



## Les déperditions thermiques

### A) Dans les parois

Selon les Lutins, la différence entre les déperditions thermiques d'une habitation construite par un architecte incompetent avec des matériaux constitués uniquement de béton et de vitrage simple, eut-il le meilleur goût, et une habitation respectant les nouvelles normes environnementales pour les habitations neuves est considérable. La première peut entraîner une consommation annuelle de fioul voisine de 60 litres/m<sup>2</sup> (correspondant à 600 kWh par m<sup>2</sup> habitable) alors que les déperditions thermiques de la seconde comprenant une isolation particulièrement performante respectant la *réglementation thermique* RT 2012 entraînera une consommation annuelle limitée à 5 litres de fioul /m<sup>2</sup>. La conception d'un immeuble neuf, respectant des normes environnementales aussi sévères est naturellement totalement différente de celle d'un immeuble ancien et est fonction de la conductivité des parois.

| Matière   | Conductivité $\lambda$ des parois <sup>1)</sup><br>watt/m et °C (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Flux thermique traversant les parois<br>Coefficient déperdition $\zeta$ watt/m <sup>2</sup> °C |
|---|---|--|
| <i>Parois transparentes</i>                     |   |  |
| Air   | 0,024   | Voir formule $\zeta = \lambda / e$   |
| Verre   | 0,023 ?   | Vitrage simple e= 4mm 5,7  |
|   |   | Double vitrage 4x15x4 : 1 à 1,4 selon gaz (Argon)  |
| Le vide   | Zéro  | Théoriquement nul  |
| <i>Parois opaques</i>                           |   |  |
| Béton plein                                     | 2   | 10 (pour 20 cm d'épaisseur)  |
| Béton cellulaire <sup>2)</sup>                  | 0,09  | 0,45 (pour 20 cm d'épaisseur)  |
| Monomur brique <sup>2)</sup>                    | 0,12  | Argile + laine de roche  |
| Polystyrène                                     | 0,036 à 0,058 (selon type)  | Valeur moyenne 0,88 (pour e = 5 cm )   |
| Polyuréthane                                    | 0,035   | Valeur moyenne 0,44 (pour 8 cm d'épaisseur)  |
| Panneaux isolants sous vide (PIV) <sup>3)</sup> | 0,005   | Environ 0,2<br>(Pour une épaisseur de 3 cm)  |
| Laine de verre                                  | 0,034 à 0,056 (selon type)  | 0,225 (pour 20 cm d'épaisseur)   |
| Bois  | 0,2   | 0,225  |
| PVC   | 0,17  |  |
| <i>Métal</i>                                    |   |  |
| Aluminium                                       | 230   | Une rupture du pont thermique est indispensable avec les fenêtres coulissantes en aluminium    |
| Cuivre  | 386   | Très important   |
| Acier   | 50  | Important  |

<sup>1)</sup> Sous-entendu pour 1m d'épaisseur et pour une unité de surface du système SI soit 1m<sup>2</sup>. L'épaisseur de l'isolant est, on le remarque, déterminant en ce qui concerne ses capacités d'isolation. Il convient toutefois d'être prudent à ce sujet avec certains isolants dits « minces » tels par exemple le PIV (zone ombré) et même le verre en simple vitrage

<sup>2)</sup> Les murs constitués de béton cellulaire ou de briques en argile+laine de roche (Wienerberger) ont des déperditions 4 fois inférieures au niveau requis par la RT 2012 et sont conçus pour traiter les ponts thermiques aux planchers dans le neuf (Voir **cas 3** page 150). Un mur en béton cellulaire de 20 cm d'épaisseur perd environ 20 fois moins d'énergie comparativement à un mur en béton banché conventionnel de la même épaisseur !

## Les Lutins thermiques et:

Pour déterminer la puissance instantanée traversant la paroi en watts la formule suivante s'applique :

$$P = S \zeta d\theta \text{ avec :}$$

**S** Surface de la paroi en  $m^2$

**$\zeta$**  Coefficient  $\zeta$  de déperdition de la paroi en  $watt/m^2 \text{ et } ^\circ C$

**$d\theta$**  Différence de température de part et d'autre de la paroi  $^\circ C$

On parle aussi, particulièrement pour les parois opaques, de résistance thermique

La résistance thermique **R** n'est autre que l'inverse de  **$\zeta$**

On a  **$R = 1/\zeta$**  de la paroi et s'exprime en  $m^2 \text{ et } ^\circ C/watt$

Si l'on met deux couches isolantes de résistance  **$R_1$**  et  **$R_2$**  l'une sur l'autre la résistance de l'ensemble est égale  **$R_1 + R_2$** . Par exemple :

- Si l'on fait une isolation ITI et ITE avec des isolants ayant le même coefficient de déperdition  **$\zeta$**  égale à 0,8 on a une résistance globale double  **$R = 1/0,8 + 1/0,8 = 2,5$**  soit un nouveau coefficient de déperdition globale  **$\zeta = 1/R = 0,4 \text{ watt}/m^2 \text{ et } ^\circ C$**  et l'on perd deux fois moins d'énergie.

Une mauvaise interprétation des deux coefficients  **$\lambda$**  et  **$\zeta$**  entraîne parfois des erreurs dans le calcul des pertes thermiques dans les parois. Il est possible de trouver  **$\zeta$**  connaissant  **$\lambda$**  on a en effet  **$\zeta = \lambda/e$**  ou  **$R = e/\lambda$**   **$e$**  étant l'épaisseur de l'isolant.

*Exemple 1* 20 cm de béton  **$\zeta_b = 2/0,2 = 10 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

*Exemple 2* 20 cm de laine de verre  **$\zeta_v = 0,045/0,2 = 0,225 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

- Si l'on recouvre un mur en béton plein de 20 cm d'épaisseur d'une vêtue en laine de verre de la même épaisseur c'est perdre environ 40 fois moins d'énergie.

*Exemple 3\** 4 mm de verre  **$\zeta = 0,023/0,004 = 5,7 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

*Exemple 4* 5 cm de Polystyrène  **$\zeta_p = 0,04/0,05 = 0,8 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

en d'autre terme le béton conventionnel est une passoire

*Exemple 5* 40 cm de Béton cellulaire  **$\zeta_{bc} = 0,09/0,4 = 0,225 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

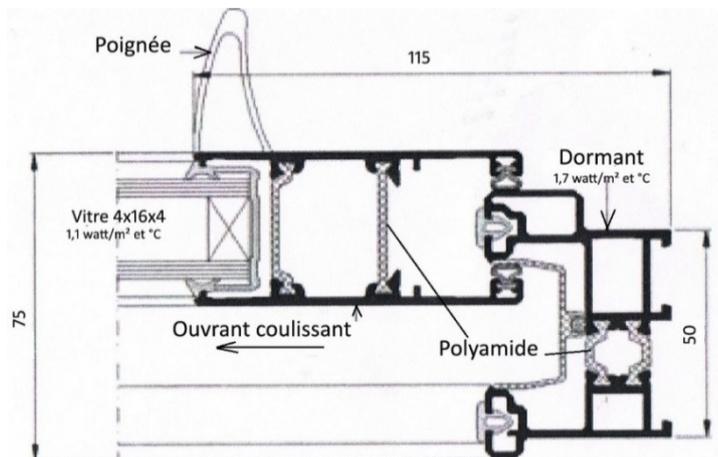
*Exemple 6* 3 cm de Panneau PIV  **$\zeta_{piv} = 0,005/0,03 = 0,17 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

Soit environ 10 fois moins qu'un double vitrage

*Exemple 7* 1 cm d'aluminium  **$\zeta_b = 230/0,01 = 23000 \text{ watt}/m^2 \text{ } ^\circ C$**

La grande conductibilité thermique des métaux et en particulier de l'aluminium présente des inconvénients pour les ouvertures vitrées mais est au contraire intéressante dans la mesure où elle permettra d'augmenter la température de l'eau à la source froide de la PAC aquathermique dans les futurs réseaux de tuyauteries qui circuleront dans les égouts.

*Exemple de fenêtre coulissante en aluminium (Pièces noirs) : Les pièces hachurées sont en polyamide ou en PVC insérées dans le dormant et l'ouvrant de la fenêtre. L'absence de rupture de pont thermique constitué par ces pièces hachurées augmente considérablement les déperditions thermiques. Même avec ces protections la valeur de  $U_g$  du dormant est proche de  $1,7 \text{ watt}/m^2 \text{ et } ^\circ C$  contre  $1,1 \text{ watt}/m^2 \text{ et } ^\circ C$  pour la vitre double vitrage avec argon.*



## Les Lutins thermiques et:

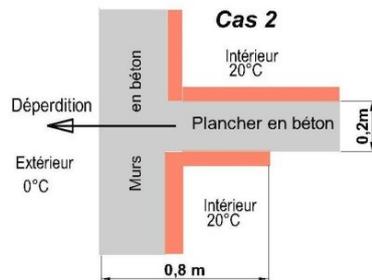
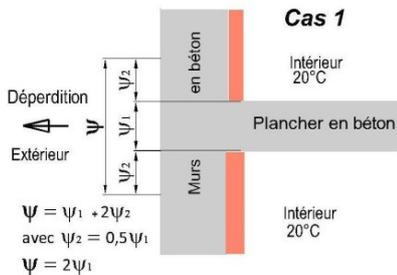
Autre exemple d'une fenêtre triple vitrage de 0,8 m<sup>2</sup> en PVC de construction allemande, ayant un Ug de 0,7 watt/m<sup>2</sup> et °C pour un prix de vente voisin de 300 €/m<sup>2</sup>



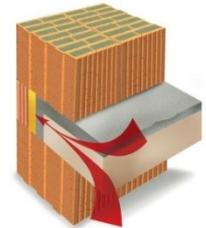
### B) Dans les ponts thermiques



Une isolation par l'intérieur rend difficile la réduction des déperditions thermiques au niveau des planchers en béton. Outre le fait qu'elle limite la surface habitable, elle est contraignante par le fait que l'occupant doit quitter son logement pendant la rénovation thermique.



### Cas 3 dans le neuf



### Ponts thermiques avec isolation par l'intérieur

- **Cas 1 Murs seuls.** On conçoit en observant la figure de gauche qu'avec ce type d'isolation les déperditions peuvent être deux à trois fois plus importantes lorsque le plancher en béton assure la fonction chauffage par le sol. Ceci par le fait que la température du plancher est alors sensiblement à 40°C alors qu'avec les radiateurs hydrauliques, il se stabilise à la température de la pièce soit 20°C une fois le régime établi (Voir page 434). Un calcul simplifié des déperditions par mètre linéaire de ponts thermique a été effectué page 434 dans le cadre du « cas pratique ». Ceci pour se substituer faute de moyens au calcul complexe des déperditions par la méthode aux éléments finis. Ce calcul met en évidence une déperdition voisine de 40 watt par mètre linéaire dans le cas des radiateurs pour 0°C exter ( $\Delta T = 20^\circ C$ ) pouvant dépasser 100 watt par mètre linéaire dans le cas des planchers chauffants et un  $\Delta T$  deux à trois fois plus important. Plus généralement le coefficient de déperdition linéaire  $\Psi$  au niveau des planchers chauffants peut atteindre 6 watt/ml et °C au lieu de 2, voire même dépasser cette valeur dans les zones climatiques les plus défavorisées (Voir page 283 avec un  $\Delta T$  moyen  $T_i - T_e$  pouvant atteindre 17°C).

- **Cas 2 Murs avec sol et plafonds.** Il est possible de réduire les déperditions en prolongeant l'isolation sur les parties horizontales. Les déperditions s'effectuant alors sur une épaisseur de 80 cm de béton, le  $\zeta_b$  passe à  $2/0,8 = 2,5$  watt/m<sup>2</sup> °C soit pour une épaisseur de plancher de 20 cm une déperdition au mètre linéaire de  $0,2 \times 2,5 = 0,5$  watt/ml et °C nettement plus faible mais ceci au détriment du volume respirable et d'une esthétique discutable au plafond. Cette solution assez contraignante pour l'occupant qui doit quitter temporairement son logement permet de rendre les immeubles moins énergivores lorsque les façades comprennent des balcons. Ces deux exemples prouvent si besoin en était l'avantage d'une isolation par l'extérieur. Photo courtesy CFP

### L'isolation et le ROI

La difficulté dans l'isolation d'un bâtiment est d'obtenir un ROI acceptable. Devoir investir 2 € dans l'isolation pour économiser par la suite un kWh annuellement dans la pose d'un isolant avec un prix de revient de l'énergie primaire à 0,1 €/kWh conduit à un temps de retour économique hors aide fiscale de 20 ans soit environ 10 ans avec une aide fiscale de 50 %. Si le Maître d'ouvrage en accord avec le syndicat des copropriétaires juge qu'un tel retour économique est trop long, il peut légitimement juger qu'il est plus intéressant de limiter l'investissement à la modernisation de la chaufferie. On bénéficie dans ce cas de l'amélioration du rendement de la chaufferie diminuant le prix de revient du kWh thermique (Chaudières nouvelle génération équipées de la condensation ou mieux d'une génération d'EnR). Une aide fiscale pouvant atteindre 50 % de l'investissement peut aussi dans ce dernier cas réduire significativement le temps de retour économique.

### Exemples

Calcul de retour économique en région parisienne DJU = 2200 °C avec période de chauffe de 220 j

#### Cas d'une Paroi opaque

##### Cas 1 Isolation par l'intérieur (ITI)

Avec pose d'un panneau isolant sous vide (PIV voir <sup>3)</sup> page 137) sur un mur en béton de 20cm non isolé ( $\zeta = 10 \text{ watt/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$ )

Pour un bâtiment en région parisienne ayant un DJU favorable de 2200 °C avec une période de chauffe de 220 jours, la différence de température moyenne de température entre l'extérieur et l'intérieur est de 10°C. Avec une puissance thermique moyenne perdue dans le béton de  $10 \times 10 = 100 \text{ watt/m}^2$ , l'énergie perdue en moins annuellement grâce au PIV est donc de  $0,1 \times 365 \times 24 = 876 \text{ kWh}$  par m<sup>2</sup> (Energie = puissance x temps).

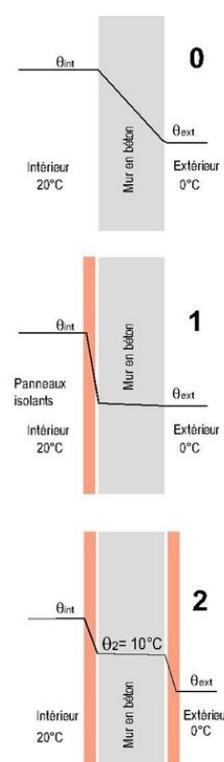
En supposant que les frais d'implantation de ce PIV ne soit que de 100€/m<sup>2</sup> posé (Fourniture de l'isolant de 60€/m<sup>2</sup> + pose à 40 €/m<sup>2</sup> on investit dans la pose de cet isolant  $100 / 876 = 0,114 \text{ €}$  par kWh économisé annuellement. A raison d'une énergie fioul à 0,09€/kWh (correspondant sensiblement à 0,9 € le litre de fioul) on peut estimer un retour économique inférieur proche de l'année avec un tel isolant. (1,26 an)

##### Cas 2

Avec pose d'un panneau isolant sous vide (PIV) sur un mur en béton de 20 cm déjà isolé de l'intérieur de 5 cm de polystyrène

Dans ce cas le R initial est  $R = 1/0,88 + 1/10 = 1,13 + 0,1 = 1,23$  soit un nouveau coefficient de déperdition globale  $\zeta = 1/R = 0,88 \text{ watt/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$  et un temps de retour économique de 2,5 années

Le PIV a surtout été utilisé jusqu'à présent par les frigoristes dans la filière de l'emballage. Produit en quantité moindre et encore rare sur le marché par rapport aux laines minérales, le PIV est un isolant cher : entre 40 et 60 € le m<sup>2</sup>. Cependant, malgré ce prix relativement élevé la pose de ce panneau isolant sous vide, du fait de ses capacités thermiques exceptionnelles présente un ROI très intéressant. Sa conductivité thermique est, à épaisseur égale, environ 8 fois moins importante que les meilleurs isolants traditionnels tels que la mousse de polyuréthane. Ils commencent à être utilisés pour les isolation par l'intérieur (ITI) des petits studios et appartements de 2 pièces en raison du gain de place. Ils pourraient prochainement améliorer les conditions de mise en œuvre des façades et des toitures et ils sont même en passe d'être utilisés dans le bâtiment pour les isolations par l'extérieur (ITE). Il est en effet souhaitable à l'occasion du ravalement d'une façade d'immeuble de procéder à la mise en place d'une isolation qui affecte le moins possible le volume initial de la construction pour ne



## Les Lutins thermiques et:

pas trop modifier la disposition des huisseries ou de la couverture. Les allemands, en pointe dans ce domaine sont en passe de commercialiser des panneaux PIV multicouches plus faciles et moins coûteux à produire. Dans le processus de fabrication testé de manière industrielle par les chercheurs, de la silice amorphe nano poreuse pyrogénée est enveloppée de deux films d'aluminium et mise sous vide. Le produit final, meilleur et moins cher que les PIV actuels utilisés dans l'emballage devra résister 50 ans une fois posés en façade et subit actuellement des tests à long terme. Les conditions de mise en œuvre doivent tenir compte du fait qu'en cas de percement de la couche d'alu, les propriétés d'isolation thermique du panneau sont notablement affectées. On peut raisonnablement espérer avec de telles techniques une économie importante en combustible.

### Cas du vitrage

Estimation de retour économique pour pose de double vitrage en remplacement d'un simple vitrage ( $\Delta = 1 \text{ watt/m}^2 \text{ et } ^\circ\text{C}$  au lieu de 5). Pour une différence de température moyenne de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , la puissance thermique moyenne perdue en moins est de  $40 \text{ watt/m}^2$ . Le gain annuel en énergie thermique pendant une période de chauffe de 220 jours est donc  $0,04 \times 220 \times 24 = 211 \text{ kWh}$  par  $\text{m}^2$  (Energie = puissance x temps). En supposant que les frais d'implantation des fenêtres avec double vitrage soit de  $500\text{€}/\text{m}^2$  posé l'investissement de départ est de  $500/211 = 2,37 \text{ €}$  par kWh économisé annuellement. A raison d'une énergie fioul à  $0,09\text{€}/\text{kWh}$  (correspondant sensiblement à  $0,9 \text{ €}$  le litre de fioul) le temps de retour économique est important,  $2,37/0,09 = 26$  ans, ROI qui devient encore plus important lorsque le prix de l'énergie primaire baisse\*

| Type paroi                         | Prix isolant posé €/m <sup>2</sup> | Prix isolant posé exprimé en € / kWh économisé annuellement | Coût de l'énergie primaire € / kWh (FOD) (janvier 2012) | Retour économique Années |
|------------------------------------|------------------------------------|---|---|--------------------------|
| Vitrage                            | 500 à 800                          | 2,37 à 3,8  | 0,09 € / kWh  | 26 à 42ans               |
| PIV sur mur béton non isolé        | 100                                | 0,115   | 0,09 € / kWh  | 1,2 an                   |
| PIV sur mur béton déjà isolé inter | 100                                | pratiquement équivalent au mur avec 5 cm polystyrène        | 0,09 € / kWh  | environ 2 ans 1/2        |
| Pont thermique                     | 60                                 | 0,14  | 0,09 € / kWh  | 3 ans                    |

### Comparaison prix tertiaire logement conventionnel (sujet à variations selon matériaux)

| Rep | Tertiaire*   | Logement conventionnel en rénovation   |
|-----|--|--|
| 1   | **96 €/m <sup>2</sup> Baies vitré avec protection solaire    | Avec enlèvement du dormant<br>500 à 800 €/m <sup>2</sup> selon solution (PVC ou Aluminium) |
| 2   | 17 €/m <sup>2</sup> (Pas de solution pour face avec balcons) | 40   |
| 3   | 14 €/m <sup>2</sup>  | 50   |
| 4   | 13 €/m <sup>2</sup>  | 30   |

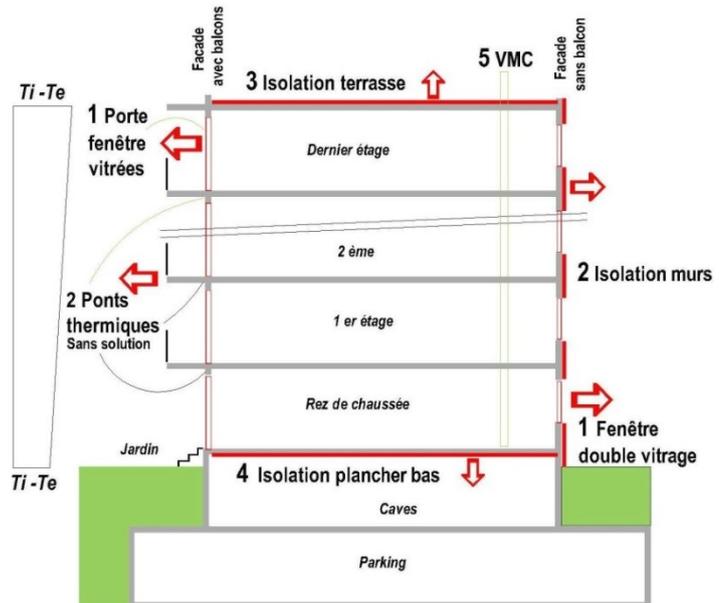
\*\* Probablement pour vitre seule. Le fait qu'il n'y ait pas à démonter le dormant dans une construction neuve ne suffit pas à expliquer la différence des prix pratiqués entre le tertiaire et la rénovation dans l'ancien pour le repère 1

## Les Lutins thermiques et:

Remarques :

- Les repères 1 à 4 sont indiqués par ordre de déperdition thermique d'importance décroissante. ( Sources d'après un projet réel pour le tertiaire, voir bibliographie repère 21 page 470, et d'après multiples consultations locales pour la rénovation)

-Les ponts thermiques aux planchers en béton ne peuvent pas être traités de l'extérieur sur les façades avec balcons et peuvent avec les planchers chauffants devenir très importants voire supérieures aux déperditions par les baies vitrées



La figure ci-dessus situe l'importance relative des différentes déperditions thermiques d'un immeuble.

La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur diminue lorsque l'on se rapproche du sol.

L'isolation du bâtiment par l'extérieur afin d'éviter les ponts thermiques au niveau des planchers n'est envisageable que sur les façades sans balcons. Le mode de chauffage utilisé pour l'immeuble (Electrique individuel fioul, gaz, PAC ou géothermie profonde) a peu d'influence sur la valeur des déperditions. A noter que les tuyauteries du circuit d'eau chaude sanitaire qui circulent dans les gaines verticales sont à l'intérieur de l'enveloppe alors que les portions horizontales des tuyauteries du circuit de chauffage sont à l'inverse à l'extérieur du bâti

### \* Coup de gueule des Lutins

Concernant la pose des doubles vitrage, on peut s'interroger des raisons pour lesquelles le retour sur investissement est parfois si long. Certes la pose d'un double vitrage avec le cadre demande du travail mais avec un prix moyen de 500 à 800 €/m<sup>2</sup> posé selon les matériaux utilisés les prix français malgré une énorme concurrence sont environ 2 fois plus élevés que les prix allemands. A titre d'information, à l'occasion de la rénovation thermique d'un immeuble à Berlin comprenant la fourniture de triple vitrage sur 4 Fenêtres identiques en PVC blanc inter / couleur bois exter avec ouverture deux axes couvrant une surface totale de 7,8 m<sup>2</sup>, le prix total comprenant la fourniture et la pose avec l'évacuation des anciennes fenêtres a été de 1900 € taxes comprises soit 243 €/m<sup>2</sup> à comparer au prix dans l'hexagone proche de 500€/m<sup>2</sup> alors qu'il s'agit la plupart du temps de double vitrage. Position de monopole de St Gobain ? difficile d'expliquer pourquoi les prix de vente pratiqués en France pour les doubles ou triple vitrages sont si élevés par rapport à nos voisins allemands. La rénovation thermique des doubles et triples vitrages dans les bâtiments anciens français est pour cette raison et par la force des choses ralentie. Le dynamisme des vendeurs et le besoin thermique engendré par l'augmentation prévisible du prix des énergies fossiles sont tels que l'activité n'est pas totalement au point mort. Elle perdure en effet grâce à la vente au " K par K " qui augmente les marges du vendeur avec pour conséquence la difficulté pour le Maître d'œuvre d'obtenir un prix de rénovation globale permettant de baisser les prix et d'accélérer la rénovation thermique des immeubles. Le coût d'une rénovation dans la foulée de toutes les fenêtres d'un immeuble à la saison chaude devrait permettre non seulement d'obtenir un prix quantitatif pour le matériel mais également un prix plus faible pour la main d'œuvre par le fait qu'avec l'habitude, les ouvriers mettent moins de temps pour la pose ce qui réduit les frais. Le rôle passif du syndic qui laisse faire et attend qu'un consensus se dessine au sein des copropriétaires, l'endormissement du législateur qui s'obstine à considérer que les fenêtres sont privatives pour la rénovation ainsi qu'un nombre d'intermédiaires trop importants, la société assurant la pose n'étant pas nécessairement le constructeur de la fenêtre n'accélère pas le mouvement.

## *Les déperditions dans le bâti*

Un immeuble est un quelque sorte une enveloppe (une boîte appelée **bâti** dans les revues spécialisées) chauffée de l'intérieur en hiver et de l'extérieur en été. Evaluer le besoin thermique réel d'une habitation n'est pas simple. Les Lutins thermiques constatent que la *thermographie* ne permet pas encore en 2011 d'évaluer avec une précision suffisante le Coefficient de déperdition des parois et ils espèrent que cette technologie deviendra rapidement quantitative en complément de son utilité comparative actuelle. Ce sont l'ensemble des déperditions dans chacune des parois du **bâti** de l'immeuble qui conditionne la puissance **P** que devra fournir la chaufferie.

Ce besoin en puissance est de la forme  $P = k f(\Delta\theta)$ ,

- $k$  étant une constante composée de la somme des déperditions des différentes surfaces composants le bâti
- et  $\Delta\theta$  écart de température entre l'air intérieur et extérieur  $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$   
Par 0°C extérieur et 20°C dans les pièces de vie  $\Delta\theta = 20^\circ\text{C}$   
Par -10°C extérieur et 20°C dans les pièces de vie  $\Delta\theta = 30^\circ\text{C}$

$P = \Delta\theta [\sum (\zeta S)]$  avec :

$$\sum (\zeta S) = \zeta_m S_m + \zeta_t S_t + \zeta_v S_v$$

$\zeta_m$  Coefficient de déperdition des murs en watt/m<sup>2</sup> °C

$\zeta_t$  Coefficient de déperdition des terrasses en watt/m<sup>2</sup> °C

$\zeta_v$  Coefficient de déperdition par les surfaces vitrées en watt/m<sup>2</sup> °C

$S_m$  Surface des murs en m<sup>2</sup>

$S_t$  Surface des terrasses en m<sup>2</sup>

$S_v$  Surface des fenêtres en m<sup>2</sup>

### *Notas*

- Il est intéressant de comparer les deux termes  $\zeta_m S_m$  et  $\zeta_v S_v$  en valeur relative. Lorsque les murs ne sont pas isolés le terme  $\zeta_v S_v$  peut être nettement plus faible que  $\zeta_m S_m$ . Dans ce cas il est souhaitable d'agir prioritairement sur l'isolation des parties communes à savoir les murs opaques.
- Le coefficient de déperdition vers le sol est souvent composé de deux termes. L'un  $\zeta_s$  en watt/m<sup>2</sup> °C fonction de l'isolation du plancher bas le deuxième des déperditions dans les tuyauteries en sous-sol

*Isoler sa maison ou son immeuble, c'est valoriser son patrimoine. C'est aussi réduire sa dépense en combustible puisque l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas. C'est enfin réduire le prix de l'énergie thermique rendue dans les pièces de vie par le fait que l'isolation en diminuant la température requise à la source chaude améliore les performances de la pompe à chaleur.*