

Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments

Généralités et sensibilisation

Octobre 2006



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



ministère
de l'Équipement
des Transports
de l'Aménagement
du territoire
du Tourisme et
de la Mer

Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments

Généralités et sensibilisation

Octobre 2006

CETE de Lyon
46 Rue St Théobald, BP 128
38081 L'ISLE d'ABEAU cedex
Département Villes et Territoires, Groupe Habitat Urbanisme Construction,
Domaine Construction

Rémi CARRIÉ, Tél 04 74 27 51 61, e-mail remi.carrie@equipement.gouv.fr
Romuald JOBERT, Tél 04 74 27 51 42, e-mail romuald.jobert@equipement.gouv.fr
Matthieu FOURNIER, Tél. 03 85 86 67 61, e-mail matthieu.fournier@equipement.gouv.fr
Sylvain BERTHAULT, Tél. 03 85 86 66 97, e-mail sylvain.berthault@equipement.gouv.fr
Hélène VAN ELSLANDE (stagiaire ITPE)

ISRN EQ-CT69-DVT/RE- - 06 - 95 - - FR

SOMMAIRE

<u>RÉSUMÉ</u>	6
<u>NOMENCLATURE</u>	7
<u>INTRODUCTION</u>	8
<u>1. LES ENJEUX DE LA PERMÉABILITÉ À L’AIR</u>	9
1.1. L’HYGIÈNE ET LA SANTÉ - QUALITÉ DE L’AIR INTÉRIEUR	9
1.2. LE CONFORT THERMIQUE ET ACOUSTIQUE DES OCCUPANTS	10
1.3. LA FACTURE ÉNERGÉTIQUE	10
1.4. LA CONSERVATION DU BÂTI	11
1.5. LA SÉCURITÉ À PROXIMITÉ DES SITES INDUSTRIELS SEVESO	12
<u>2. OÙ SONT LES FUITES ?</u>	13
<u>3. MESURE DE LA PERMÉABILITÉ À L’AIR ET DÉTECTION DE FUITES</u>	15
3.1. PRINCIPE DE MESURE	15
3.2. PROTOCOLE DE MESURES	15
<u>4. BASES THÉORIQUES SUR LES INDICATEURS DE LA PERMÉABILITÉ À L’AIR</u>	19
4.1. MÉTHODE D’ANALYSE DES RÉSULTATS	19
4.2. INDICATEURS ET VALEURS DE RÉFÉRENCE	19
4.3. CONVERSIONS	21
<u>5. ANALYSE DES RÉSULTATS DES ESSAIS</u>	23
5.1. PERMÉABILITÉ DE CONSTRUCTIONS COURANTES	23
5.2. RÉFÉRENTIELS D’ANALYSE DES RÉSULTATS	26
5.3. IMPACTS DE LA PERMÉABILITÉ À L’AIR	29
5.4. PISTES D’AMÉLIORATION DE L’ÉTANCHÉITÉ À L’AIR	32
<u>6. TABLE DES ILLUSTRATIONS</u>	34
<u>7. RÉFÉRENCES</u>	36
<u>8. ANNEXES</u>	37
8.1. INDICATEURS DE PERMÉABILITÉ À L’AIR (COMPLÉMENTS)	38

8.2. DÉTAILS CONCERNANT LE CALCUL DES ORDRES DE GRANDEUR DES DÉBITS D'INFILTRATION	39
8.3. TEXTES RÉGLEMENTAIRES	40

RÉSUMÉ

L'objectif de ce document est d'apporter au lecteur des éléments qui lui permettront de se familiariser avec les enjeux et les principes physiques liés à la perméabilité à l'air. Par ailleurs, il constitue une aide à la compréhension des rapports de mesure de perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments réalisés par le Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE).

Ce document décrit :

- des notions générales sur l'étanchéité à l'air ;
- le principe, les méthodes et les instruments de mesure ;
- quelques bases théoriques sur les indicateurs utilisés pour comparer les constructions entre elles ;
- des outils d'analyse des mesures sur site.

Mots clés : perméabilité ; air ; étanchéité ; mesure ; fuites ; bâtiment ; réglementation

NOMENCLATURE

Abréviations

RT	Réglementation Thermique
$[\dot{V}]_{env}$	Débit d'air à travers l'enveloppe du bâtiment (m^3/h)
$[\dot{V}]_L$	Débit d'air de fuite d'air (m^3/h)
ΔP	Différence de pression (Pa)
n	Exposant de la loi d'écoulement (-)
C_{env}	Coefficient de débit d'air ($m^3/(h.Pa^n)$)
A_L	Surface équivalente de fuite (m^2)
A_{PF-RT}	Surface de parois froides au sens de la RT 2005 (m^2)
V	Volume intérieur (m^3)
$U_{bât}$	Coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment ($W/(m^2.K)$)

Indices

env	Enveloppe
ref	Référence

INTRODUCTION

La consommation énergétique mondiale est passée de 8 milliards de tep¹ en 1990 à 11 milliards de tep en 2005². Cette tendance s'accroît encore aujourd'hui, en particulier sous la pression des besoins croissants des pays émergents. Les ressources ainsi que leurs débits d'extraction étant finis, les experts estiment que la production de pétrole ne parviendra pas à subvenir à la demande d'ici 2015-2035³. La crise d'approvisionnement en gaz de l'Ukraine en 2006 (crise Gazprom-Ukraine), les conflits armés en Moyen-Orient, ou encore la hausse du prix du baril de pétrole sont quelques illustrations des tensions politiques et financières générées par cette forte demande. En outre, les signes avérés du changement climatique (fonte des glaciers) auquel contribue la consommation d'énergies fossiles ou encore le traitement et l'utilisation des déchets radioactifs des centrales nucléaires aggravent ces tensions. Face à ces réels défis pour l'avenir de notre planète et pour l'humanité, la maîtrise de l'énergie devient un élément clé de l'action stratégique de certains gouvernements.

Avec plus de 40 % de la consommation française annuelle, le bâtiment est directement interpellé par ces enjeux. La maîtrise des transferts aérauliques constitue une des pistes d'amélioration pour les bâtiments. En effet, les systèmes de ventilation actuels sont capables de maîtriser les flux d'air pour apporter l'air neuf nécessaire aux occupants. Cependant, pour qu'ils fonctionnent correctement et soient réellement efficaces, il est nécessaire d'atteindre de bons niveaux d'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques et de l'enveloppe du bâtiment⁴. En effet, la maîtrise de la perméabilité à l'air permet de limiter le gaspillage d'énergie ; d'assurer de bonnes conditions de vie et d'hygiène aux occupants en procurant une bonne qualité de l'air intérieur ; et d'éviter les condensations et les moisissures responsables de dégradations prématurées du bâti. L'exemple des « Passivhaus⁵ » allemandes démontre qu'il est possible d'obtenir de très bons niveaux d'étanchéité quel que soit le mode constructif, pourvu d'y être attentif tout au long du processus de construction. En France cependant, des campagnes de mesure ont montré que l'étanchéité est souvent négligée dans les bâtiments, ce qui peut engendrer des problèmes de qualité d'air ainsi que de l'inconfort thermique et acoustique, en plus du gaspillage d'énergie.

Afin de sensibiliser les acteurs de la construction aux enjeux de la perméabilité à l'air et de les aider dans la compréhension des rapports d'études d'étanchéité, le CETE de Lyon a rassemblé dans ce document des notions de bases sur la perméabilité à l'air. Ce fascicule regroupe donc des informations à la fois théoriques et pratiques sur la mesure de l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments.

¹ Tep = tonne équivalent pétrole.

² Cf. rapport d'information du Sénat sur la **politique européenne** de l'énergie, par A. de Montesquiou, annexe au procès-verbal de la séance du 15 mars 2006.

³ Pour plus d'informations, on pourra se référer à l'ouvrage « Le plein s'il vous plaît » de J.M. Jancovici et A. Grandjean (2006).

⁴ Ce document ne traite que de **l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment**.

⁵ « **Passivhaus** » : une description succincte du label se trouve en partie 5.2.2

Afin d'assurer de bonnes conditions d'hygiène et de limiter le gaspillage d'énergie dans un bâtiment, il est nécessaire de maîtriser les flux d'air. Cette maîtrise requiert une bonne étanchéité des parois du bâtiment.

1. LES ENJEUX DE LA PERMÉABILITÉ À L'AIR

Assurer un bon niveau d'étanchéité à l'air pour un bâtiment, c'est être capable de maîtriser les flux d'air qui circulent à travers des orifices volontaires (bouches de ventilation et entrées d'air) et limiter les flux incontrôlés, qui peuvent être source de pathologies, d'inconfort, et de gaspillage d'énergie. Il ne s'agit en aucun cas de confiner les occupants dans un « sac plastique », mais au contraire de leur procurer de l'air de qualité en quantité suffisante mais sans excès.

On peut distinguer cinq enjeux principaux liés à l'étanchéité à l'air :

- L'hygiène et la santé – la qualité de l'air intérieur
- Le confort thermique et acoustique des occupants ;
- La facture énergétique ;
- La conservation du bâti ;
- La sécurité des personnes à proximité de sites industriels SEVESO.

1.1. L'hygiène et la santé - qualité de l'air intérieur

Pour ventiler correctement les pièces qui en ont besoin, il convient que les arrivées d'air neuf soient maîtrisées. Pourtant, dans les constructions courantes en France, entre un quart (1/4) et un tiers (1/3) de l'air neuf provient des défauts d'étanchéité de l'enveloppe (cf. § 8.2).

Par ailleurs, l'air qui transite dans les parois avant de pénétrer dans le logement peut se charger en polluants (fibres, poussière, moisissures, composés organiques volatils, etc.), puis les transférer à l'intérieur. À mesure qu'ils s'encrassent, ces circuits aérauliques peuvent dégrader à plus ou moins long terme la qualité de l'air intérieur.

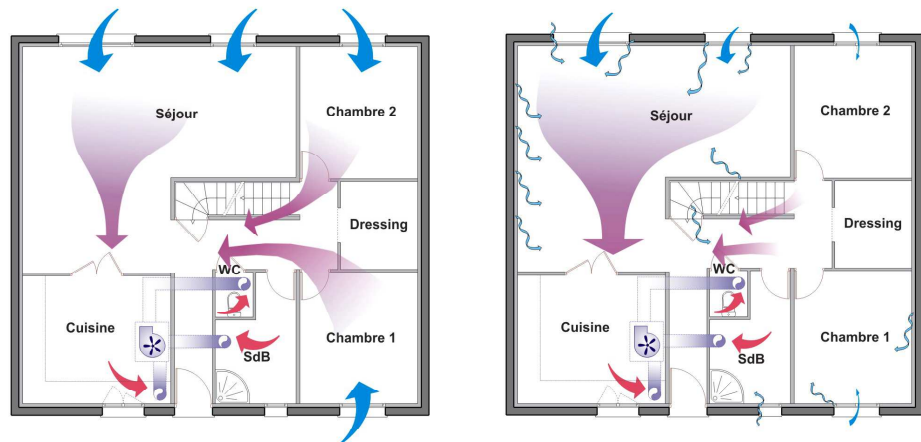


Figure 1 : Modification des flux d'air due aux infiltrations. Dans l'exemple de droite, elles engendrent plus de débit dans le séjour et les chambres sont court-circuitées.

1.2. Le confort thermique et acoustique des occupants

Une mauvaise perméabilité à l'air de l'enveloppe peut altérer le confort des occupants de deux manières :

✓ *D'un point de vue thermique*, en période de chauffe, les infiltrations d'air parasite peuvent être source de sensations gênantes (courants d'air, paroi froide, fluctuation de températures, voire une impossibilité de chauffer correctement).

✓ *D'un point de vue acoustique*, une enveloppe perméable compromet l'isolation acoustique vis-à-vis des bruits extérieurs.

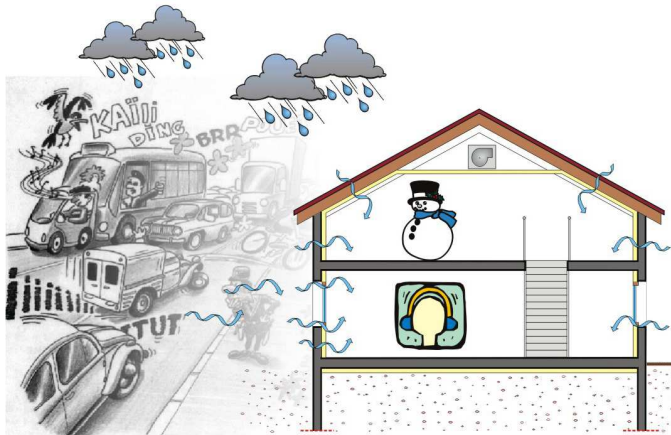


Figure 2 : Pénétration d'air froid et de bruit dans une maison perméable.

1.3. La facture énergétique

L'existence de trous dans l'enveloppe génère des flux d'air traversant non maîtrisés qui viennent en supplément du renouvellement d'air spécifique dû au système de ventilation. Ce phénomène sera plus ou moins amplifié selon les conditions de vent et le fonctionnement du système de ventilation.

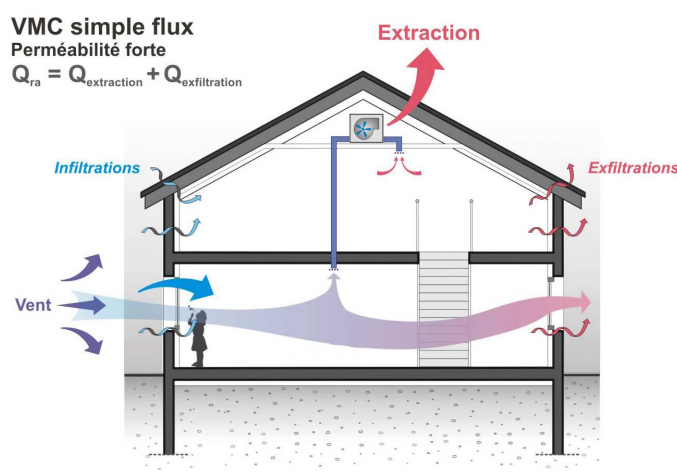


Figure 3 : Courant d'air traversant en présence de vent.

En saison froide⁶, ces flux d'air induisent un besoin supplémentaire de chauffage. L'augmentation du débit de renouvellement d'air dû aux infiltrations peut entraîner une augmentation des besoins de chauffage de l'ordre de 10% pour des systèmes de ventilation simple flux, et 25% voire plus, pour des systèmes double flux sur des constructions très perméables.

Enfin, certains transferts peuvent affaiblir la performance thermique des parois, si l'air extérieur s'infiltré entre l'isolant et le parement intérieur.

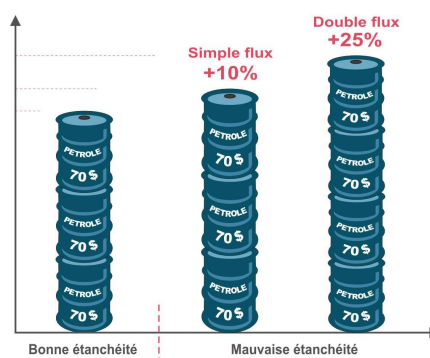


Figure 4 : Ordres de grandeurs de l'augmentation des consommations de chauffage.

1.4. La conservation du bâti

En période de chauffage, l'air exfiltré vers l'extérieur se refroidit en particulier dans l'isolant. Ainsi, son humidité relative augmente. Si au cours de ce parcours le point de rosée⁷ est atteint, il y a condensation, ce qui rend l'isolant moins performant et peut engendrer des phénomènes de corrosion et de moisissure des matériaux.

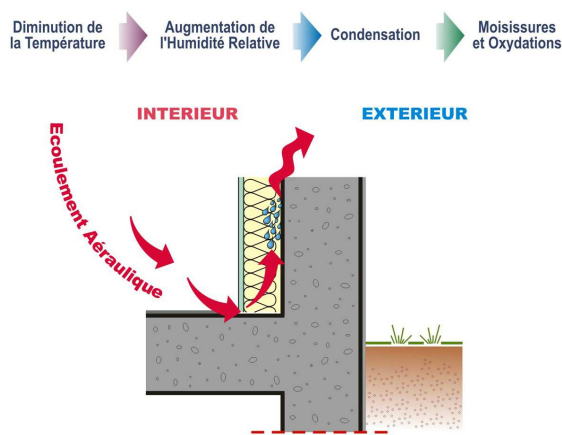


Figure 5 : Illustration de la condensation dans les parois.

⁶ **Période froide** : afin de simplifier les explications nous nous positionnerons toujours en période froide. Il ne faut cependant pas oublier que la perméabilité à l'air peut aussi avoir des effets néfastes en période chaude, notamment sur le conditionnement de l'air.

⁷ **Point de rosée** : pour une pression donnée, c'est la température à laquelle l'humidité contenue sous forme de vapeur d'eau dans l'air commence à se condenser en gouttelettes d'eau.

1.5. La sécurité à proximité des sites industriels SEVESO

Dans certains cas particuliers, une excellente étanchéité à l'air de l'enveloppe peut être recherchée afin de mettre à l'abri les personnes en cas de pollution atmosphérique (risques technologiques à proximité de sites SEVESO par exemple) et/ou pour confiner des produits toxiques dans une enceinte maîtrisée.

Ces cinq enjeux confirment l'importance de l'étanchéité à l'air pour bénéficier d'un certain confort de vie dans des bâtiments sains et performants sur les plans de l'énergie et de la qualité de l'air en particulier. Pour améliorer l'étanchéité, il est nécessaire de comprendre l'origine des infiltrations parasites.

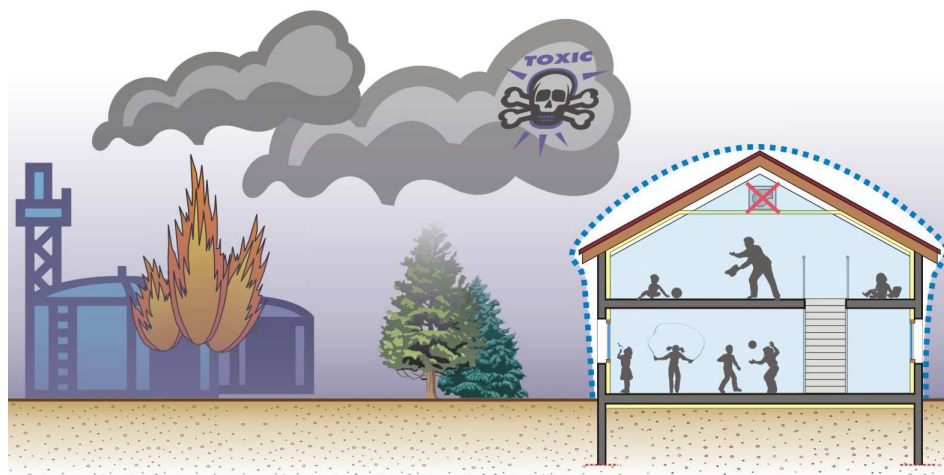


Figure 6 : Protection des personnes dans un local confiné en cas de pollution atmosphérique accidentelle.

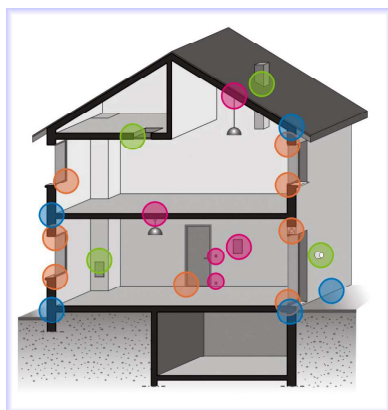
Grâce à une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments, il est possible d'assurer aux occupants de bonnes conditions d'hygiène et de santé ; d'améliorer leur confort d'un point de vue thermique et acoustique ; de réduire la facture énergétique et les émissions de gaz à effet de serre en limitant le gaspillage d'énergie ; et de diminuer les condensations et les moisissures responsables de dégradations prématurées du bâti. Dans un autre registre, il est possible de mettre à l'abri les personnes en cas de pollution atmosphérique accidentelle à proximité de sites SEVESO.





2. OÙ SONT LES FUITES ?

D'après des essais réalisés dans un grand nombre de logements, l'existence de nombreuses sources d'infiltration se justifie par trois motifs principaux :

- Les parois modernes sont souvent multicouches ;
- Sur certains systèmes constructifs, le risque de fuites est important et les études de conception sont insuffisantes ;
- Le calfeutrement fait rarement l'objet d'une attention particulière au niveau de la commande, des études, du suivi et de la réception des travaux.

Les motifs étant souvent les mêmes, la localisation des infiltrations varie peu elle aussi. A partir des données collectées grâce à différentes campagnes de mesures, quatre grandes catégories de points faibles ont été répertoriées. Les infiltrations se situent principalement au niveau des :



-  *Liaisons façades et planchers*
Liaison mur / dalle sur terre plein, liaison mur / dalle ou plancher en partie courante...
-  *Menuiseries extérieures*
Seuil de porte palière, seuil de porte fenêtre, liaison mur / fenêtre au niveau du linteau...
-  *Équipements électriques*
Interrupteurs sur paroi extérieure, prises de courant sur paroi extérieure...
-  *Trappes et les éléments traversant les parois*
Trappe d'accès aux combles, Trappe d'accès aux gaines techniques...

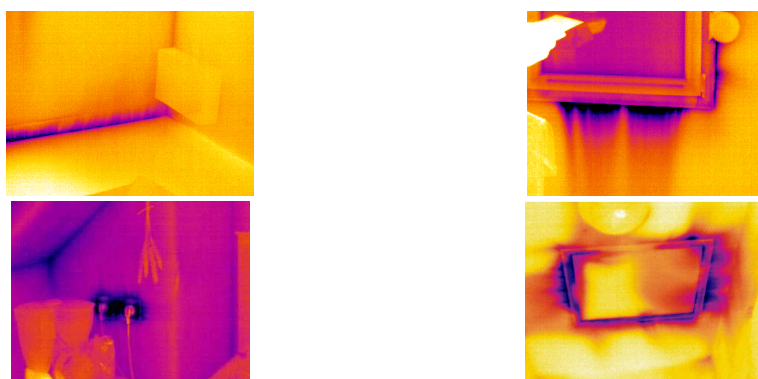


Figure 8. Exemples de fuites détectées à la caméra infra-rouge sur des logements récents.

Dans un bâtiment, les fuites sont réparties de manière diffuse, et il en suffit de peu pour dégrader considérablement ses performances. Il est donc quasiment impossible de juger de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment par simple inspection visuelle. C'est pourquoi les mesures in situ sont incontournables si l'on souhaite connaître la perméabilité d'un bâtiment.

3. MESURE DE LA PERMÉABILITÉ À L'AIR ET DÉTECTION DE FUITES

3.1. Principe de mesure

L'objectif de la mesure est de visualiser les infiltrations d'air parasites et de quantifier la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Pour cela, il faut créer artificiellement une variation de la pression interne du local testé afin de produire une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur génératrice de flux d'air. La méthode retenue par le CETE de Lyon est généralement la dépressurisation progressive du bâtiment testé à l'aide d'un ventilateur selon la norme NF EN 13829 (application Février 2001). Il s'agit d'extraire des volumes d'air connus et de mesurer simultanément les différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur afin d'obtenir une série de couple « débit/dépression ».

Norme pour la mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments : NF EN 13829

3.2. Protocole de mesures

Pour mesurer la perméabilité à l'air d'un bâtiment, on utilise un équipement spécifique adapté aux différents types de constructions :



Figure 9 : Porte soufflante

« *Blower Door*® », utilisée pour des bâtiments dont le volume n'excède pas 4000 m³ pour n₅₀ < 2 vol/h



Figure 10 : Perméoscope®

utilisé pour mesurer la perméabilité de maisons individuelles ou d'appartements dont le volume n'excède pas 1000 m³

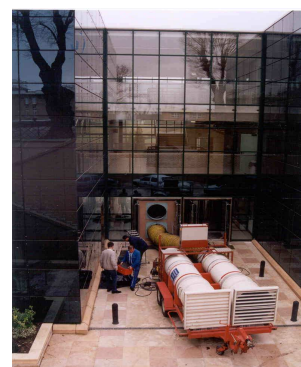


Figure 11 : Banc Grand Volume (BGV)

utilisé pour des bâtiments de volume allant jusqu'à 30000 m³ pour n₅₀ < 2 vol/h

Le protocole de mesure décrit ci-après est celui de la porte soufflante.

3.2.1. Obturation des orifices

L'objectif est de quantifier uniquement les fuites d'air non maîtrisées. C'est la raison pour laquelle les orifices volontaires (bouches de sorties et entrées d'air) sont colmatés à l'aide de rubans adhésifs imperméables à l'air et/ou de film polyéthylène. Cependant, dans certaines situations, un élément constitutif de l'enveloppe peut être colmaté puis décolmaté (trappe, menuiserie, appareillage électrique, ...) de manière à pouvoir quantifier la contribution de cet élément sur la performance globale de l'enveloppe.

3.2.2. Mise en place de la fausse porte

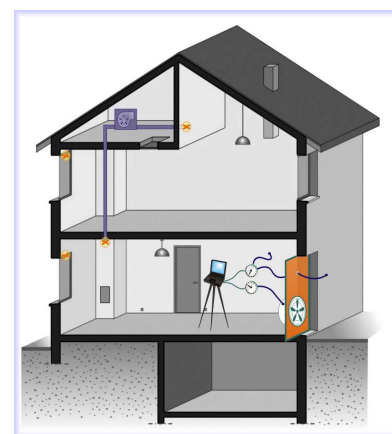
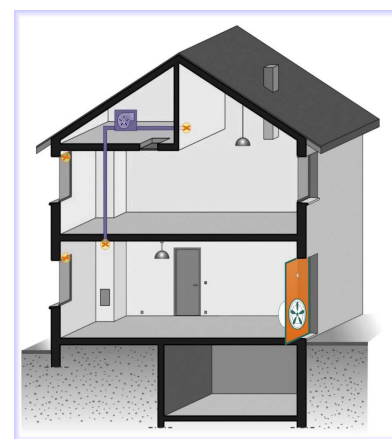
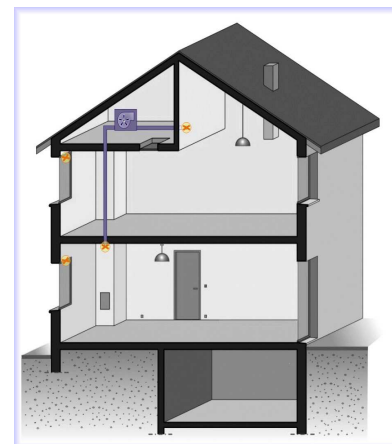
Le principe consiste à remplacer un des ouvrants de l'enveloppe par un dispositif parfaitement étanche, comportant une ouverture connectée à un ventilateur de vitesse variable. Généralement, la porte d'entrée du logement est choisie pour cette technique. On la remplace par une « fausse porte » étanche et adaptable aux différentes dimensions. Le rôle du ventilateur à vitesse variable est d'extraire des volumes d'air connus. Il comporte des diaphragmes permettant de réguler le débit d'air extrait et crée des différences de pression pouvant aller jusqu'à 100 Pa. Un minimum de 50 Pa est recommandé pour effectuer les mesures avec une dérogation possible pour les bâtiments de grand volume (supérieur à 4000 m³).

3.2.3. Dispositifs de mesure

Quel que soit le dispositif de mesure utilisé par le CETE, il est composé :

- d'un capteur différentiel de pression qui permet de mesurer la différence de pression créée par le ventilateur à travers l'enveloppe du bâtiment ;
- d'un débitmètre qui mesure le débit d'air traversant le ventilateur ;
- d'un micro-ordinateur équipé d'un logiciel permettant d'automatiser les mesures et d'afficher les résultats.

Pour le Banc Grand Volume, le ventilateur de la fausse porte est beaucoup plus puissant. Quant au Perméascope®, il est, en général, branché directement sur le système de ventilation et non pas sur un ouvrant de l'enveloppe. Cette méthode présente l'avantage d'être beaucoup plus facile à mettre en œuvre pour certains logements, notamment les locaux peu volumineux. L'inconvénient est que les essais doivent se limiter à des volumes inférieurs à 1000 m³. Cependant, le CETE de Lyon a conçu un système de fausse porte adaptable à cet appareil.



Avant chaque série de mesure, une mise en dépression significative du bâtiment (environ 50 Pa) permet de repérer les défauts d'étanchéité les plus importants à l'aide d'une caméra infrarouge, d'une poire à fumée ou de manière tactile.

3.2.4. Détection des points de fuite

Thermographie infra rouge

La thermographie infrarouge permet de déterminer et visualiser les températures des parois. Couplée à une dépressurisation du local, la thermographie permet de visualiser localement des infiltrations d'air froid à travers l'enveloppe d'un bâtiment. Lorsque le bâtiment est en dépression et que l'écart de température avec l'extérieur est suffisant (supérieur à 10°C environ), les infiltrations d'air à travers l'enveloppe refroidissent les parois intérieures. Il est alors possible de localiser ponctuellement les zones refroidies anormalement par les infiltrations d'air à travers l'enveloppe. Il faut toutefois rester attentif lors de l'analyse des résultats. En effet, les défauts d'isolation de l'enveloppe (ponts thermiques, absence d'isolation thermique) sont également mis en évidence par la thermographie infrarouge.

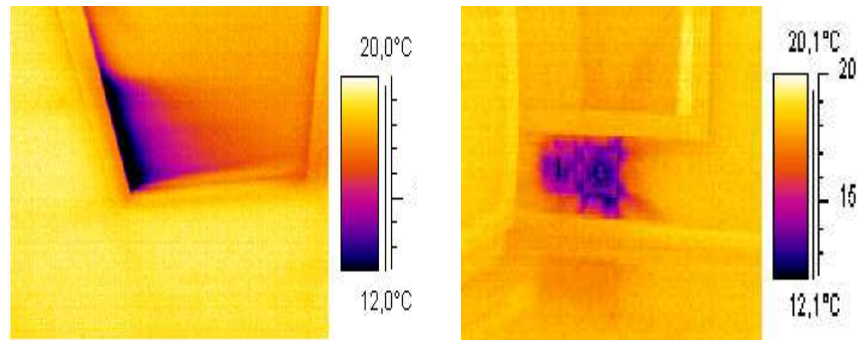


Figure 12 : Thermographies infrarouge, trappe et prises électriques.

Poire à fumée

Une manière beaucoup moins coûteuse de détecter les infiltrations d'air consiste à observer à l'aide de fumées visibles, les écoulements aérauliques lorsque le bâtiment est dépressurisé. Pour cela, des poires à fumée vendues dans le commerce sont couramment utilisées.

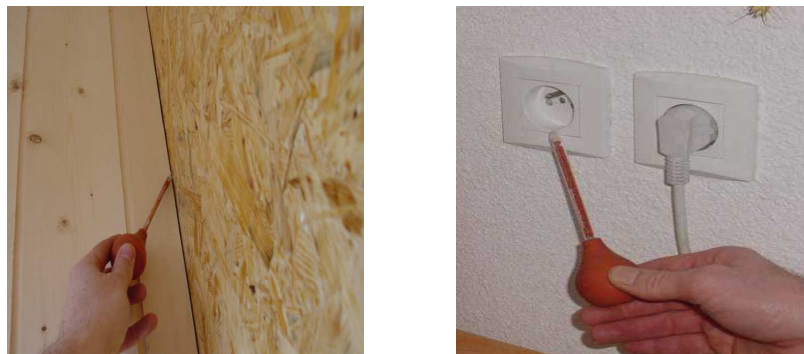


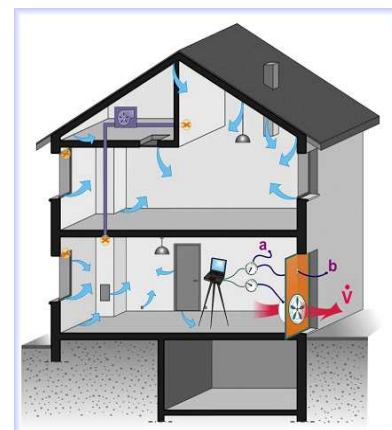
Figure 13 : Utilisation de la poire à fumée.

À la main

Il est possible de repérer les points de fuite de manière sensitive. En effet, la mise en dépression est suffisamment importante pour qu'on puisse repérer les infiltrations d'air parasites en passant simplement la main devant.

3.2.5. Mesure du débit de fuite

Avant chaque mesure, des données météorologiques nécessaires aux calculs sont relevées (température, vitesse du vent). Pour effectuer l'essai, la vitesse du ventilateur est diminuée par paliers de 10 Pa environ, depuis 70 Pa jusqu'à 10 Pa. A chaque palier, les pressions indiquées par le manomètre sont relevées en conditions stationnaires. On mesure simultanément les différences de pression entre l'intérieur (a) et l'extérieur (b) et le débit afin d'obtenir une série de couples {débits / dépressions}.



Quel que soit le matériel utilisé par le CETE de Lyon pour effectuer les essais (Perméascope®, Blower Door® ou Banc Grand Volume), le principe général de mesure reste le même. Le protocole de mesure de la perméabilité à l'air des bâtiments par porte soufflante se compose de cinq étapes principales :

1. obturation des orifices ;
2. mise en place de la fausse porte ;
3. mise en place du dispositif de mesure ;
4. visualisation des points de fuite ; et enfin
5. mesure du débit de fuite pour 5 à 10 paliers de pression.

4. BASES THÉORIQUES SUR LES INDICATEURS DE LA PERMÉABILITÉ À L'AIR

4.1. Méthode d'analyse des résultats

Le débit d'air à travers l'enveloppe du bâtiment $[V_{\text{dot}}]_{\text{env}}$ (m^3/h) est lié à la différence de pression ΔP (Pa) créée dans l'enceinte par rapport à son environnement par la relation :

$$[V_{\text{dot}}]_{\text{env}} = C_{\text{env}} \Delta P^n \quad (1)$$

où :

✓ C_{env} exprimé en $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$ est généralement appelé coefficient de débit d'air. Il dépend notamment de la surface de fuite et de la forme des orifices.

✓ n (sans unité) est généralement appelé exposant de l'écoulement. n dépend de la nature de l'écoulement. Par défaut, on retient généralement une valeur de 2/3. Un exposant proche de 1 caractérise un écoulement laminaire⁸, alors qu'un exposant proche de 0.5 caractérise un écoulement inertiel⁹.

Les coefficients C_{env} et n sont déterminés par régression linéaire des couples de mesure $\{\Delta P, [V_{\text{dot}}]_{\text{env}}\}$ à l'aide de la méthode des moindres carrés. Le débit de fuite sous la dépression voulue est déduit de la courbe théorique {débit ;dépression}. Les résultats sont présentés sous forme d'indicateurs et incluent des intervalles de confiance selon la norme NF EN 13829. Les indicateurs sont dérivés pour des conditions normales de température et de pression. Les indices « env » de l'équation (1) sont alors remplacés par des indices « L ».

4.2. Indicateurs et valeurs de référence

Seuls les quatre indicateurs les plus fréquemment utilisés sont présentés dans cette partie. Des éléments complémentaires sur ces indicateurs se trouvent en § 8.1.

⁸ **Écoulement laminaire** : écoulement stable, où deux lignes de courant proches l'une de l'autre le restent le long de l'écoulement.

⁹ **Écoulement inertiel** : écoulement dominé par les forces d'inertie, où les lignes de courant sont généralement désordonnées.

À partir des couples {débits / dépressions} mesurés lors des essais et d'une méthode d'analyse, on peut extraire des indicateurs de perméabilité à l'air et comparer des constructions entre elles.

4.2.1. Surface de fuite équivalente

La surface équivalente de fuite (A_L) correspond à la surface d'un orifice unique à travers lequel, pour une pression de référence (ΔP_{ref}), le débit mesuré serait identique au débit de fuite de l'enveloppe. Elle peut être déduite des résultats de mesure par la relation suivante :

$$A_L (\Delta P_{ref}) = C_L / C_d \cdot (\rho/2)^{0.5} \cdot (\Delta P_{ref})^{(n-0.5)} \cdot (1/3600) \quad (2)$$

où :

ρ est la densité de l'air à 20°C ($\rho \approx 1.2 \text{ kg/m}^3$) ;

C_d est le coefficient de décharge de l'ouverture de référence (-).

$C_d \approx 0.6$ pour un orifice à bords vifs ; $C_d \approx 1$ pour un orifice à bords moulés.

Différentes valeurs de pression de référence et différents types d'orifices peuvent être retenus pour exprimer cette surface (cf. § 8.1). Il est important de préciser les conventions retenues car elles influent beaucoup sur le résultat final.

4.2.2. Débits de fuite normalisés

Les trois indicateurs ci-dessous ramènent le débit de fuite à une dimension caractéristique du bâtiment, ce qui permet de comparer les constructions testées entre elles. Le débit de fuite est divisé soit par la surface de parois froides A_{PF-RT} (m^2) au sens de la RT 2005¹⁰, soit par le volume chauffé V (m^3).

- **L'indice de perméabilité à l'air, I_4** , est le débit de fuite sous 4 Pa divisé par la surface de parois froides (au sens de la RT 2005, hors planchers bas). Il s'exprime en $\text{m}^3/\text{h} / \text{m}^2$ à 4 Pa :

$$I_4 = [V_{dot}]_L (\Delta P = 4 \text{ Pa}) / A_{PF-RT} \quad (3)$$

- **Le taux de renouvellement d'air sous 10 Pa, n_{10}** , est le débit de fuite sous 10 Pa divisé par le volume chauffé. Il s'exprime en volume/h (ou en h^{-1}) à 10 Pa :

$$n_{10} = [V_{dot}]_L (\Delta P = 10 \text{ Pa}) / V \quad (4)$$

- **Le taux de renouvellement d'air sous 50 Pa, n_{50}** , donne le débit de fuite sous 50 Pa divisé par le volume chauffé. Il s'exprime en volume/h (ou en h^{-1}) à 50 Pa :

$$n_{50} = [V_{dot}]_L (\Delta P = 50 \text{ Pa}) / V \quad (5)$$

¹⁰ **Paroi froide au sens de la RT 2005** : paroi en contact avec l'extérieur ou tout local non chauffé, hors plancher bas.

4.3. Conversions

Il résulte de la définition des indicateurs que :

$$I_4 = (4/50)^n (V / A_{PF-RT}) n_{50} \quad (6)$$

$$n_{50} = 5^n n_{10} \quad (7)$$

D'après les données collectées au cours de deux campagnes de mesures (Litvak, 2005 ; Litvak, 2001), on constate que la compacité (V/A_{PF-RT}) moyenne pour une maison individuelle est de l'ordre de 1.4 m ; elle vaut environ 2.5 m pour les logements collectifs, et 2.3 m pour les autres usages.

En considérant que $n = 2/3$, on obtient les abaques suivants :

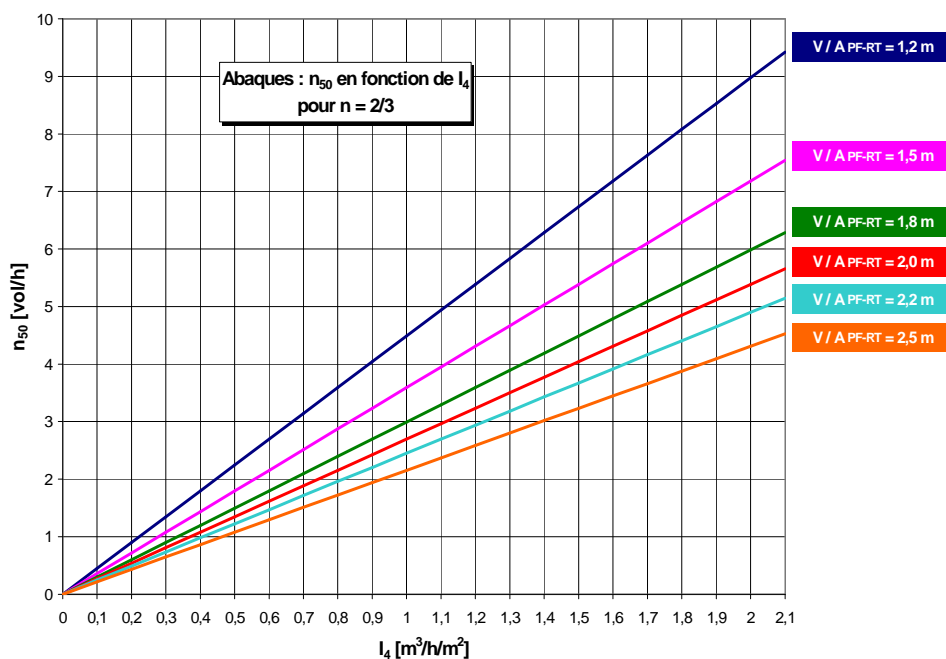


Figure 14 : n_{50} en fonction de I_4 pour $n = 2/3$.

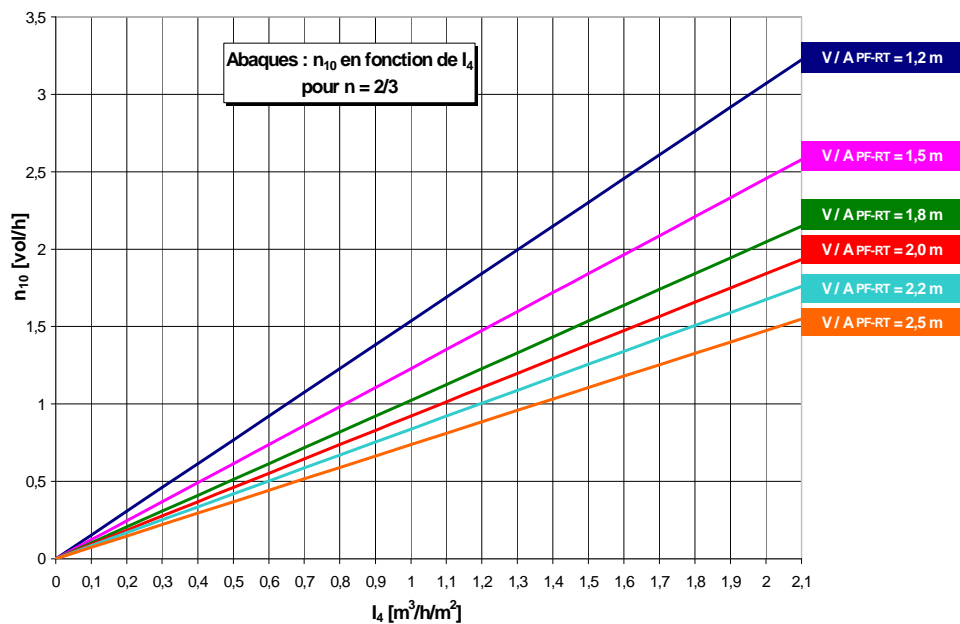


Figure 15 : n_{10} en fonction de I_4 pour $n = 2/3$.

Les méthodes de mesure et d'analyse des résultats sont aujourd'hui bien définies. Les indicateurs les plus souvent utilisés en France sont :

- I_4 (débit de fuite à 4 Pa normalisé par la surface de parois froides, hors plancher bas), notamment pour les calculs thermiques réglementaires (RT 2005) ;
- n_{50} (débit de fuite à 50 Pa normalisé par le volume du bâti).

Ces indicateurs permettent de comparer des constructions entre elles.

5. ANALYSE DES RÉSULTATS DES ESSAIS

5.1. Perméabilité de constructions courantes

Les graphes suivants reprennent les données de trois études réalisées par le réseau des CETE sur un échantillon de 36 maisons individuelles, 87 appartements testés individuellement, et 12 bâtiments tertiaires.

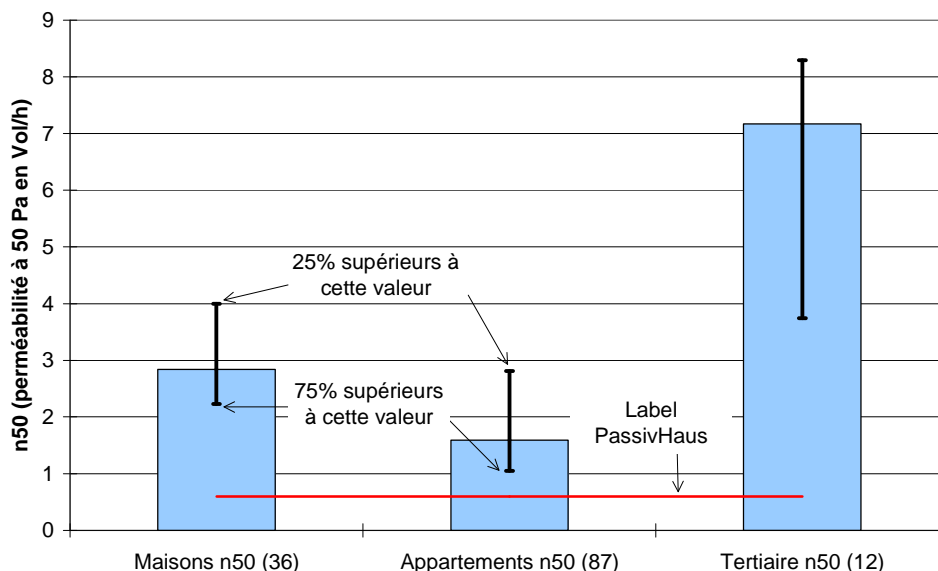


Figure 16 : n_{50} mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Les rectangles pleins représentent la valeur moyenne ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisième quartiles. D'après Litvak (2005 ; 2001).

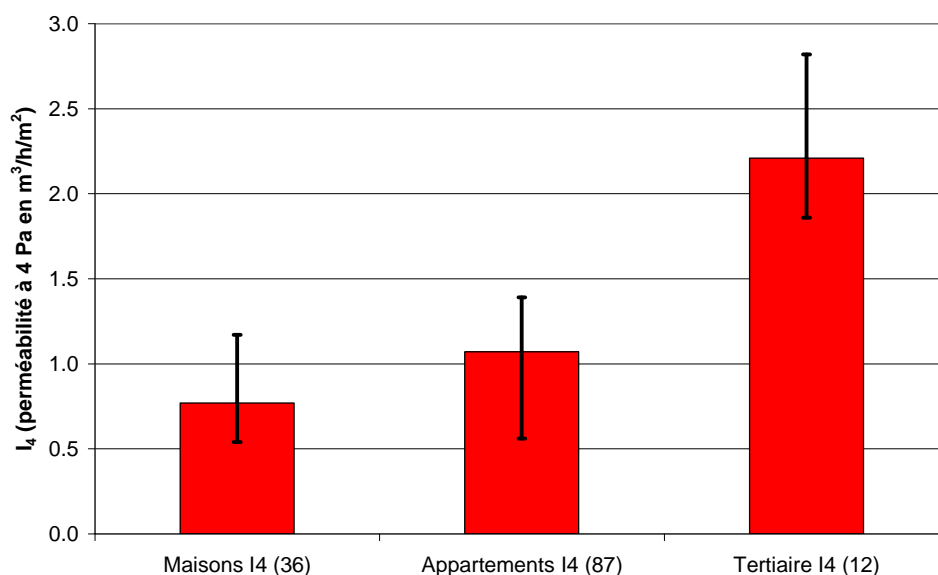


Figure 17 : I_4 mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Les rectangles pleins représentent la valeur moyenne ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisième quartiles. D'après Litvak (2005 ; 2001).

Des études de terrain ont démontré que la perméabilité à l'air des bâtiments en France reste généralement élevée.

5.1.1. Ordres de grandeur de la surface équivalente de fuite

Une maison individuelle de 110 m^2 de surface habitable, 2.5 m de hauteur sous plafond (soit un volume de 275 m^3) et dont la surface froide est de 196 m^2 (soit $V / A_{\text{PF-RT}} = 1.4 \text{ m}$) aurait une surface de fuite correspondant à :

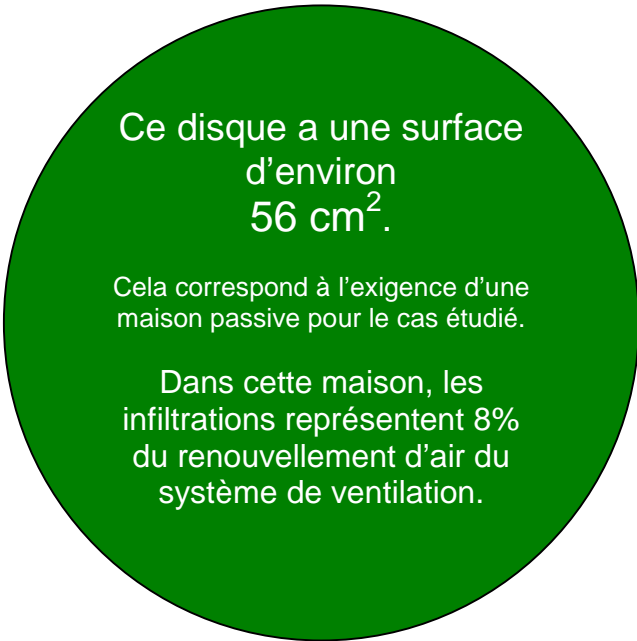
- 56 cm^2 , soit le dixième d'une feuille A4 pour $I_4 = 0.16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$;
- 282 cm^2 , soit 1/2 feuille A4 pour $I_4 = 0.8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$;
- 458 cm^2 , soit $3/4$ d'une feuille A4 pour $I_4 = 1.3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$; et
- 654 cm^2 , soit 1 feuille A4 pour $I_4 = 1.8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

Ce disque a une surface d'environ
 282 cm^2 .

Cela correspond à la surface équivalente des défauts pour une maison individuelle ayant un I_4 de $0.8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, de 110 m^2 de surface habitable, 2.5 m de hauteur sous plafond (soit un volume de 275 m^3) et dont la surface froide est de 196 m^2 .

Dans cette maison, les infiltrations représentent le quart du renouvellement d'air du système de ventilation.

La moitié des maisons présente une perméabilité supérieure à ce I_4 ($0.8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$).



Ce disque a une surface
d'environ
 56 cm^2 .

Cela correspond à l'exigence d'une
maison passive pour le cas étudié.

Dans cette maison, les
infiltrations représentent 8%
du renouvellement d'air du
système de ventilation.

5.2. Référentiels d'analyse des résultats

5.2.1. La RT 2005

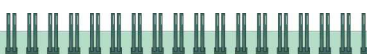
Le décret n° 2006-592 du 24 mai 2006 fixe un cadre. L'article 20 de l'arrêté du 24/05/06 (cf. § 8.3) précise des valeurs de perméabilités à l'air de référence et par défaut en terme de I_4 selon différents usages de bâtiment (Tableau 1). Par ailleurs, l'annexe VII de ce même arrêté définit une démarche qualité pour l'étanchéité à l'air du bâtiment.

Ainsi, il est possible de valoriser une bonne perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment dans le calcul du coefficient énergétique C (RT 2005) en se fixant une valeur de perméabilité à l'air qui devra être vérifiée à réception de la construction ou en suivant un référentiel de démarche qualité lors de la conception et de la construction. Avec cette démarche, un contrôle régulier lors des différentes phases du processus permet d'utiliser la valeur de référence sans avoir à réaliser une mesure à la réception.

En l'absence de ces démarches, une valeur par défaut de perméabilité à l'air est prise en compte dans les calculs. Cette valeur, censée être pénalisante, est supérieure de $0.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ à la valeur de référence quels que soient les types d'usages.

Usage	Référence	Défaut
	$I_4 \text{ (m}^3/\text{h}/\text{m}^2 \text{ à 4 Pa)}$	$I_4 \text{ (m}^3/\text{h}/\text{m}^2 \text{ à 4 Pa)}$
Logement individuel	0.8	1.3
Autres bâtiments d'habitation, ou à usage de bureaux, d'hôtellerie, de restauration et d'enseignement ainsi que les établissements sanitaires	1.2	1.7
Autres usages	2.5	3.0

Tableau 1 : Perméabilités de référence et par défaut définies dans la RT 2005.



La Réglementation Thermique 2005 donne un cadre de référence. Elle définit :

Des valeurs de référence qui permettent d'obtenir le niveau réglementaire si tous les éléments constitutifs du projet sont également au niveau de référence.

Des valeurs par défaut à utiliser lorsque le maître d'ouvrage ne souhaite pas s'engager sur l'étanchéité au moment du calcul RT 2005. Cette valeur est pénalisante par rapport à la valeur de référence.

Une démarche qualité, avec valorisation possible de l'étanchéité du bâtiment grâce à un référentiel agréé selon les conditions définies dans l'annexe VII de la RT 2005.

5.2.2. Les Maisons Passives

Le label allemand « Passivhaus » et le label suisse « Minergie-P » ont des exigences très élevées sur l'étanchéité à l'air :
 $I_4 \approx 0.16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ à 4 Pa,
soit 4 à 5 fois plus étanche que la référence RT 2005 en logement individuel.

En 1988, l'institut allemand « Wohnen und Umwelt » (habitat et environnement) de Darmstadt crée, en collaboration avec l'université suédoise de Lund, le concept de « Passivhaus ». Il s'agit de créer des maisons à très faibles consommation d'énergie. Cela sous-entend une isolation très poussée, des fenêtres super-isolantes, une ventilation double-flux avec récupérateur de chaleur, et une excellente étanchéité à l'air.

Ce principe s'est fortement développé et a débouché sur la création d'un label « Passivhaus ». Concernant l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, leur cahier des charges est très exigeant, environ 4 à 5 fois plus contraignant que la valeur de référence retenue dans la réglementation thermique française (Tableau 2).

Les niveaux requis sont couramment atteints dans les constructions qui s'inscrivent dans cette démarche.

Usage	Référence I_4 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ à 4 Pa)	Garde-fou « Passivhaus » I_4 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ à 4 Pa)
Logement individuel	0.8	0.16 si $V/A_{\text{PF-RT}} = 1.4 \text{ m}$
Autres bâtiments d'habitation, ou à usage de bureaux, d'hôtellerie, de restauration et d'enseignement ainsi que les établissements sanitaires	1.2	0.23 si $V/A_{\text{PF-RT}} = 2 \text{ m}$

Tableau 2 : Garde-fous « Passivhaus » en comparaison avec les valeurs de perméabilité de référence de la RT2005.

5.2.3. Échelles d'appréciation du CETE de Lyon

Au-delà des référentiels présentés ci-dessus, le CETE de Lyon a capitalisé les essais réalisés depuis une vingtaine d'année et a élaboré une grille d'appréciation des valeurs de perméabilité à l'air (Figure 18 et Figure 19). Ces éléments sont tirés du guide réalisé par le CETE de Lyon en 2001 (EDF- CETE de Lyon, 2001).

Grâce à ces différents référentiels d'analyse, il est possible de juger la perméabilité d'un bâtiment, d'excellente à très mauvaise.

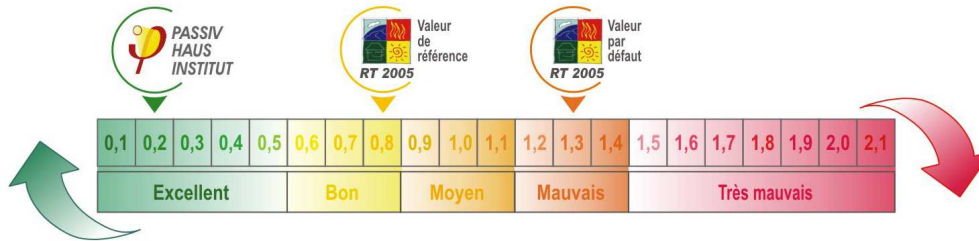


Figure 18 : Échelle d'appréciation du CETE de Lyon. Base: I₄ pour les logements individuels.

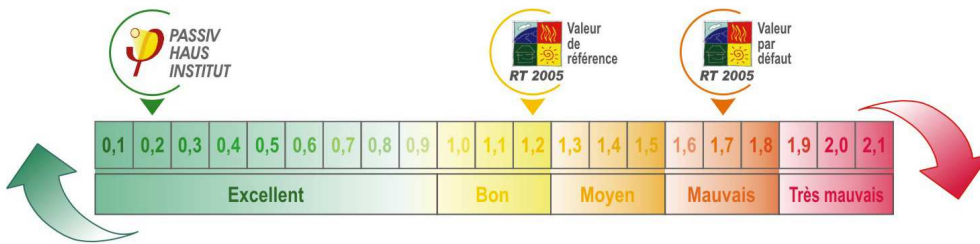


Figure 19 : Échelle d'appréciation du CETE de Lyon. Base : I₄ pour les immeubles collectifs.

À partir des indicateurs, on est capable de mesurer l'impact de la perméabilité à l'air sur la consommation énergétique.

5.3. Impacts de la perméabilité à l'air

5.3.1. Impact sur la consommation énergétique

Les résultats exprimés en terme d'indice de perméabilité peuvent être exploités au-delà de la seule comparaison aux valeurs guides. Par exemple, il est possible d'estimer l'impact de la perméabilité à l'air sur le coefficient énergétique C ou sur les besoins de chauffage (RT 2005). La Figure 20 donne l'impact de la perméabilité à l'air sur les besoins de chauffage pour un bureau répondant aux références de la RT 2000. Les simulations sont effectuées en modifiant la perméabilité à l'air, le niveau d'isolation, ou la performance du récupérateur de chaleur. De même, la Figure 21 présente pour une maison individuelle performante (performance énergétique RT 2000 = 49%) l'impact de la perméabilité à l'air de l'enveloppe sur les besoins de chauffage.

Il ressort que l'importance relative de la perméabilité à l'air sur les besoins de chauffage s'accroît logiquement avec le renforcement de l'isolation thermique de l'enveloppe (U_{bat}). En outre, une mauvaise étanchéité à l'air peut engendrer un gaspillage d'énergie considérable, de l'ordre de 10% des besoins de chauffage pour des systèmes simple flux et plus de 25% pour des bâtiments très performants équipés de systèmes double flux.

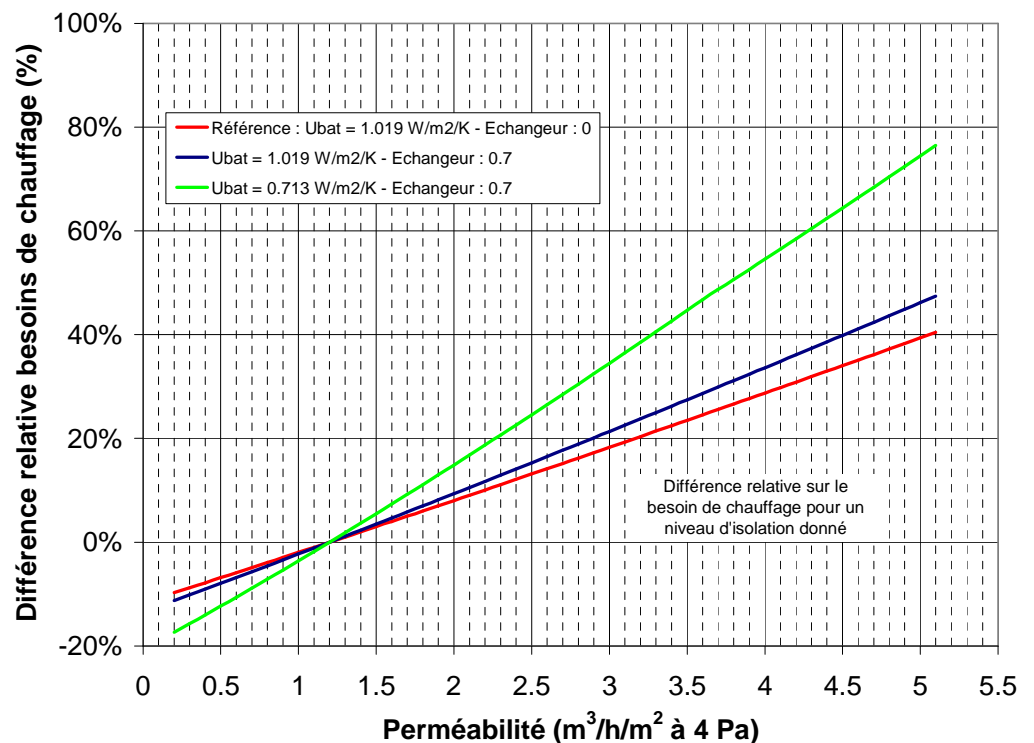


Figure 20 : Besoins de chauffage en fonction de la perméabilité à l'air. Fichier source : bureaux2 THC-APP14 ref.thc (jeu d'essais publics, 2000).

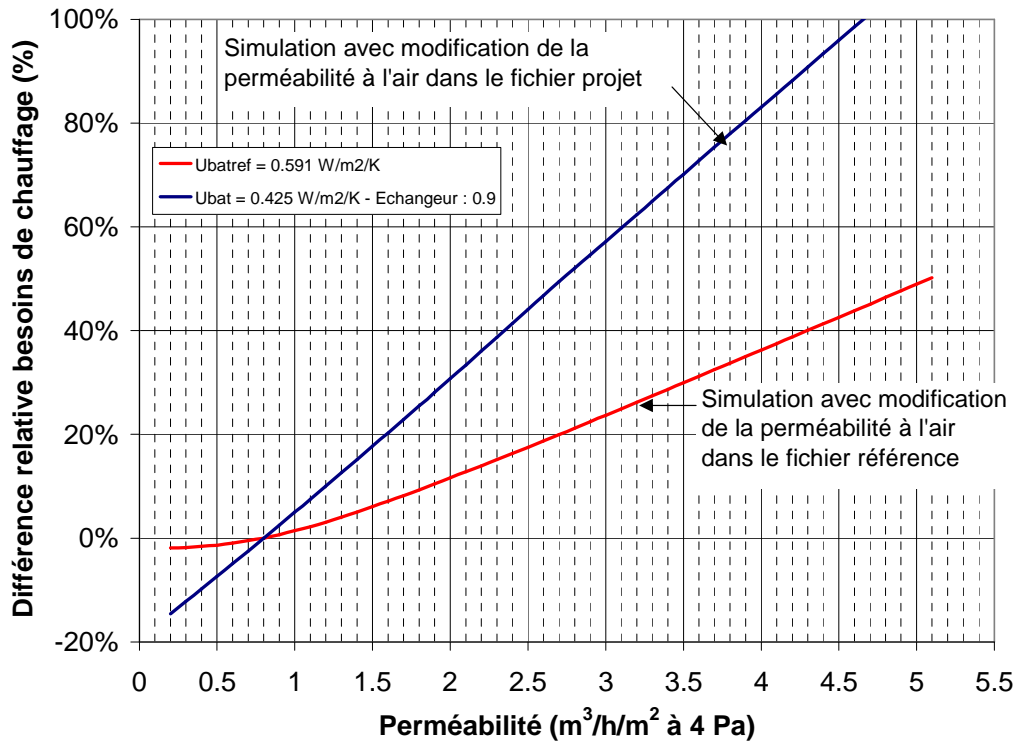


Figure 21 : Besoins de chauffage en fonction de la perméabilité à l'air. Fichier source : maison individuelle de 148 m² très performante : Besoins = 5079 kWh, Besoins ref = 10959 kWh. Zone H2, chauffage gaz, chauffe-eau solaire, système double flux. Source du fichier projet : Bastide-Bondoux Ingénieurs Conseil.

5.3.2. Impact sur l'efficacité des systèmes de ventilation

La perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments conditionne le bon fonctionnement de certains systèmes de ventilation. En effet, la légère dépression créée dans les bâtiments équipés de systèmes de ventilation simple flux retarde l'apparition de flux d'air parasites traversant jusqu'à un certain niveau de perméabilité. Ce phénomène se manifestera pour de plus faibles perméabilités pour des bâtiments équipés de systèmes de ventilation double flux. Ceci se ressent fortement sur la consommation énergétique car l'échangeur est court-circuité. Ainsi, la récupération de chaleur effective est très affectée par la perméabilité à l'air de l'enveloppe (Figure 22).

Le contexte de l'évolution vers des bâtiments à basse voire très basse consommation d'énergie pousse à utiliser des systèmes de ventilation performants tels que la ventilation double flux avec récupération de chaleur. Pour que les résultats escomptés soient au rendez-vous, il est donc crucial de garantir une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe.

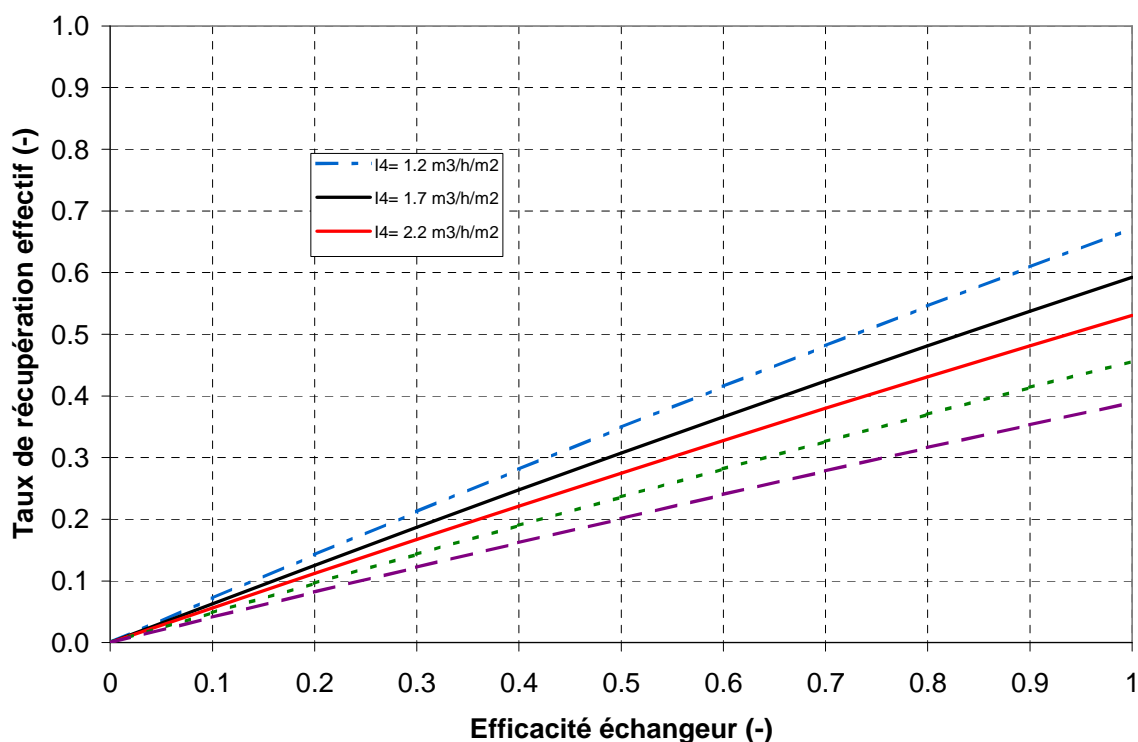


Figure 22 : Taux de récupération de chaleur effectif en fonction de l'efficacité de l'échangeur et de la perméabilité à l'air. Fichier source : bureaux2 THC-APP16 ref.thc (jeu d'essais publics, 2000).

L'analyse des résultats permet situer le niveau d'étanchéité du bâtiment par rapport à des référentiels comme les valeurs de référence de réglementation thermique française ou le garde-fou des maisons passives.

Il est également possible d'évaluer l'impact de la perméabilité à l'air sur les consommations énergétiques, sur l'efficacité énergétique des systèmes de ventilation, ou encore sur la maîtrise des flux d'air.

5.4. Pistes d'amélioration de l'étanchéité à l'air

Les conséquences d'une mauvaise étanchéité se traduisent très vite par une augmentation de la facture énergétique. Pourtant, quelques travaux simples peuvent améliorer assez sensiblement l'étanchéité des logements.

5.4.1. En neuf

Il est vivement recommandé de s'intéresser à la perméabilité à l'air dès la phase de conception et de sensibiliser les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les entreprises à ce problème. La mise en place d'une démarche qualité tout au long du processus de construction, de préférence avec mesure à la réception, doit permettre d'atteindre de bons niveaux d'étanchéité.

5.4.2. En rénovation

Des solutions relativement simples peuvent être mises en œuvre pour corriger les défauts d'étanchéité à l'air sur l'existant :

- Colmatage des orifices apparents ;
- Remplacement des joints de pourtour des menuiseries (portes d'entrée, fenêtres, trappe d'accès aux combles, etc.) ;
- Colmatage au niveau des prises et du tableau électriques.

Avant d'entreprendre les travaux, il convient cependant :

- d'évaluer leurs enjeux et les conséquences de chaque amélioration (comment intervenir ? avec quels produits ? pour quels résultats ? à quels prix ?) ;
- de bien définir le processus d'intervention, notamment en logements occupés ; et
- lorsque le nombre de logements est important, de mettre au point la procédure sur un logement prototype et d'en mesurer les résultats avant de généraliser les travaux.

Bien qu'il soit possible d'agir a posteriori sur la perméabilité à l'air, il est nettement recommandé aux maîtres d'ouvrage d'intégrer cette préoccupation dès la phase de conception du bâtiment et de sensibiliser les entreprises.



CONCLUSION

L'étanchéité à l'air est trop souvent négligée en France. Les perméabilités mesurées dans de nombreuses études permettent de déduire qu'entre un quart et un tiers de l'air neuf provient de fuites de l'enveloppe des bâtiments. Les flux d'air n'étant pas maîtrisés, ces infiltrations parasites peuvent dégrader la qualité de l'air, et causer une augmentation des besoins de chauffage de l'ordre de 10% pour des systèmes de ventilation simple flux et jusqu'à 25% pour des systèmes de ventilation double flux.

La bonne nouvelle est que l'on sait mieux faire. En effet, grâce à une conception et une mise en œuvre attentives à ce problème, des niveaux excellents sont atteints, quel que soit le mode constructif (ossature légère ou structure lourde). L'exemple le plus souvent cité en la matière est celui des maisons passives « Passivhaus » dont l'étanchéité à l'air est typiquement 4 à 5 fois supérieure à celle d'une maison individuelle en France. De plus, il est possible d'améliorer l'étanchéité des bâtiments existants.

6. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Modification des flux d'air due aux infiltrations. Dans l'exemple de droite, elles engendrent plus de débit dans le séjour et les chambres sont court-circuitées..	9
Figure 2 : Pénétration d'air froid et de bruit dans une maison perméable.	10
Figure 3 : Courant d'air traversant en présence de vent.	10
Figure 4 : Ordres de grandeurs de l'augmentation des consommations de chauffage....	11
Figure 5 : Illustration de la condensation dans les parois.	11
Figure 6 : Protection des personnes dans un local confiné en cas de pollution atmosphérique accidentelle.	12
Figure 7 : Localisation des points faibles	13
Figure 8. Exemples de fuites détectées à la caméra infra-rouge sur des logements récents.....	13
Figure 9 : Porte soufflante	15
Figure 10 : Perméascope®.....	15
Figure 11 : Banc Grand Volume (BGV)	15
Figure 12 : Thermographies infrarouge, trappe et prises électriques.....	17
Figure 13 : Utilisation de la poire à fumée.....	17
Figure 14 : n_{50} en fonction de I_4 pour $n = 2/3$	21
Figure 15 : n_{10} en fonction de I_4 pour $n = 2/3$	22
Figure 16 : n_{50} mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Les rectangles pleins représentent la valeur moyenne ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisième quartiles. D'après Litvak (2005 ; 2001).....	23
Figure 17 : I_4 mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Les rectangles pleins représentent la valeur moyenne ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisième quartiles. D'après Litvak (2005 ; 2001).....	23
Figure 18 : Échelle d'appréciation du CETE de Lyon. Base: I_4 pour les logements individuels.	28
Figure 19 : Échelle d'appréciation du CETE de Lyon. Base : I_4 pour les immeubles collectifs.	28
Figure 20 : Besoins de chauffage en fonction de la perméabilité à l'air. Fichier source : bureaux2 THC-APP14 ref.thc (jeu d'essais publics, 2000).	29
Figure 21 : Besoins de chauffage en fonction de la perméabilité à l'air. Fichier source : maison individuelle de 148 m ² très performante : Besoins = 5079 kWh, Besoins ref = 10959 kWh. Zone H2, chauffage gaz, chauffe-eau solaire, système double flux. Source du fichier projet : Bastide-Bondoux Ingénieurs Conseil.....	30
Figure 22 : Taux de récupération de chaleur effectif en fonction de l'efficacité de l'échangeur et de la perméabilité à l'air. Fichier source : bureaux2 THC-APP16 ref.thc (jeu d'essais publics, 2000).	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Perméabilités de référence et par défaut définies dans la RT 2005.	26
Tableau 2 : Garde-fous « Passivhaus » en comparaison avec les valeurs de perméabilité de référence de la RT2005.	27
Tableau 3 : Conventions utilisées pour l'expression de la surface de fuite équivalente ..	38

7. RÉFÉRENCES

Fournier M. 2005. *Perméabilité à l'air des constructions en bois, analyse d'un échantillon de 31 logements et caractérisation in situ de 4 maisons individuelles*. CETE de Lyon. Rapport LRA n° 16053. Novembre 2005.

Berthault S, Fournier M, Voeltzel A, Kappes-Grange J, Froment N. 2005 *Amélioration de la mise en œuvre des menuiseries*. Rapport ADEME 0304C0122. Novembre 2005.

Berthault S. 2005. *Perméabilité à l'air d'une maison individuelle en ossature bois*. CETE de Lyon. Rapport LRA n° 16053-2. juin 2005.

Berthault S, Sementa F. 2004. *Perméabilité à l'air de trois maisons individuelles en ossature bois*. CETE de Lyon. Rapport LRA n° 16053-1. Novembre 2004.

ADEME-FFB. 2003. *Perméabilité à l'air des bâtiments en maçonnerie ou en béton – guide des bonnes pratiques*. ISBN 2-915162-07-7. Février 2003

EN 13829. 2001. *Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur. Performance thermique des bâtiments*. Février 2001.

EDF-CETE de Lyon. 2001. *Perméabilité à l'air des bâtiments d'habitation – Guide améliorer la performance des logements existants*. CETE de Lyon. Rapport DVT n°01.43. Juillet 2001.

RT 2005. Arrêté du 25 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment.

Guillot K, Litvak A. 2000. *Étanchéité à l'air des constructions. Campagne de mesure de perméabilité à l'air et de ventilation de 70 logements*. CETE de Lyon. Rapport DVT n°00.173. Septembre 2000. ADEME.

Litvak A, et al. 2000. *Étanchéité à l'air des constructions. État de l'art et recensement des pratiques*. CETE de Lyon. Rapport DVT n°00.41. Avril 2000. ADEME.

Litvak A, et al. 2001. **Résultats de mesures de perméabilité à l'air sur 12 bâtiments tertiaires de grands volumes**. CETE de LYON. Rapport DVT n° 01.45. Novembre 2001. ADEME-EDF.

Litvak A, et al. 2005. *Campagne de mesure de l'étanchéité à l'air de 123 logements*. CETE Sud Ouest. Rapport n°DAI.GVCH.05.10. ADEME-DGUHC.

Déoux S et P. 2002. *Le Guide de l'Habitat Sain*. Medieco éditions. Andorra.

8. ANNEXES

- 1. Indicateurs de perméabilité à l'air (compléments)**
- 2. Détails concernant le calcul des ordres de grandeur des débits d'infiltration**
- 3. Textes réglementaires**

8.1. Indicateurs de perméabilité à l'air (compléments)

On trouvera une liste quasi-exhaustive des indicateurs de perméabilité à l'air dans l'état de l'art réalisé par le CETE de Lyon en 2000 (Litvak, 2000) et dans la norme NF EN 13829 (2001).

Calcul de la surface de fuite équivalente

Le calcul de la surface de fuite équivalente dépend de conventions prises sur le type d'orifice et de la pression de référence. Il existe deux conventions couramment utilisées (Tableau 3) :

- l'orifice de référence est à bords parfaitement moulés avec un coefficient de décharge de l'ouverture (C_d) égal à 1 et la pression de référence (ΔP_{ref}) de 4 Pa
- l'orifice de référence est à bords vifs avec un coefficient de décharge de l'ouverture (C_d) égale à 0.6, et la pression de référence (ΔP_{ref}) de 10 Pa.

Cependant, pour faciliter les comparaisons physiques avec des trous à bords vifs et rester cohérent avec la pression de référence utilisée dans la RT 2005, nous utilisons dans ce document une convention différente :

- l'orifice de référence est à bords vifs avec un coefficient de décharge de l'ouverture (C_d) égale à 0.6 et la pression de référence (ΔP_{ref}) de 4 Pa.

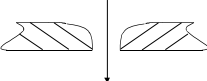
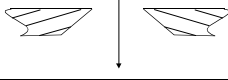
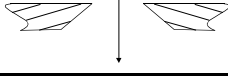
Type d'orifices		C_d (-)	ΔP_{ref} (Pa)
Bords parfaitement moulés		1.0	4
Bords vifs		0.6	10
Bords vifs		0.6	4

Tableau 3 : Conventions utilisées pour l'expression de la surface de fuite équivalente

Pour l'interprétation des résultats de mesure selon la surface de fuite équivalente (A_L), nous prendrons l'hypothèse de l'orifice à bords vifs dans la suite de cette étude. L'expression de la surface de fuite équivalente est alors donnée par :

$$A_L (\Delta P_{ref}) = C_L / C_d \cdot (\rho/2)^{0.5} \cdot (\Delta P_{ref})^{(n-0.5)} \cdot (1/3600) \quad (5)$$

avec

$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ densité de l'air à 20°C

$C_d = 0.6$

$\Delta P = 4 \text{ Pa}$.

8.2. Détails concernant le calcul des ordres de grandeur des débits d'infiltration

Le calcul des débits de renouvellement d'air est fait ici selon la méthode utilisée par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)¹¹.

Type de logement	I_4 ($m^3/h/m^2$)	Commentaire	Compacité (V/A_{PF-RT})	Renouvellement d'air spécifique (Vol/h)	Renouvellement d'air dû aux infiltrations (Vol/h)	Ratio (%)
Maison individuelle, 110 m^2 , 1 niveau, 5 pièces principales	0.16	Niveau « maison passive »	1.4	0.39	0.03	8%
Maison individuelle, 110 m^2 , 1 niveau, 5 pièces principales	0.8	Référence RT	1.4	0.39	0.10	25%
Maison individuelle, 110 m^2 , 1 niveau, 5 pièces principales	1.3	Défaut RT	1.4	0.39	0.17	44%
Maison individuelle, 110 m^2 , 1 niveau, 5 pièces principales	1.8	-	1.4	0.39	0.26	67%
Appartement, 75 m^2 , entre 4 et 10 ^{ème} étage, 4 pièces principales	0.8	-	2.7	0.48	0.06	12%
Appartement, 75 m^2 , entre 4 et 10 ^{ème} étage, 4 pièces principales	1.2	-	2.7	0.48	0.09	18%
Appartement, 75 m^2 , entre 4 et 10 ^{ème} étage, 4 pièces principales	1.3	-	2.7	0.48	0.10	20%
Appartement, 75 m^2 , entre 4 et 10 ^{ème} étage, 4 pièces principales	1.7	-	2.7	0.48	0.14	29%

¹¹ Collignan et al. 2003. Annexe à la méthodologie d'analyse pour l'évaluation du renouvellement d'air et du risque de condensation. Document de travail pour la réunion du groupe de consensus du 22 octobre 2003.

8.3. Textes réglementaires

Extrait de l'arrêté

Titre II : caractéristiques thermiques de référence

Chapitre IV Perméabilité à l'air

Art. 20.

La perméabilité à l'air sous 4 Pa de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment prise en référence et rapportée à la surface de l'enveloppe est fixée de la manière suivante :

0,8 m³/(h.m²) pour les maisons individuelles ;

1,2 m³/(h.m²) pour les autres bâtiments d'habitation, ou à usage de bureaux, d'hôtellerie, de restauration et d'enseignement ainsi que les établissements sanitaires;

2,5 m³/(h.m²) pour les autres usages.

Pour les bâtiments comportant des zones d'usages différents, la valeur de référence est calculée en moyenne pondérée par les surfaces habitables des zones.

La surface de l'enveloppe considérée dans le présent article est la somme des surfaces prises en compte pour le calcul de $U_{bât, réf}$ en excluant les surfaces des planchers bas (A_4).

Annexe VII Démarche qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment

1. Objet

Cette annexe décrit :

- a. les modalités de justification de la « démarche qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment »
- b. le contenu du dossier d'étude à établir à l'appui d'une demande de validation du « référentiel qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment »

2. Justification de la « démarche qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment »

Le Maître d'ouvrage doit pouvoir justifier la mise en place de la démarche en amont de la réalisation du projet par la fourniture des clauses techniques des marchés de travaux ou des contrats de construction.

Les dispositions organisationnelles, architecturales et constructives, adoptées par le projet et sa mise en oeuvre, doivent être conformes à un « référentiel » agréé pour une durée déterminée par le Ministre en charge de la Construction après avis d'une commission d'experts constituée à cet effet.

3. Dossier d'étude pour une demande d'agrément d'un « référentiel qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment »

a) Éléments à fournir par le demandeur

Le demandeur fournit :

- le descriptif des dispositions organisationnelles, architecturales et techniques dans la forme prévue pour sa diffusion, constituant le « référentiel » ;
- le domaine d'application visé par le référentiel : en particulier, doivent être précisés les types de marchés, les organisations de la filière constructive, les types de bâtiments et les limites de leur volumétrie, et si nécessaire les éléments d'ouvrage exclus tels que les passages avec rideau d'air ;
- les éléments justifiant que les dispositions organisationnelles dont celles relatives aux obligations du maître d'ouvrage, de la maîtrise d'œuvre et les entreprises sont adaptées au domaine d'application visé par le référentiel ;
- les éléments permettant de s'assurer que l'utilisateur du référentiel pourra facilement et sans risque d'erreur appliquer le référentiel
- les éléments justifiant que les dispositions techniques et architecturales du référentiel sont compatibles avec les normes en vigueur
- les éléments du référentiel vérifiables par un contrôleur ou un auditeur ;
- un dossier de mesures portant des bâtiments réalisés en adoptant le référentiel et dont le nombre minimal de permis de construire et de bâtiment correspondant au domaine d'application est défini selon l'usage et le type de bâtiment dans le tableau suivant :

Type de bâtiment selon son usage	Quantité minimale de bâtiment
Maison individuelle	30 maisons correspondant à au moins 15 permis de construire
Habitation collective	20 logements collectifs correspondant à au moins 10 permis de construire
Bâtiment à usage de bureaux, hôtellerie, restauration, enseignement, établissements sanitaires	30 bâtiments correspondant à au moins 15 permis de construire
Autres usages de bâtiments	20 bâtiments correspondant à au moins 15 permis de construire

- une liste portant sur d'autres bâtiments du même domaine d'application et réalisés en adoptant le référentiel mais n'ayant fait l'objet de contrôle ou de mesures autres que ceux spécifiés dans le référentiel. Cette liste doit respecter les quantités de bâtiments et de permis de construire indiquées dans le tableau précédent.

b) Variante par rapport à un référentiel déjà agréé

Dans le cas où un référentiel serait une variante d'un référentiel déjà agréé le demandeur fera référence à celui-ci et pourra ne fournir que les éléments complémentaires à ceux donnés lors de la demande de validation précédente.

La forme de la variante (mise en pages, typographie...) et sa structure devront être cohérentes avec celles du référentiel déjà agréé de façon à éviter tout risque de confusion lors de l'utilisation de la variante.

Au cas où l'auteur de la variante serait différent de celui du référentiel initial, l'accord écrit de ce dernier sera joint.

c) Composition du dossier de mesure concernant la perméabilité à l'air de bâtiments élaborés avec le référentiel

Le dossier de mesures de la perméabilité à l'air des bâtiments testés avec le référentiel comprend pour chaque référentiel proposé :

I . Les caractéristiques organisationnelles qui ont prévalu à la conception, la réalisation et la mise en service des bâtiments mesurés et notamment les qualifications des entreprises, les formations, la gestion de la qualité ;

II . Les caractéristiques constructives des bâtiments mesurés et notamment la description des systèmes constructifs et des traitements des interfaces entre éléments d'ouvrage ;

III. Les valeurs mesurées selon la norme NF EN 13829 « Performance thermique des bâtiments. –Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur » ou selon une méthode de mesure conduisant systématiquement à des valeurs plus élevées, et réalisées par un ou des organisme(s) ayant un système d'assurance qualité certifié conforme à la norme ISO 9001 : 2000 par un organisme certificateur accrédité par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou par tout organisme respectant les dispositions de la norme ISO/CEI 17025 : 2005 ;

IV. Un histogramme présentant en abscisse et par classe de 0.1 m³/h.m² les valeurs mesurées de perméabilité à l'air et en ordonnée le nombre de bâtiments ayant ce niveau de performance.

Ce dossier de mesure doit démontrer avoir obtenu plus de 85% de valeurs de perméabilité inférieures au niveau « démarche qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment conforme à un référentiel agréé » ainsi que la totalité des valeurs inférieures à la valeur par défaut, ces seuils étant définis selon l'usage du bâtiment dans la méthode de calcul Th-C-E.

CETE
de Lyon

département
Villes et Territoires

46, rue Saint-Théobald
BP 128
38081 l'Isle d'Abeau
cedex

téléphone :

04 74 27 51 03

télécopie :

04 74 27 51 18

mél : [dvt.cete-lyon](mailto:dvt.cete-lyon@equipement.gouv.fr)

[@equipement.gouv.fr](mailto:dvt.cete-lyon@equipement.gouv.fr)

Le CETE de Lyon
appartient au Réseau
Scientifique et Technique
de l'Équipement

