- plafond sous comble perdu en plaques de plâtre sous solives
- fenêtres de classe A2 (surface :  $15 \text{ m}^2$ )
- porte d'entrée avec joints (surface :  $1,75 \text{ m}^2$ )
- porte sur garage sans joint (surface :  $1,35 \text{ m}^2$ )
- trappes d'accès au comble (surface :  $0,36 \text{ m}^2$ )
- murs isolés intérieurement par complexe de doublage plaque de plâtre - isolant, collé.

Le calcul de la perméabilité à l'air est le suivant :

### a) ouvrants

- Fenêtres :	$m \cdot A_m = 0,8 \times 15 = 12$
- Porte d'entrée :	$m \cdot A_m = 1,2 \times 1,75 = 2$
- Porte sur garage :	$m \cdot A_m = 6 \times 1,35 = 8$
- Trappe d'accès au comble :	$m \cdot A_m = 6 \times 0,36 = 2$
	<hr/> $24$

### b) défauts d'étanchéité

- Liaisons entre les ouvrants et murs :	$f_t A_m = 2 \times 18,1 = 36$
- Liaisons entre murs et plafond sous comble :	$f_{t,L} = 1 \times 44 = 44$
	<hr/> $80$
	$P = 104$

## 7.3 incidence des défauts d'étanchéité sur le coefficient G des logements

La part ( $\Delta G$ ) représentée par les défauts d'étanchéité dans le coefficient G d'un logement est donnée par l'expression :

$$\Delta G = 0,34 \frac{P e'}{V} (\text{W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

dans laquelle  $P$  est la perméabilité correspondant à ces défauts,  $e'$  le coefficient d'exposition au vent et  $V$  le volume habitable.

Les figures 22 et 23 donnent les histogrammes des valeurs de  $\Delta G$  des logements testés, en collectif d'une part et en maison individuelle d'autre part.

En valeur absolue, les valeurs moyennes de  $\Delta G$  sont de l'ordre de  $0,05 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$  en collectif et de l'ordre de  $0,12 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$  en maison individuelle, ce qui représente, pour des logements conformes à la réglementation de 1982, une augmentation de coefficient G, calculé selon les règles actuelles, de l'ordre de 10 %.

Il faut toutefois noter que ce calcul est effectué selon le DTU « Règles Th-G 77 » en vigueur.

Les études actuellement en cours pour mieux connaître les valeurs du coefficient d'exposition au vent  $e'$  semblent devoir conduire à diminuer celui-ci. Cela devrait donc tempérer les conclusions ci-dessus.

Il n'en demeure pas moins que la prise en compte des défauts d'étanchéité dans la détermination des déperditions de base et du coefficient G des logements est indispensable.

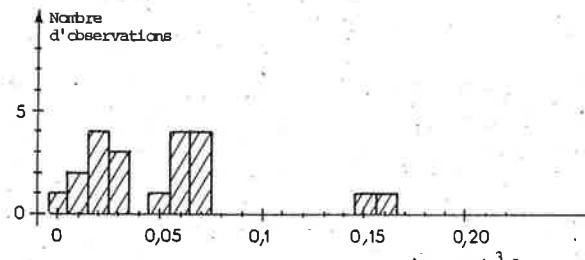


Figure 22  
Part ( $\Delta G$ ) représentée par les défauts d'étanchéité dans le coefficient G des logements collectifs

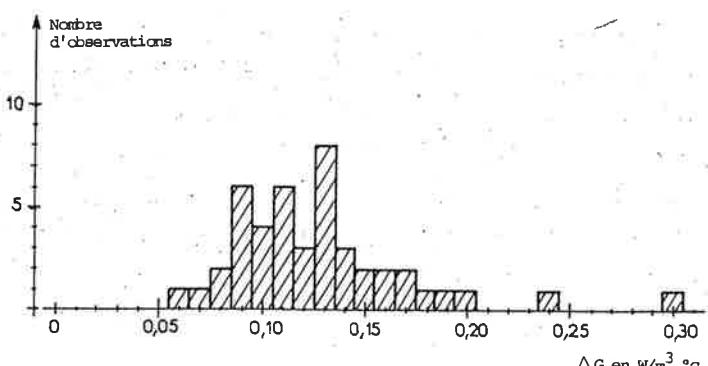


Figure 23  
Part ( $\Delta G$ ) représentée par les défauts d'étanchéité dans le coefficient G des maisons individuelles