

Impact de l'étanchéité à l'air pour des constructions massives, construites à grande échelle

Ing. B. VAN PUymbroEck
Ir AM. JANSSEN
GRAMME – Liège

L'étanchéité à l'air est une notion bien connue mais difficilement maîtrisable. Si elle est de plus en plus prise en compte dans l'exécution des bâtiments privés, qu'en est-il des constructions à grande échelle où le potentiel énorme est encore à exploiter? Cet article donne un aperçu de la faisabilité de l'étanchéité à l'air dans le cas de constructions en matériaux massifs.

Mots-clefs : étanchéité à l'air, condensation, Blowerdoor test, continuité de l'enveloppe, impact financier.

Air tightness is a well-known concept but difficult to control. If it is increasingly present and controlled at considerable cost in residential constructions, what about building large scale constructions where the huge potential is still to exploit ? This article provides an overview of the feasibility of air-tightness in the case of massive materials buildings.

Keywords : Air tightness, condensation, Blowerdoor Test, continuity of the envelope, the financial impact.

1. Introduction

La prise de conscience de la raréfaction progressive de nos ressources premières énergétiques et de la dégradation progressive du biotope terrestre nous conduit à revoir notre manière d'utiliser ces ressources énergétiques et les pollutions qui en découlent. Ainsi, dans le domaine de la construction, une page est en train de s'écrire faisant place à un nouveau mode de construction : la prise en compte de la (haute) performance énergétique est une problématique dont les ingénieurs de bureaux d'études doivent se soucier, au même titre que la stabilité ou la qualité d'air intérieur.

En effet, les économies d'énergie ne peuvent se faire au détriment de la qualité de l'air intérieur. En isolant fortement un bâtiment pour éviter les échanges thermiques au travers des parois, le risque est grand d'obtenir un espace « thermo » pour lequel un manque d'apport d'air frais et l'extraction d'air vicié peuvent entraîner bon nombre de miasmes impropres à toute vie saine.

Mais cette aération contrôlée ne peut avoir lieu que si toutes les fuites d'air au travers des parois sont maîtrisées : il s'agit de l'étanchéité à l'air.

De plus, lorsqu'un bâtiment est peu étanche à l'air, le vent n'éprouve guère de difficulté à le traverser en empruntant à sa guise les fuites et les fentes qui s'offrent à lui. En hiver, de l'air froid peut s'infiltrer directement au cœur du bâtiment causant refroidissements et courants d'air. Ainsi traversée ou contournée par l'air, l'isolation thermique ne peut plus s'opposer à la fuite des calories et perd une grande partie de son efficacité. Une isolation thermique performante ne peut donc être garantie sans une étanchéité à l'air suffisante.

On forme de cette façon un trio indissociable, agissant l'un sur l'autre : isolation thermique, étanchéité à l'air et ventilation contrôlée.

Dans le cadre de cet article, nous nous attachons à évaluer plus particulièrement la question de l'étanchéité à l'air, et sa bonne exécution dans le cadre de bâtiment en structure massive.

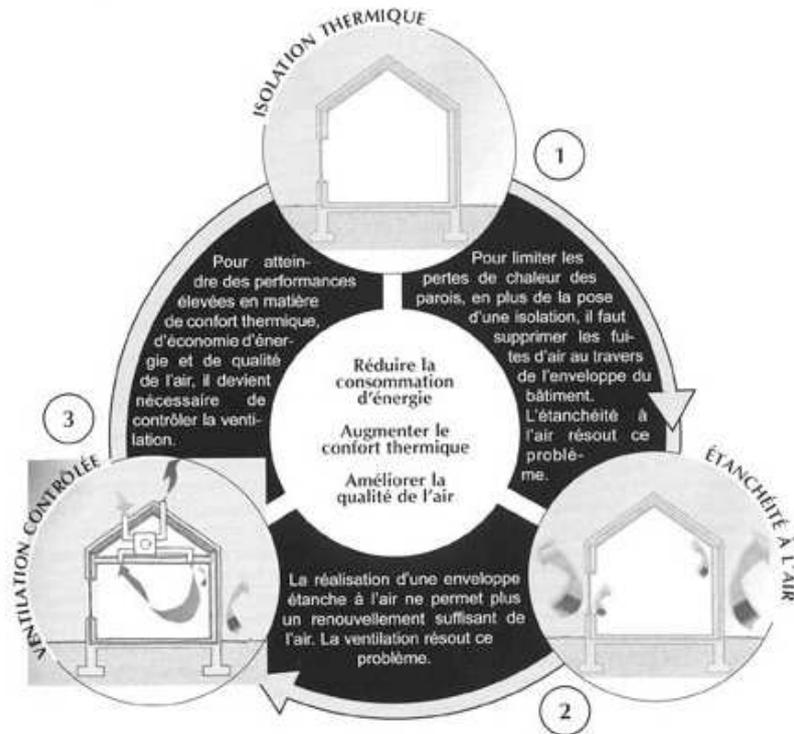


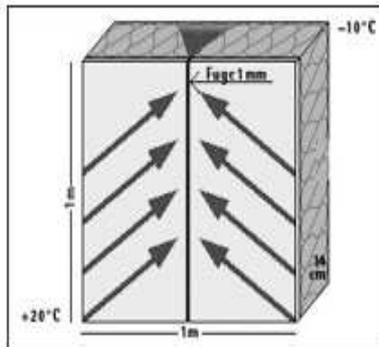
Figure 1 : Liens entre isolation thermique, étanchéité à l'air et ventilation contrôlée [8]

2. Notion d'étanchéité à l'air

Les fuites peuvent se situer aux endroits les plus divers. Sont principalement visés : tous les raccords avec les parois, le toit et les planchers, mais aussi les passages des tuyaux d'égout, d'eau chaude, de ventilation et des câbles électriques, ainsi que les ouvertures vers l'extérieur (portes, fenêtres, évacuation de l'air vicié etc.).

Mais les fuites peuvent être même présentes via les matériaux en eux-mêmes : les isolants thermiques, tels que la cellulose ou la laine minérale, ne sont pas du tout hermétiques, l'air y circule même facilement dans certains cas, créant des courants de convection qui nuisent au bilan énergétique global du bâtiment.

On observe en effet en condition d'hivers, une perte du niveau d'isolation (valeur k) de $1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ en cas de passage d'air au travers d'une fente de 1mm d'un isolant.

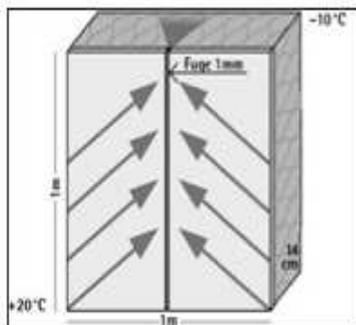


Valeur k en cas de freine-vapeur sans fente : **$0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$**
 Valeur k en cas de fente d'une largeur de 1 mm : **$1,44 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Conditions de mesure :
 Température intérieure : $+20^\circ\text{C}$
 Température extérieure : -10°C
 Différence de pression : 20Pa
 (f = force du vent de 2 à 3 degrés Beaufort)

Figure 2 : Mesures de la perte d'isolation en cas de fente dans un complexe de parois [5]

En outre, par jour d'hiver normal, la fente existant dans le système frein vapeur (voir description ci-dessous) laisse pénétrer dans la construction 800g d'humidité par mètre de longueur de fente, occasionnant un risque de condensation ou de point de rosée dû à la pénétration d'humidité ambiante.



Flux de convection par jour et par fente:
 800g par mètre de longueur de fente

Conditions de mesure :
 Température intérieure : $+20^\circ\text{C}$
 Température extérieure : -10°C
 Différence de pression : 20Pa
 (f = force du vent de 2 à 3 degrés Beaufort)

Figure 3 : Mesures de flux de convection par jour et par fente [5]

En hiver, l'air ambiant chaud ($+20^\circ\text{C}$) avec un taux d'humidité relatif de 50% se refroidit à mesure qu'il pénètre dans la structure de l'isolation thermique. La température du point de rosée se situe alors à $9,2^\circ\text{C}$. Si la température passe en dessous du point de rosée, il y a formation de

condensation (vérification nécessaire par le diagramme de Glaser). En cas de refroidissement à -10°C , $6,55\text{g}$ d'humidité se condensent par m^3 de passage d'air (fig. 4). Ces conditions humides sont évidemment une source de dégradation de l'isolant (valeur λ_d moins favorable que λ).

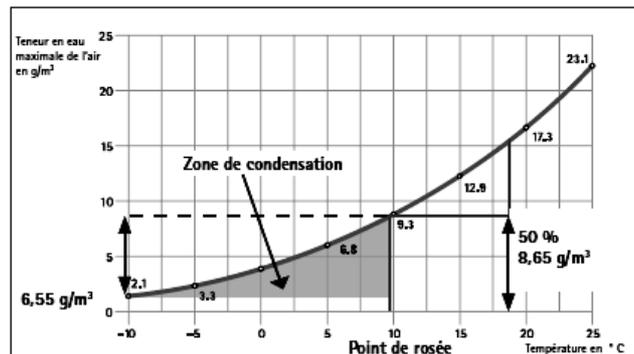


Figure 4 : Zone de condensation [11]

Enfin, en condition d'été, le passage d'air chaud au travers de l'isolant peut occasionner des surchauffes intérieures.

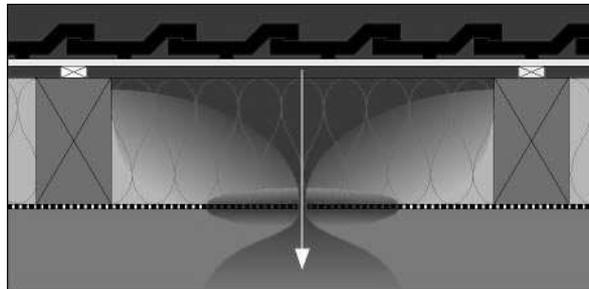


Figure 5 : Pénétration de chaleur au travers d'un isolant en condition d'été [7]

On observe dès lors que les valeurs d'échanges hygrothermiques sont dès lors loin d'être négligeables au travers des complexes de parois.

Pour éviter les fuites, le principe est simple en théorie : il suffit de garantir une enveloppe hermétique par une mise en œuvre soignée. Dans un projet en maçonnerie pleine, cela se traduit par exemple par un plafonnage continu et des raccords minutieux aux fenêtres.

Dans le cadre de cette étude, nous nous attachons plus particulièrement à étudier le cas d'une construction massive, limitant déjà les raccords entre matériaux.

Il est à noter que la mesure de l'étanchéité à l'air est régie par la norme NBN EN 13829, préconisant de tester, après exécution des travaux, sous deux configurations : en dépression (pour tracer de l'intérieur les éventuelles fuites) et en surpression (traçage des fuites par fumée), via un test appelé « Blowerdoor ».

Pour l'exécuter, un ventilateur réglable est calé de façon hermétique dans une ouverture du bâtiment et crée une différence de pression entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur, toutes les portes et fenêtres étant fermées.



Figure 6 : Application du Blowerdoor Test [9]

On fait ensuite plusieurs mesures de débit d'air en notant les valeurs nécessaires pour maintenir constantes une série de différences de pressions. Ce débit d'air correspond exactement au volume d'air qui s'échappe alors par les trous dans l'enveloppe du bâtiment.

Le rapport entre le débit d'air établi à une différence de pression de 50 Pascal (calculé par interpolation des mesures) et le volume de la pièce donne l'indice de renouvellement d'air n50. Cette valeur représente le nombre de renouvellement total du volume d'air de la pièce en une heure, pour une différence de pression de 50 Pa. Pour une maison passive, on ne doit pas dépasser un renouvellement d'air de 0,6 par heure.

Nous étudions dès lors ci-après quels sont les réels impacts de cette étanchéité à l'air sur l'exécution des bâtiments considérés.

L'étude réalisée permet d'en donner une idée en décortiquant l'ensemble des zones sensibles où l'étanchéité à l'air doit être présent afin d'atteindre l'objectif requis.

Pour les questions de conception de l'enveloppe, on se référera à la NIT 192 du CSTC « La ventilation des habitations – 1^{ère} partie : principes généraux ». Première parution en juin 1994.

3. Description des bâtiments étudiés

Cette étude a été menée dans le cadre d'une construction de 200 appartements à basse consommation d'énergie. Cet ouvrage, intitulé projet Bruyn Nord, se situe à Bruxelles.



Figure 7 : Vue en 3D du projet Bruyn Nord [1]

Les architectes auteurs de projet ont de leur côté établi les plans et le cahier des charges, spécifiant des exigences de performance à atteindre, assez sévères au niveau de l'étanchéité à l'air : taux de renouvellement de l'air inférieur à 1 volume/heure sous une différence de 50 Pa. Plusieurs mesures spécifiques sont prévues pour les zones à risques tel que les châssis.

A titre de comparaison, notons qu'une étude réalisée par la plate-forme Maison Passive sur des maisons récentes sans effort particulier, fait état d'une perméabilité à l'air moyenne de 9,5 volumes/h. Comme mentionné ci-dessus, le critère adopté pour les maisons passives est quant à lui de 0,6 volumes/h au maximum.

Dans le cas du projet Bruyn Nord, les murs porteurs sont en éléments silico-calcaire ou en béton. Ils ont la propriété d'être des matériaux à caractère massifs, homogènes. Leur mise en œuvre collée permet déjà d'obtenir un élément de parois verticales homogènes favorable à une bonne étanchéité à l'air. Il est donc évident que la conception de l'ouvrage y joue un rôle primordial.

L'entreprise désignée pour la réalisation des travaux est une association momentanée de Franki et de Willemen.

Cet ouvrage est par ailleurs une construction de logements à grande échelle. Les conséquences de l'étanchéité à l'air sur un logement se répercutent sur l'intégralité du projet, c'est-à-dire 200 logements. Il faut donc veiller à prendre les mesures adéquates afin d'éviter tout effet boule de neige lors de l'exécution. Les enjeux sont immenses.

L'étude passe par trois étapes d'analyses : localisation des fuites, solution technique d'étanchéité et évaluation de l'impact financier pour l'entreprise chargée de l'exécution des travaux.

4. Localisation des fuites et solutions

Les mesures ont été effectuées au sein d'un appartement situé au premier étage. La question de la toiture et du raccord au sol (maçonnerie enterrée) sort donc du cadre de l'étude. Nous nous attachons ici aux maçonneries de façade extérieure, aux raccords vis-à-vis des espaces communs en communication avec l'extérieur et du passage des canalisations techniques.

Chaque cas, qu'il soit anodin ou non, où la continuité de matériaux est interrompue, doit être pris en compte.

Les fuites peuvent se rencontrer aux endroits suivants.

4.1 Éléments de parois verticales

Nous avons vu précédemment que les matériaux en eux-mêmes pouvaient présenter une perméabilité à l'air. Afin de palier à cette carence, on veille à assurer un plafonnage continu. Le plafonnage présente en effet l'immense avantage d'être pour sa part très étanche au passage d'air, vu sa composition caverneuse et sa massivité. Le site « énergie+ », référence [13], mentionne les valeurs suivantes à ce sujet : un mur plafonné présente un taux de ventilation à 50 Pa de moins de $1\text{m}^3/\text{h.m}^2$. Le même mur en bloc de béton non plafonné donne des taux de ventilation à 50 Pa d'environ $10\text{m}^3/\text{h.m}^2$ (suivant la qualité du joint de ciment).

Il reste cependant des failles, principalement au passage des gaines techniques et au raccord mur/sol et mur/plafond. Il faut donc veiller à ce que l'exécution du mur soit soignée et complète sur l'entièreté de la surface.

4.2 Surcoût de plafonnage / raccord plafond et dalle

Mais l'ajout du plafonnage pour rendre étanche à l'air un mur n'est pas un coût supplémentaire puisqu'il est déjà prévu dans l'exécution (m^2 prévus lors de la soumission en surface nette). Cette solution est la moins onéreuse et la plus facile à appliquer. Or, souvent oubliés, les pieds de mur sont les lieux d'innombrables fuites. Bien sûr, on pourrait considérer que la chape comble ces ouvertures. Mais une chape n'est jamais étanche. De plus, dans notre cas, il s'agit d'une chape flottante, c'est-à-dire qu'elle n'est pas en contact direct avec le mur. Une natte de désolidarisation est placée entre la chape isolante et la chape et une remontée est prévue contre le mur afin de rendre la chape flottante. Un passage d'air est donc présent sur toute la périphérie de cette chape. Du fait de la perméabilité de la chape, le plafonnage du mur doit se réaliser jusqu'à la dalle de sol et ainsi s'assurer de reboucher toutes les ouvertures. C'est donc un supplément de plafonnage à réaliser, d'environ 10 cm de hauteur en pied de mur.

Cette attitude est également valable pour le cas des raccords / plafonds.

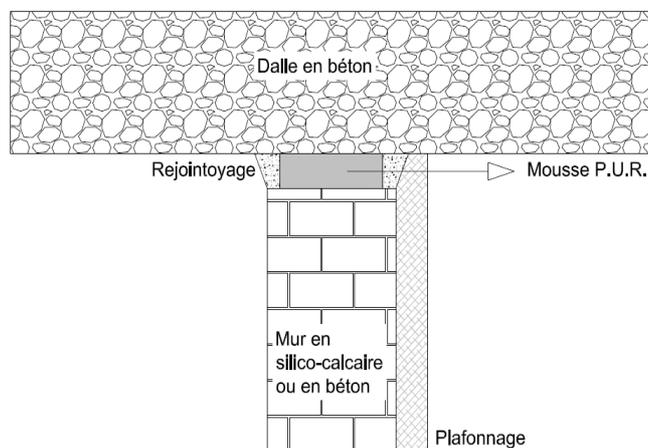


Figure 8 : Croquis de la solution étanche à l'air en tête de mur [14]

L'illustration ci-dessus montre la précaution à prendre au niveau des têtes de murs. La mousse polyuréthane (PUR) peut servir de support au plafonnage, quand la dalle supérieure n'est pas en contact direct avec la maçonnerie sous-jacente. La mousse est à remplacer par de la mousse résistance au feu (RF) lorsque le mur délimite un compartiment.

4.3 Raccord menuiserie

Toujours selon le site « énergie+ » [13], les déperditions au droit du raccord entre la menuiserie et la maçonnerie représentent en moyenne, 40% des pertes de l'ensemble des joints de la menuiserie.

Les fuites d'air peuvent en effet provenir du châssis en lui-même, mais aussi de la jonction entre le châssis et la maçonnerie. Les images obtenues par caméra thermique illustrent bien les origines des passages d'air (taches plus sombres).

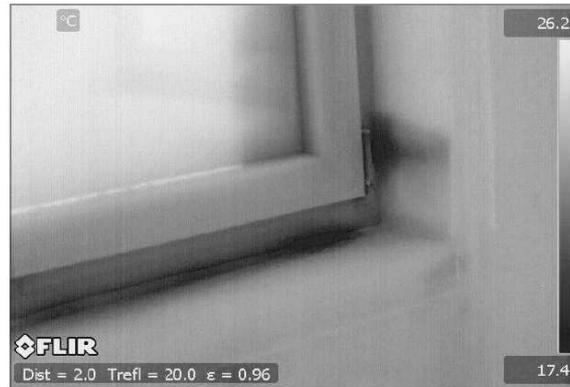


Figure 9 : Aperçu des fuites d'air à l'aide d'une caméra thermique [7]

Pour résoudre ce problème, l'apposition de membranes, type CONTEGA de chez ISOPROC (ou produit similaire), sur la périphérie du châssis permet un raccord aisé pour le plafonneur.



Figure 10 : Méthode d'application du plafonnage sur la membrane CONTEGA [14]

Cette solution est facile à appliquer et propose un niveau d'étanchéité à l'air performant. Le resserrage des châssis à la mousse de polyuréthane n'est en effet pas suffisant, comme nous l'avons vu précédemment, pour assurer une bonne étanchéité. Et un plafonnage mal réalisé en périphérie du châssis pourrait provoquer un passage d'air. Pire encore, à terme, le plafonnage se rétracte et des fissures apparaissent fréquemment entre le plafonnage et le châssis et sont donc le lieu de passage d'air. Grâce à ces membranes, on

s'assure donc bien de la continuité entre la maçonnerie et le châssis, y compris à long terme.

Pour le châssis en lui-même, il existe 4 classes définissant le niveau de performance de l'étanchéité à l'air. Dans le cas considéré, il est nécessaire d'obtenir un châssis de classe 4.

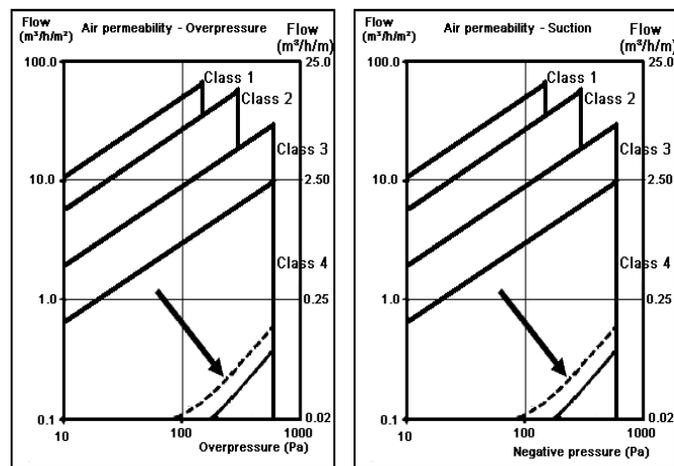


Figure 11 : Résultat du test d'infiltrométrie en pression et en dépression d'un châssis type du projet Bruyn Nord [9]

Afin de garantir ce résultat, les châssis en PVC de FABRIBOIS ont été testés en laboratoire, à la demande de SECO. On observe dans le graphe ci-dessous que les menuiseries mises en œuvre satisfont largement aux exigences requises.

Notons que le surcoût éventuel pour l'obtention d'un châssis de classe 4 (nécessitant donc une attention plus grande lors de l'usinage des frappes en atelier) n'est pas repris dans le récapitulatif repris ci-dessous.

4.4 Porte d'entrée

Pour atteindre l'exigence requise, les portes d'entrée peuvent être munies d'une frappe en bas du vantail et d'un seuil métallique. Cette solution est techniquement et financièrement acceptable mais son problème est sa longévité dans le temps. Le seuil métallique ancré dans le sol risque de se détériorer à chaque passage, et donc de perdre son rendement à terme.

L'autre solution possible est l'ajout d'un Kaltefeind, type de système avec joint guillotine.

4.5 Passage câblage électrique / canalisation de chauffage-sanitaire

Nous avons vu que tout percement ou carottage dans une paroi affaiblit le niveau d'étanchéité à l'air de cette paroi. Il est donc nécessaire de bien ajuster les équipements aux matériaux adjacents : en cas de percement dans des blocs silico-calcaires, un resserrage sera effectué au moyen de colle étanche à l'air (type ORCON de chez PRO-CLIMA). Les passages au travers de dalle en béton sont resserrés à la laitance de mortier.

5. BlowerDoor Test

Dans le cadre du test réalisé, la chape avait déjà été coulée, mais les techniques spéciales n'étaient pas encore achevées (placement de la hotte). L'exécution est réalisée en considération des jonctions comme décrites ci-dessus.

On observe, après identification de quelques fuites et réparations lors du test, un taux de renouvellement à l'air à 50 Pa de 0,35 volumes/h, ce qui est largement inférieur aux exigences du cahier des charges.



Figure 12 : Test d'infiltrométrie mené par ISOPROC [14]

6. Impact financier

Les travaux réalisés spécifiquement pour obtenir le niveau d'étanchéité à l'air prescrit sont les suivants : attention et complément de plafonnage en pied et tête de mur, resserrage des différents percements au moyen de résine étanche à l'air, membrane de raccord au niveau des châssis, du passage de la hotte et des gaines de ventilation et manchons sur les bouches de ventilation, ajout d'un Kaltefeind en pied de porte (châssis performant mais ce point est difficilement quantifiable).

Projet Bruyn Nord : Neder-Over-Heembeek				20 mai 2011
Projet de 200 logements à basse consommation d'énergie				
Récapitulatif de l'impact financier du à l'étanchéité à l'air				
description du surcoût	total du surcoût pour le projet	total du surcoût par appart	total du surcoût par m ² d'appart	Proportion par rapport au budget
L'ajout de membrane aux châssis	€ 21.751,47	€ 108,76	€ 1,13	0,06%
L'ajout du clapet motorisé pour la hotte	€ 40.000,00	€ 200,00	€ 2,07	0,12%
L'ajout du Kaltefeind pour la porte	€ 10.000,00	€ 50,00	€ 0,52	0,03%
L'ajout de colle au tubage électrique	€ 3.200,94	€ 16,00	€ 0,17	0,01%
L'ajout du plafonnage au-delà du faux-plafond	€ 3.496,57	€ 17,48	€ 0,18	0,01%
L'ajout du plafonnage jusqu'au pied de mur	€ 7.783,34	€ 38,92	€ 0,40	0,02%
TOTAL	€ 86.232,33	€ 431,16	€ 4,47	0,26%

Figure 13 : Répartition des coûts liés à l'étanchéité à l'air [14]

On observe que la part la plus importante du budget consacré à cette question provient d'équipement spécifique à placer sur les hottes (46% du budget supplémentaire spécifique), ou du kaltefeind en pied de porte d'entrée (12%). Or ces postes font l'objet d'une remise de prix spécifique dans le cadre de la soumission et n'entraîne donc pas de surcoût en cours de chantier. Les autres postes comprennent principalement de la main d'œuvre, une technique de mise en œuvre spécifique et du temps pour réviser toutes les fuites possible. Ces éléments ne sont pas identifiables en tant que tel dans un poste de soumission mais doivent être intégrés au prix unitaire de l'entreprise. On remarque cependant que l'impact en est presque négligeable : le plafonnage supplémentaire jusqu'au pied de mur représente 9% du budget supplémentaire spécifique, le resserrage du plafond, 4%, le

resserrage des percements, 4%, et l'ajout de membranes en périphérie des châssis 25%.

Par contre, toute intervention ultérieure, ou une mauvaise méthodologie de travail pourrait occasionner un effet en cascade pour ce type de travaux modulaires à grande échelle.

Notons que cet article n'aborde pas le temps consacré au suivi de chantier de la part du conducteur, afin de vérifier la bonne exécution des travaux.

7. Conclusion

Le choix du matériau de construction en lui-même peut améliorer le niveau d'étanchéité à l'air d'un bâtiment : dans le cas de constructions massives étudiées ici, vu le caractère homogène et continu du support, le plafonnage permet de rendre l'enveloppe étanche à l'air. Il faut veiller à ce que celui-ci soit soigné et qu'il permette la continuité entre les différents matériaux et plans de surface. L'ajout de matériaux, tels que des membranes en abondance, n'est pas nécessaire mais peut par contre s'avérer indispensable aux raccords de matériaux ayant des modes de dilatation différent (châssis / maçonnerie).

Mais le recours à des matériaux massifs a surtout un impact sur l'aspect financier global du chantier. L'utilisation de plafonnage est peu coûteuse et est financièrement beaucoup plus intéressante que l'emploi de matériaux légers nécessitant l'usage de nombreuses membranes onéreuses. La proportion chiffrable de l'impact financier de l'étanchéité à l'air dans le cas étudié ici représente *0,26 % du budget* total du projet dont un quart se retrouve dans le poste des châssis.

Mais cette valeur peut s'accroître exponentiellement en cas de mauvais résultats nécessitant une intervention à posteriori et, surtout, dans la construction de logements à grande échelle. Le combat le plus difficile lors de l'exécution dès lors est d'essayer de faire passer le message sur l'utilité de toutes ces attentions et de changer les mentalités qui reposent sur les expériences acquises depuis plusieurs années.

Car on l'aura compris : une bonne étanchéité n'est possible principalement qu'au prix d'une mise en œuvre extrêmement rigoureuse, mais n'occasionne

pas de coût de construction significativement plus important. Par contre le coût d'utilisation (et d'entretien) est largement diminué en cas de bonne étanchéité à l'air, vu les bonnes performances hygro-thermiques des parois.

8. Sources

- [1] ALTIPLAN ARCHITECTS, *Plans du projet Bruyn Nord*
Bruxelles, 2009.
- [2] CSTC, *Recherche sur l'étanchéité à l'air*
Adresse URL : <http://www.cstc.be/homepage/index.cfm>
- [3] DI PIETRANTONIO M. *et al.*, *L'étanchéité à l'air des bâtiments tertiaires neufs et existants : un élément à ne pas négliger!*
Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2011.
- [4] GALLAUZIAUX T., FEDULLO D., *Le grand livre de l'isolation*
1ère édition, Eyrolles, 2009.
- [5] INSTITUT ALLEMAND DE PHYSIQUE DU BATIMENT
Stuttgart, source DBZ12/89, p.1639.
- [6] INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, NBN EN 13829, *Performance thermique des bâtiments - Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments - Méthode de pressurisation par ventilateur*
Bruxelles, IBN, 2001.
- [7] ISOPROC, *Isoler pour demain*
Adresse URL : http://www.isoproc.be/FR/isoproc_isolation.php
- [8] LA MAISON PASSIVE
Adresse URL : <http://www.lamaisonpassive.be/accueil>
- [9] PASSIEFHUIS-PLATFORM
Adresse URL : www.Passiefhuisplatform.be
- [10] PORTAIL DE LA WALLONIE
Adresse URL : <http://www.wallonie.be/fr/index.html>
- [11] PROCLIMA
Adresse URL : http://be.proclima.com/co/BE/fr/belgium_fr_start.html
- [12] TROUILLET P., *L'étanchéité à l'air dans le bâtiment*
Lyon, École Nationale Supérieure d'Architecture, 2008.
- [13] UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Adresse URL : <http://www.energieplus-lesite.be/>

- [14] VAN PUymbroEck Benoît, *Etude de l'impact de l'étanchéité à l'air pour des logements massifs, construits à grande échelle*
Liège, Institut Gramme, mémoire inédit, 2011.
- [15] VILLE DE BRUXELLES, *Projet "Bruyn Nord": 200 logements*
Adresse URL : <http://www.bruxelles.be/artdet.cfm?id=6323>