

© INIVE EEIG  
Operating Agent  
and Management  
Lozenberg 7  
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe  
info@inive.org- www.inive.org

International Energy Agency  
Energy Conservation in Buildings  
and Community Systems Programme



Air Infiltration and Ventilation Centre

## Étanchéité à l'air des bâtiments

V. Dorer, C. Tanner, A. Weber  
EMPA, Suisse

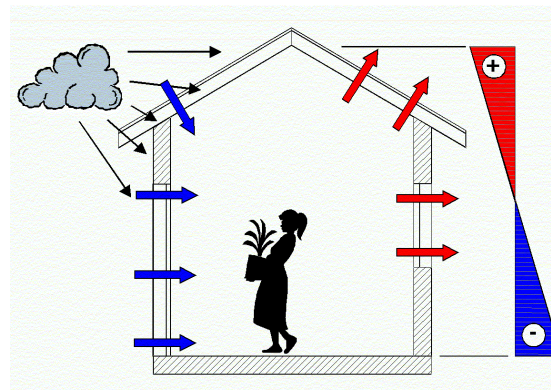
### 1 Introduction

Si l'enveloppe du bâtiment n'est pas suffisamment étanche à l'air, des quantités importantes d'énergie peuvent être perdues en raison des fuites d'air et cela peut occasionner des dommages aux éléments structurels en raison de la condensation. On peut éviter les fuites d'air par une conception appropriée et une construction soignée. Il existe des méthodes d'essai pour contrôler la qualité de l'étanchéité à l'air et pour localiser les fuites individuelles, on les utilise d'ailleurs de plus en plus.

### 2 Importance de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment

Depuis les temps immémoriaux, on sait que l'obturation des fissures et des joints, par le passé à l'aide de mousse et d'argile, prévient le refroidissement du bâtiment et réduit les risques de courants d'air, améliorant d'autant le confort thermique. Dans les enveloppes de bâtiments modernes, les points critiques sont souvent de petites fuites cachées dont les effets négatifs n'apparaissent qu'après un certain temps d'occupation du logement.

L'air chaud s'échappant par les nombreuses petites fuites de l'enveloppe du bâtiment entraîne une perte d'énergie permanente, à l'instar d'une fenêtre ouverte. En fonction de l'emplacement et du type de bâtiment, du type de fuites, la demande en chauffage peut augmenter de 50% pour compenser les pertes d'énergie (Figure 1). Comme les chaudières et les systèmes de distribution de chaleur actuels



sont actuellement dimensionnés strictement pour répondre à la demande nominale, les fuites imprévues peuvent empêcher d'atteindre la température ambiante prévue lors des journées froides. De façon similaire, la demande en énergie sera excessive en été si l'air intérieur est climatisé.

Une étanchéité à l'air insuffisante peut entraîner d'autres problèmes : en hiver, l'air intérieur chaud se refroidit en passant par les fuites du mur ou du toit. Cela entraîne de la condensation dans les parois. L'eau condensée peut se frayer un chemin vers le bas et s'écouler goutte-à-goutte du plafond. Pire encore, l'eau stagnante ou une humidité élevée peuvent entraîner des problèmes de pourriture des parois, rarement découverts à temps. (Exemple: une ouverture de 1 cm<sup>2</sup>, avec une différence de pression de 4 Pa, peut entraîner une accumulation de 30 l d'eau par hiver sous le climat de Zurich). Dans les immeubles d'appartements, les odeurs ou les polluants intérieurs affectant la qualité de l'air intérieur ou même la santé peuvent se propager d'une habitation à l'autre par les fuites internes.

En outre, le bruit et la pollution de l'air extérieur peuvent pénétrer dans les pièces par des fenêtres qui fuient, les joints des portes ou des fissures (Figure 2).

C'est pourquoi les exigences relatives à l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments sont stipulées dans les normes et cahiers des charges, afin de prévenir les pertes d'énergie, les dommages à la structure, les risques de courants d'air et les problèmes d'immission.

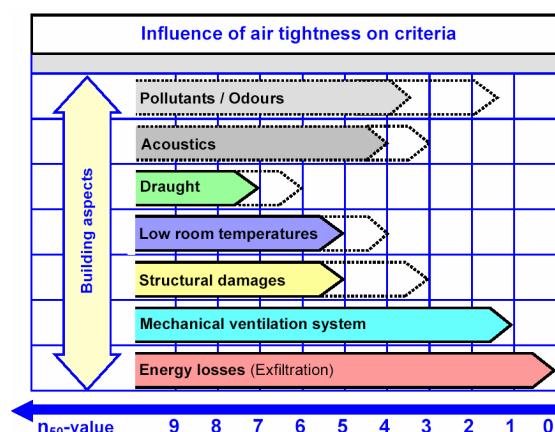


Figure 2: Influence de l'étanchéité à l'air sur les différents aspects du bâtiment (sur base de l'expérience empirique en Suisse)

### 3 Comment quantifier l'étanchéité à l'air ?

Le débit de fuite mesuré est normalisé pour une différence de pression de référence et un facteur tenant compte de la taille du bâtiment (surface au sol, surface de l'enveloppe, volume). On utilise de nombreuses approches pour la normalisation et les pressions de référence [Réf. 1].

#### 3.1 Débit de fuite d'air rapporté au volume

Le débit de fuite pour une différence de pression de 50 Pa au travers de l'enveloppe divisé par le volume du bâtiment (volume net de la zone mesurée) donne ce qu'on appelle la valeur  $n_{50}$ , qui permet de comparer l'étanchéité à l'air de différents bâtiments.

#### 3.2 Débit de fuite d'air rapporté à la surface de l'enveloppe

Dans de nombreux pays, on exprime le débit de fuite par  $m^2$  de surface de l'enveloppe pour une différence de pression de référence (4 Pa en France et en Suisse). La surface de l'enveloppe se définit de différentes manières. Dans la plupart des pays, la surface de l'enveloppe n'inclut pas la surface en contact avec le sol, alors que c'est le cas en Suède et en Belgique.

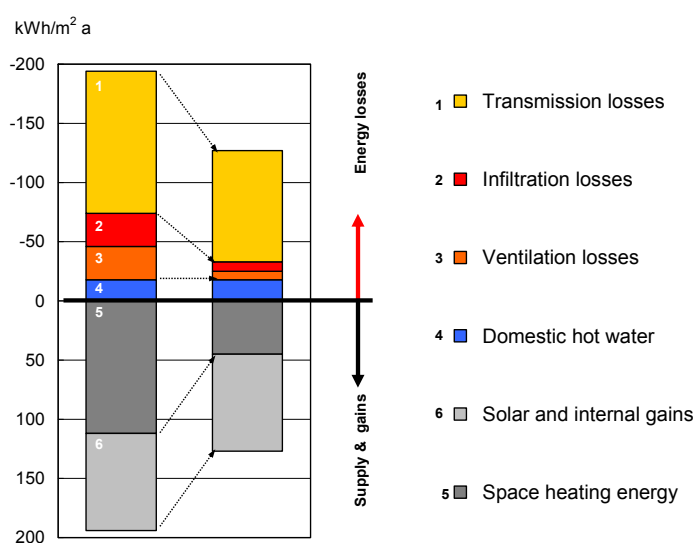


Figure 1 : Demande d'énergie pour le chauffage et la préparation de l'eau chaude sanitaire, avec la couverture respective par le système de chauffage et par les apports passifs (en kWh par  $m^2$  de surface au sol et par an)

À gauche : Maison unifamiliale, présentant un niveau d'étanchéité à l'air présumé de  $n_{50} = 4.5 h^{-1}$ . (définition du  $n_{50}$  : voir le chapitre 3)

À droite : habitation avec un niveau accru d'isolation et d'étanchéité à l'air ( $n_{50} \cong 1.5 h^{-1}$ ) et une ventilation mécanique avec récupération de la chaleur.

### 3.3 Surface de fuite équivalente (ELA)

Le débit de fuite mesuré pour une différence de pression de référence est associé à la surface équivalente d'un orifice qui laisserait passer le même débit pour cette différence de pression de référence. Les ELA sont définies pour des différences de pression de 4 Pa (US) ou 10 Pa, et pour différents coefficients de décharge.

## 4 Interaction de l'infiltration avec le système de ventilation

Entraîné par les pressions dues au vent et le tirage thermique (pression due aux densités différentes de l'air froid et de l'air chaud) l'air s'infiltré par les fuites du bâtiment. Ainsi, le volume des infiltrations dépend de la différence entre la température intérieure et extérieure, de la pression du vent, du type de bâtiment et de la répartition des fuites d'air et des cloisons internes (Figure 3). Il existe différents modèles (simples ou complexes) pour calculer l'infiltration en fonction de ces paramètres.

Aujourd'hui, la philosophie suivie à la conception d'un bâtiment et de le rendre le plus étanche possible à l'air et d'assurer le renouvellement de l'air par les fenêtres et les autres ouvertures prévues à cet effet ou encore par la ventilation mécanique.

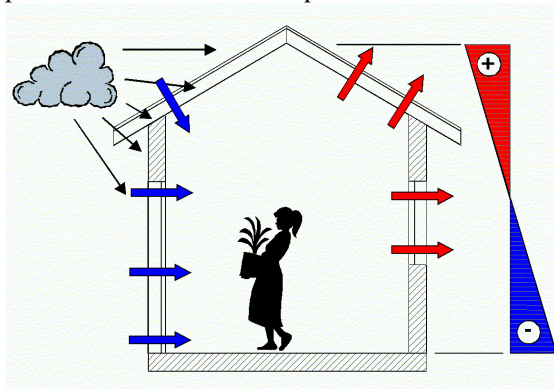


Figure 3: L'infiltration dépend des pressions du vent et du tirage thermique ainsi que de la taille et de la répartition des fuites

Pour les bâtiments équipés d'un système de ventilation mécanique par extraction, l'infiltration peut contribuer jusqu'à 30 % à l'apport total d'air extérieur, même pour une bonne étanchéité à l'air ( $n_{50}=1.0 \text{ h}^{-1}$ ) et avec

des prises d'air extérieur dimensionnées pour de faibles différences de pression (Figure 4).

De même, dans les bâtiments équipés d'un système de ventilation mécanique pour l'extraction et l'admission d'air, les déséquilibres de débit d'admission/d'extraction et les différences de pression résultantes appliquées aux façades peuvent conduire à des flux importants d'infiltration ou d'exfiltration.

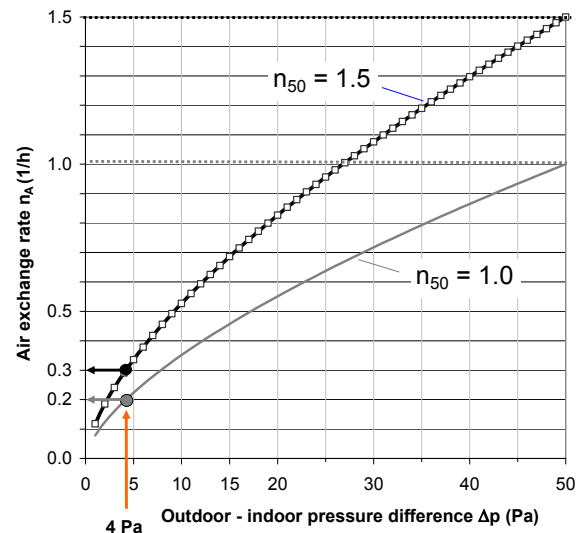


Figure 4: L'infiltration contribue de manière significative au débit d'air extérieur total des systèmes de ventilation d'extraction, même quand ils sont dimensionnés pour de faibles différences de pression (p.ex. 4 Pa)

## 5 Exigences de l'étanchéité à l'air

La plupart des normes et des codes nationaux de la construction contiennent des exigences relatives à l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Vous pouvez en trouver un aperçu dans la note technique 55 de l'AIVC [Ref. 1].

## 6 Comment mesure-t-on l'étanchéité à l'air ?

### 6.1 Essais de pressurisation

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment se mesure par la technique du « blower door » (porte à ventilateur), selon la norme EN 13829 [Réf. 2] ou ASTM-E1827-96 [Réf. 3]. Un ventilateur est monté dans une porte (Figure 5) ou un châssis de fenêtre et le bâtiment est pressurisé ou dépressurisé suffisamment pour minimiser l'influence du tirage thermique et des pressions du vent sur les résultats. Le débit passant par le ventilateur correspond au débit passant par les fuites (Figure 6).

Pour une mesure complète, on trace une courbe caractéristique du débit de fuite d'air  $q_v$  en fonction d'une différence de pression  $\Delta p$  variant de 0 à 100 Pa. Les points de mesure sont ajustés à une courbe caractéristique basée sur l'équation de débit (1).

$$q_v = C \cdot \Delta p^n \quad (1)$$

C : coefficient de fuite d'air  
n : exposant de débit d'air

À partir de la courbe caractéristique du débit de fuite, on peut déduire les valeurs respectives des critères et paramètres de fuite.

De nombreux paramètres de conditions limites influencent le résultat des mesures. En fonction du moment des mesures (bâtiment en construction, bâtiment inoccupé), de la saison (été ou hiver), de la position du ventilateur (tirage thermique!) de la préparation du bâtiment pour la mesure (scellement et scotchage des ouvertures), les imprécisions peuvent être relativement grandes (voir le Tableau 1).

Pour le calcul des déperditions par ventilation dues à l'infiltration, la norme EN 832 tient compte des valeurs  $n_{50}$  pour le bâtiment en état d'utilisation (donc avec les prises d'air ouvertes) alors que de nombreuses exigences relatives à l'étanchéité à l'air sont liées à la qualité de l'enveloppe du bâtiment uniquement, et imposent donc d'effectuer les mesures avec les prises et bouches d'air soigneusement obturées.



Figure 5: Porte à ventilateur Minneapolis

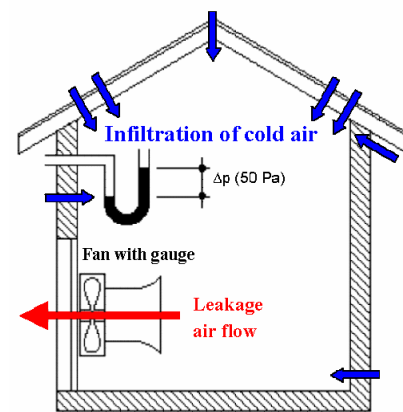


Figure 6: Essais de pressurisation

La Figure 7 donne un exemple de l'influence d'une hotte de cuisine qui n'a pas été scellée pour la mesure. Les imprécisions dues aux instruments de mesure sont relativement faibles, en revanche celles relatives au bâtiment et à son environnement ainsi qu'à la méthodologie et aux procédures de préparation du bâtiment pour les mesures peuvent être grandes.

La norme EN 13829 [Ref. 2] ne présente pas de manière suffisamment détaillée de nombreux sujets spécifiques. Une procédure détaillée, venant compléter la norme EN 13829, est par conséquent vitale pour obtenir des résultats fiables [Ref. 4]. Les pressions de référence de 4 et 10 Pa sont plus proches des pressions naturelles provoquant une infiltration d'air, mais étant donné qu'elles sont en dehors de la plage des pressions mesurées, les débits d'air à 4 et à 10 Pa, prédits par extrapolation, peuvent être sujets à des imprécisions importantes (Figure 8).

Table 1: Sources d'incertitudes lors des essais de pressurisation et plages d'erreur respectives, sur base empirique

Paramètre	Marge d'erreur	Origine des erreurs
Équipement de mesure du débit	± 5 - 10 %	Incertitude des instruments de mesure
Sous- /surpression	± 0 - 20 %	Incertitudes liées à l'objet et à l'environnement
Détermination du volume de référence ou de la surface d'enveloppe	± 5 - 15 %	Niveau de maîtrise et d'expérience
Dimensions et géométrie du bâtiment	± 5 - 15 %	Les très grands bâtiments sont critiques
Climat extérieur (vent, tirage thermique)	± 0 - 40 %	Incertitudes liées à l'objet et à l'environnement
Saison (hiver, été)	± 0 - 30 %	Incertitudes liées à l'objet et à l'environnement
Phase de construction (nouveau bâtiment)	± 0 - 20 %	Niveau de finalisation de l'étanchéité à l'air
Age du bâtiment	± 0 - 10 %	Niveau de maîtrise et d'expérience
Fuites du système de ventilation	± 0 - 50 %	Scellement des prises/sorties d'air, fuites des conduits, zone mesurée et heure des mesures

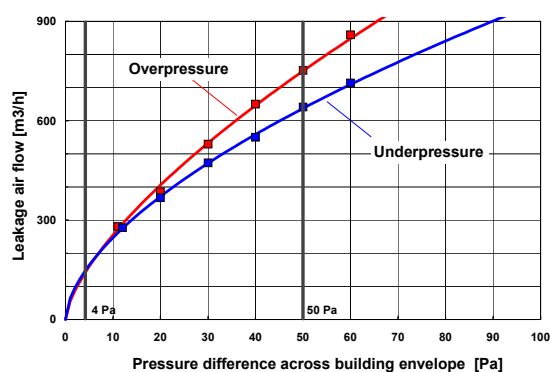


Figure 7: Courbes de fuite du bâtiment. Dans ce cas, les fuites en surpression (en rouge) sont plus élevées qu'en dépression en raison de l'ouverture en surpression du clapet de la hotte de cuisine non scellée.

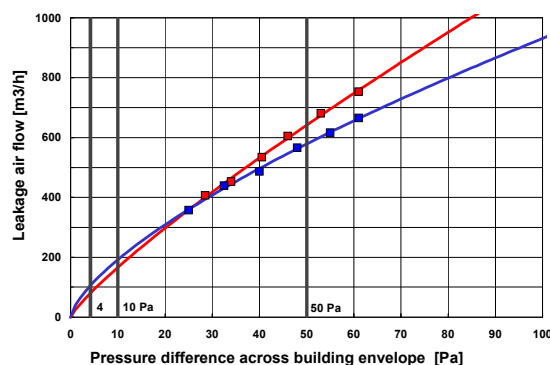


Figure 8: Courbes de fuite du bâtiment. L'extrapolation des courbes à des valeurs de pression sous les valeurs mesurées effectivement est problématique car de petites imprécisions de mesure peuvent influencer considérablement la forme des courbes.

En outre, l'influence des fuites des conduits du système de ventilation mécanique peut être importante lors de la mesure de bâtiments très étanches à l'air, même si les ouvertures et les prises d'air ont été scellées. La Figure 9 montre une situation où l'air extérieur peut passer par les gaines, ce qui conduit à des valeurs de fuites de l'enveloppe erronées. La Figure 10 donne certains résultats de mesures récentes dans les bâtiments basse énergie équipés d'une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur.

L'obturation du système de ventilation lors d'une mesure d'étanchéité à l'air peut avoir un impact non négligeable sur les résultats.

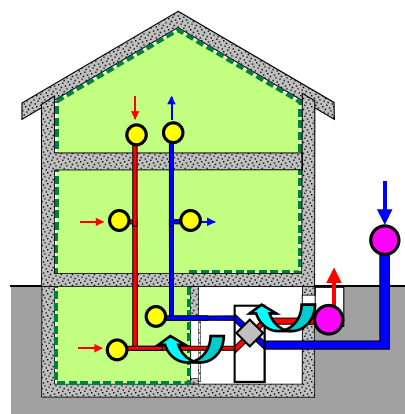





Figure 9: L'air peut passer par les fuites des gaines du système de ventilation, ce qui conduit à des valeurs de fuite de l'enveloppe trop élevées pour la zone de référence (en vert).

 scellement externe  
 scellement interne  
 flux mesurés involontairement en raison des fuites des conduits

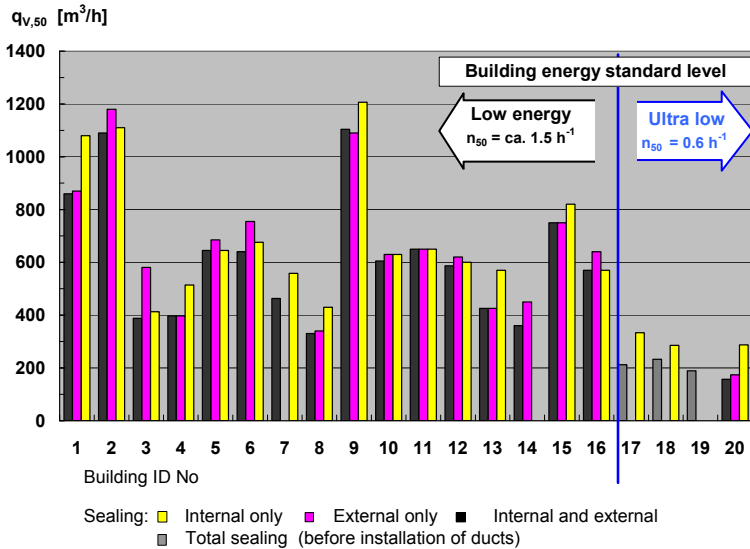


Figure 10 : Effets de différentes techniques de scellement du système de ventilation sur le résultat des mesures d'étanchéité à l'air dans différents bâtiments à relativement basse énergie (Norme suisse Minergie) et de bâtiments ultra basse énergie (selon la norme allemande Maison Passive), où les différences peuvent atteindre 50% de la valeur  $n_{50}$  !  
 Interne = scellement des entrées/ sorties dans les locaux uniquement.  
 Externe = obturation des prises/rejets d'air uniquement.

## 6.2 Mesures de la répartition des fuites

On peut quantifier les fuites des différentes parties d'un bâtiment en appliquant des techniques de cloisonnement, où un ou plusieurs ventilateurs sont utilisés pour équilibrer la pression entre les limites (parois) qui ne doivent pas être mesurées et un ventilateur est utilisé pour créer la différence de pression sur l'élément de façade à mesurer, voir [Réf. 5].

froids provoqués par l'entrée d'air froid extérieur et masquent les surfaces froides provoquées par les ponts thermiques (Figure 14).

On peut également détecter les fuites d'air par thermographie, sans pressurisation, en scannant le bâtiment en hiver par l'extérieur pour détecter les points chauds provoqués par l'air chaud s'échappant du bâtiment (le plus souvent dans la partie haute du bâtiment en raison du tirage thermique) (Figure 15 et 16).

## 7 Comment localiser les fuites d'air ?

L'essai de pressurisation n'indique pas l'emplacement des fuites. Pour trouver les principales fuites ou les endroits critiques (p.ex. les fenêtres, la jonction toiture/murs, les pénétrations des conduites, etc.) on peut utiliser différentes méthodes, p.ex. la détection par la fumée, l'anémomètre ou la sensation sur la main pendant la dépressurisation par ventilateur [Réf. 6].

La manière la plus prometteuse de détecter et de visualiser les fuites est la thermographie infrarouge (IR). Cette méthode repose sur un essai de dépressurisation par ventilateur en hiver. L'air froid venant de l'intérieur dans la pièce en passant par les fuites refroidit la surface intérieure chaude à proximité des fuites. On peut observer cela avec une caméra IR (Figure 11 à 13). Les images différentielles entre la situation avec et sans dépressurisation par ventilateur montrent uniquement les points



Figure 11: Vue normale de la pièce.

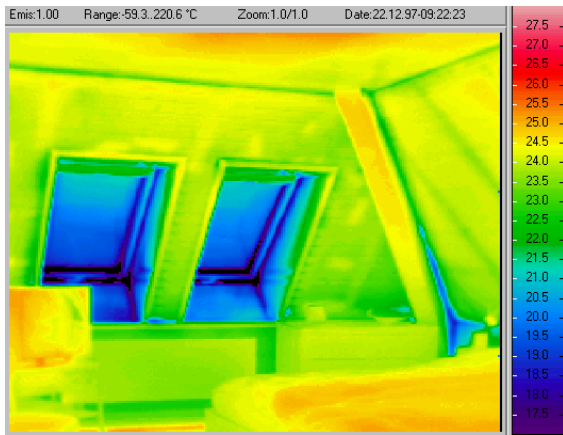


Figure 12: Image IR d'une pièce mansardée, sans dépressurisation. Les fenêtres et les coins sont plutôt froids (couleur bleue), comme c'est normalement le cas.

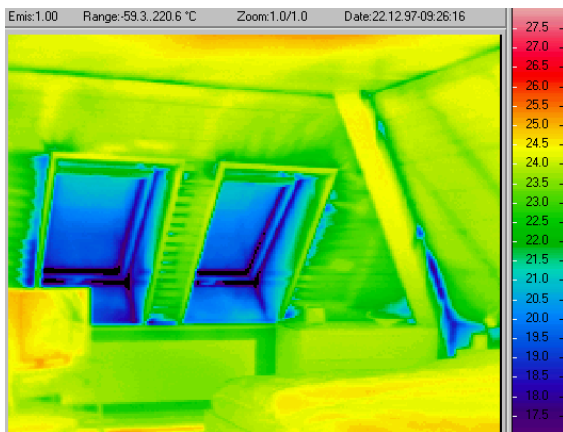


Figure 13: La même image IR que la figure 12, mais maintenant avec dépressurisation. Après quelques minutes, l'air froid s'infiltré à travers les différentes fuites.

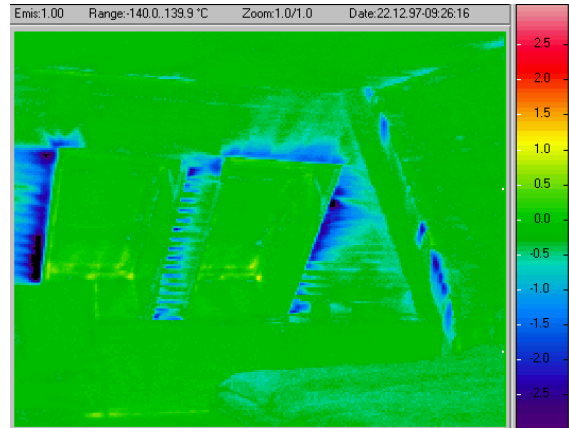


Figure 14: Image différentielle des photos 12 et 13. On voit ici clairement les surfaces refroidies par l'air entrant par les fuites

Conclusion: Les jonctions entre les châssis de fenêtre et la toiture présente des fuites importantes. Les joints des fenêtres mêmes sont étanches à l'air. On peut observer des fuites supplémentaires dans la zone des chevrons dans le coin. Les pans de toiture sont étanches.

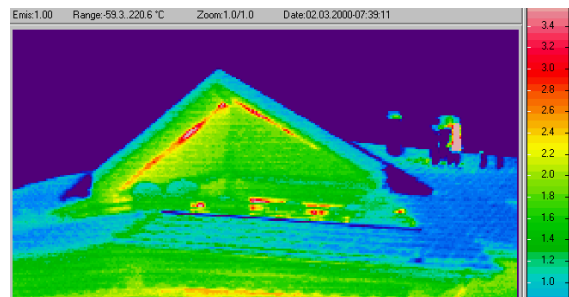


Figure 15: Cette image thermographique externe montre une exfiltration d'air chaud due au tirage thermique à hauteur du raccord toiture – mur.



Figure 16: L'air chaud et humide s'exfiltrant de la pièce se condense sur les panneaux de toiture et décolore clairement le bois.

## 8 Principes pour des bâtiments étanches à l'air

Les murs en blocs de béton enduits, les plaques de plâtre ou de métal ou panneaux de verre sont généralement étanches à l'air. Les raccords des éléments du bâtiment, les pénétrations (chevrons, conduites, gaines) ou les fissures et les joints (fenêtres, portes) sont des localisations potentielles de fuites. Les bâtiments à structure en bois spécialement comportent de nombreux endroits critiques. Une toiture en pente surmontant une structure en dur est également une structure en bois. C'est pourquoi l'étanchéité à l'air est aussi un point important pour ce type de bâtiment.

Pour les constructions à structure en bois, l'étanchéité à l'air peut être assurée par une pose correcte de la feuille pare-vent. Dans certains pays, les fonctions pare-vent et pare-vapeur sont combinées en une seule feuille. Les feuilles doivent être durablement collées au droit des recouvrements. En outre, les raccords avec les éléments adjacents (p.ex. murs, pénétrations) doivent être scellés par des bandes adhésives spéciales.

On ne peut obtenir une enveloppe de bâtiment étanche à l'air, conforme aux normes actuelles que si l'étanchéité à l'air a fait l'objet d'une planification conceptuelle et respecte les principes spécifiques de conception. Ceux-ci sont en général: plus la géométrie et la surface à rendre étanche à l'air sont simples (pas de pénétrations), plus facile est la mise en œuvre et plus petit est le risque de fuite. Ceci inclut certainement le choix correct des matériaux et un travail de qualité, à contrôler de manière systématique pendant toutes les phases de la construction, voir aussi la référence [7].

En Europe centrale et du Nord, pour les bâtiments basse énergie, l'essai de pressurisation fait de plus en plus souvent partie de la procédure de réception.

## 9 Données disponibles sur l'étanchéité à l'air

La base de données de l'AIVC comprend des données sur plus de 2000 maisons unifamiliales et immeubles d'appartements [Ref. 8]. La base de données LBNL Residential Diagnostics [Ref. 9] est une importante base de données sur les habitations unifamiliales. Un aperçu complet de tous les aspects de l'étanchéité à l'air, y compris les sources d'information disponibles, également sur les bâtiments non résidentiels, est présenté au chapitre 10.



## 10 Références et littérature

- [1] AIVC TN 55. A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria. 2001
- [2] EN 13829 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified)
- [3] ASTM, Standard E1827-96, “Standard Test Methods for Determining Airtight-ness of Buildings Using an Orifice Blower Door”. 2002
- [4] FLiB Amendment to DIN EN 13829-2. Issue 10 (in German). Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen. 2002 (<http://www.flib.de>)
- [5] AIVC TN 34: Air Flow Patterns within Buildings - Measurement Techniques. 1991
- [6] ASTM, Standard E1186-98, “Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Retrader Systems”. 1998.
- [7] prEN 14134 Performance testing and installation checks of residential ventilation systems
- [8] AIVC Guide 5, Ventilation Modelling Data Guide. 2002
- [9] Chan R. et al. Analysis of the U.S. Residential Houses Air Leakage Database. Lawrence Berkeley National Laboratory Report 53367. 2003
- [10] Sherman M H, Chan R. Building Airtightness: Research and Practice. Lawrence Berkeley National Laboratory Report 53356. 2004.
- [11] ASHRAE Standard 119, “Air Leakage Performance for Detached Single-Family Residential Buildings”. 1988.



Page vierge

Version originale en anglais

Traduction française financée par le Service Public de Wallonie DGO4  et par le CSTC   
(Belgique)

---

Le **Centre de la Ventilation et des Infiltrations d’Air** est régi par l'annexe V du décret d'exécution de l'ECBCS de l'**Agence Internationale de l’Energie**. L'AIVC a pour principal objectif de fournir un forum technique et d'information international de grande qualité dans le domaine de la ventilation et de l'infiltration d'air dans les environnements bâtis portant sur l'efficacité énergétique, la qualité de l'air intérieur et le confort thermique. Cette initiative a pour principale motivation de répondre aux préoccupations nationales et internationales dans le domaine du développement durable, des changements climatique et de la salubrité des bâtiments.

L'**Air Infiltration and Ventilation Centre** est subventionné par les sept pays suivants : la Belgique, la République Tchèque, la France, la Grèce, les Pays-Bas, la Norvège et les États-Unis d'Amérique.