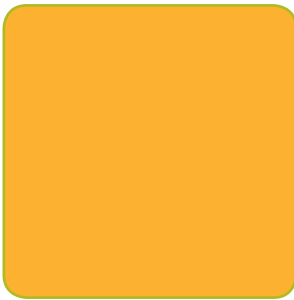
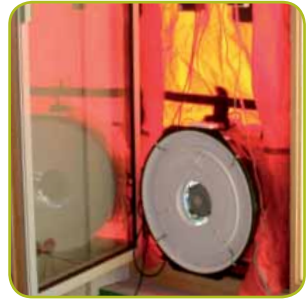




➔ Pour une amélioration de la performance énergétique globale des logements neufs



CONSTRUIRE
AVEC L'ÉNERGIE
naturellement!

PHASE 3
À PARTIR DU 01.01.2010

Construire avec l'énergie

L'action «Construire avec l'énergie»

La Région wallonne propose aux architectes et aux entrepreneurs de la construction de s'inscrire dans une démarche volontaire d'efficacité énergétique.

Actuellement, l'objectif de l'action «Construire avec l'énergie» est de promouvoir la réalisation de logements neufs dont la performance énergétique dépasse les exigences qui seront d'application en Wallonie à partir du 01.05.2010.

Pour avoir un bâtiment efficace sur le plan énergétique, isoler n'est aujourd'hui plus suffisant, il faut prendre en compte les autres aspects de la consommation d'énergie : étanchéité à l'air, ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire, auxiliaires et refroidissement éventuel.

Dans le cadre de la nouvelle réglementation wallonne sur la performance énergétique (PEB) qui sera d'application à partir du 01.05.2010, deux nouveaux indicateurs, le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} définissent le niveau de consommation d'énergie primaire d'un bâtiment. Ils permettent une approche globale de la performance énergétique des logements neufs.

Dans l'attente de la mise à disposition du logiciel de calcul PEB par la Région wallonne, l'action «Construire avec l'énergie» propose un outil Excel qui permet de calculer E_w et E_{spec} . Celui-ci fait l'objet d'une description détaillée à partir de la page 22.

Critères

Sept critères techniques sont à respecter pour qu'un logement puisse obtenir l'attestation «Construire avec l'énergie».

U_{max}

Le coefficient de transmission thermique U de chaque paroi du volume protégé doit être inférieur ou égal à une valeur U_{max} .

Niveau K

Le niveau d'isolation thermique globale K du logement doit être inférieur ou égal à $K35$.

Étanchéité à l'air

Le bâtiment doit présenter une bonne étanchéité à l'air avec un débit de fuite v_{50} inférieur ou égal à $6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

Ventilation

Le système de ventilation doit respecter l'annexe V de l'arrêté du Gouvernement wallon du 17 avril 2008.

Niveau E_w

Le niveau de consommation d'énergie primaire du logement doit être inférieur ou égal à 70.

Consommation E_{spec}

La consommation spécifique d'énergie primaire du logement doit être inférieure à $120 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{an}$.

Surchauffe

Le risque de surchauffe dans le bâtiment doit se situer en dessous de la limite maximale autorisée.



Pour faciliter la lecture de cette brochure et proposer un accès direct à l'information, deux types de paragraphes sont présentés.

→ Les explications

Sous le titre encadré vert apparaissent des informations et des explications de base.

→ Les recommandations

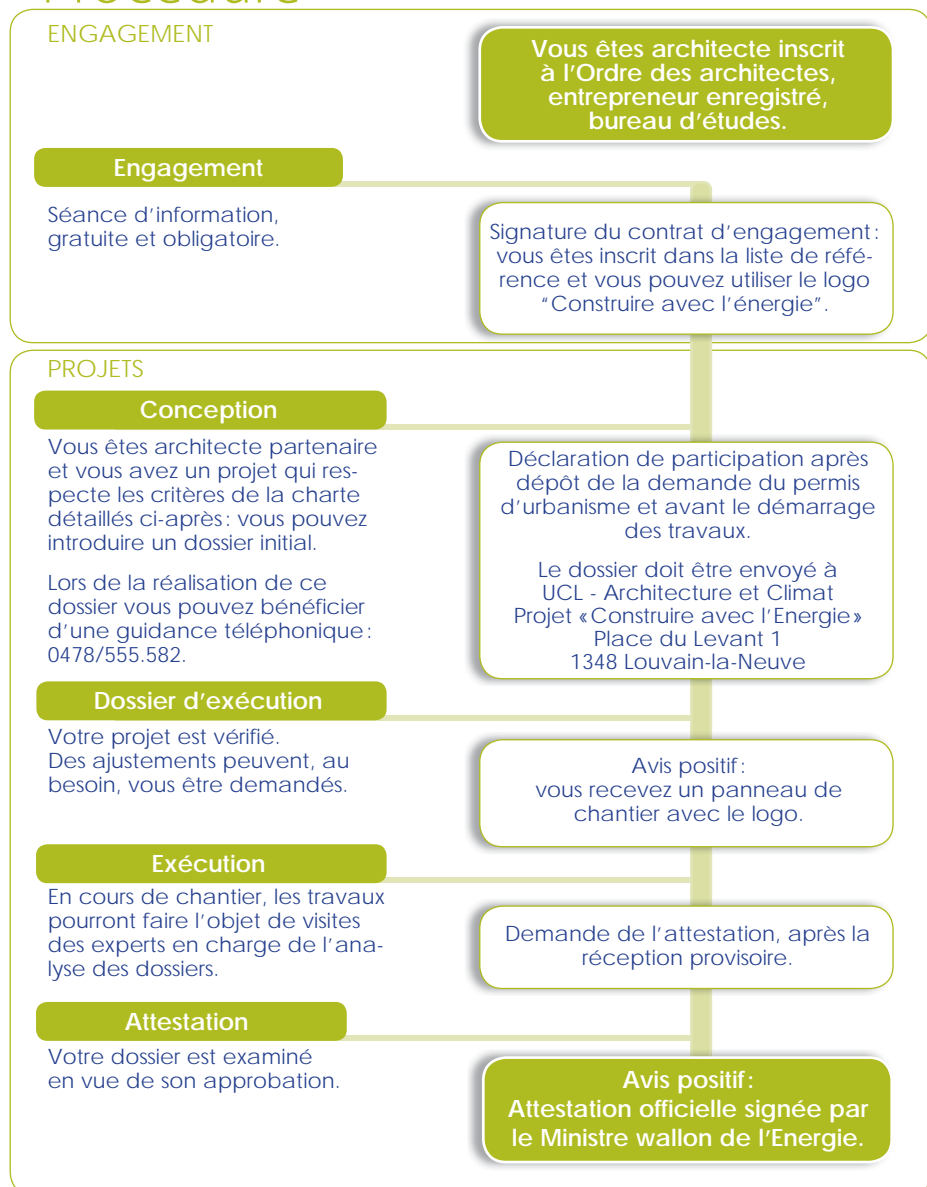
Sous le titre encadré rouge sont décrits des moyens d'agir pour obtenir un résultat optimal, que ce soit au niveau du calcul ou de la mise en oeuvre.

Les logements réalisés dans le cadre de l'action et respectant les critères et la procédure de la charte «Construire avec l'énergie» reçoivent une attestation valorisable en cas de revente ou de location.

Cette action, initiée par le Ministre wallon en charge de l'Energie, est développée et coordonnée par le Département de l'Energie et du Bâtiment durable du Service public de Wallonie et est encadrée par le partenariat CSTC - CCW - UWA - UMons - IFAPME - UCL - ULg.



Procédure



Performance énergétique des

Le but est de réduire la consommation d'énergie primaire des bâtiments. Pour l'action «**Construire avec l'énergie**», cela se traduit par **un niveau $E_w \leq 70$** et **une consommation spécifique $E_{spec} < 120 \text{ kWh/m}^2\text{an}$** . Ces valeurs sont calculées grâce à l'outil Excel mis à disposition par la Région wallonne (voir page 22).

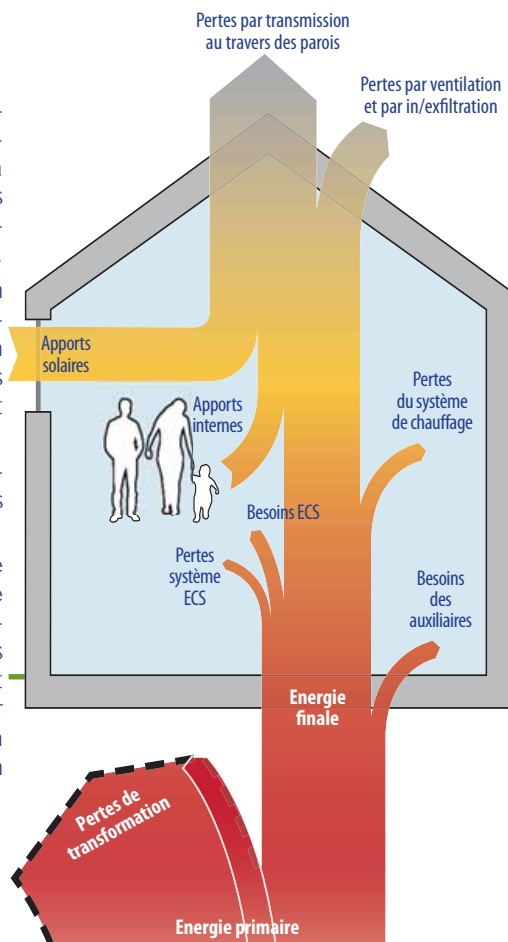
→ Energie primaire

Les pertes de chaleur par transmission, par ventilation et par in/exfiltration (dûs aux défauts d'étanchéité à l'air) sont compensées par les apports solaires et internes (dûs à l'occupation) ainsi que par le chauffage. Pour ce dernier, il faut opter pour un système présentant un bon rendement, c'est-à-dire avec un minimum de pertes aux différents stades (production, distribution, émission et régulation).

La production d'eau chaude sanitaire sera également étudiée dans ce même souci.

Pour effectuer le bilan énergétique global du bâtiment, il faut en outre tenir compte des pertes de transformation du combustible, assez faibles pour le gaz et le mazout, elles sont très élevées pour l'électricité. Pour la détermination du niveau E_w , on utilise un facteur f_p de conversion en énergie primaire.

- Carburants fossiles : $f_p = 1$.
- Biomasse : $f_p = 1$.
- Electricité : $f_p = 2,5$ (voir ci-contre).



L'énergie primaire est l'énergie directement prélevée à la planète (pétrole, gaz, uranium...), qui, après transformation, permet d'obtenir une énergie utilisable pour le particulier (mazout, gaz naturel, électricité...).

→ Niveau E_w

Le niveau de consommation d'énergie primaire (niveau E_w) d'un bâtiment est le rapport entre la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire du volume protégé et une consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire de référence, multiplié par 100.

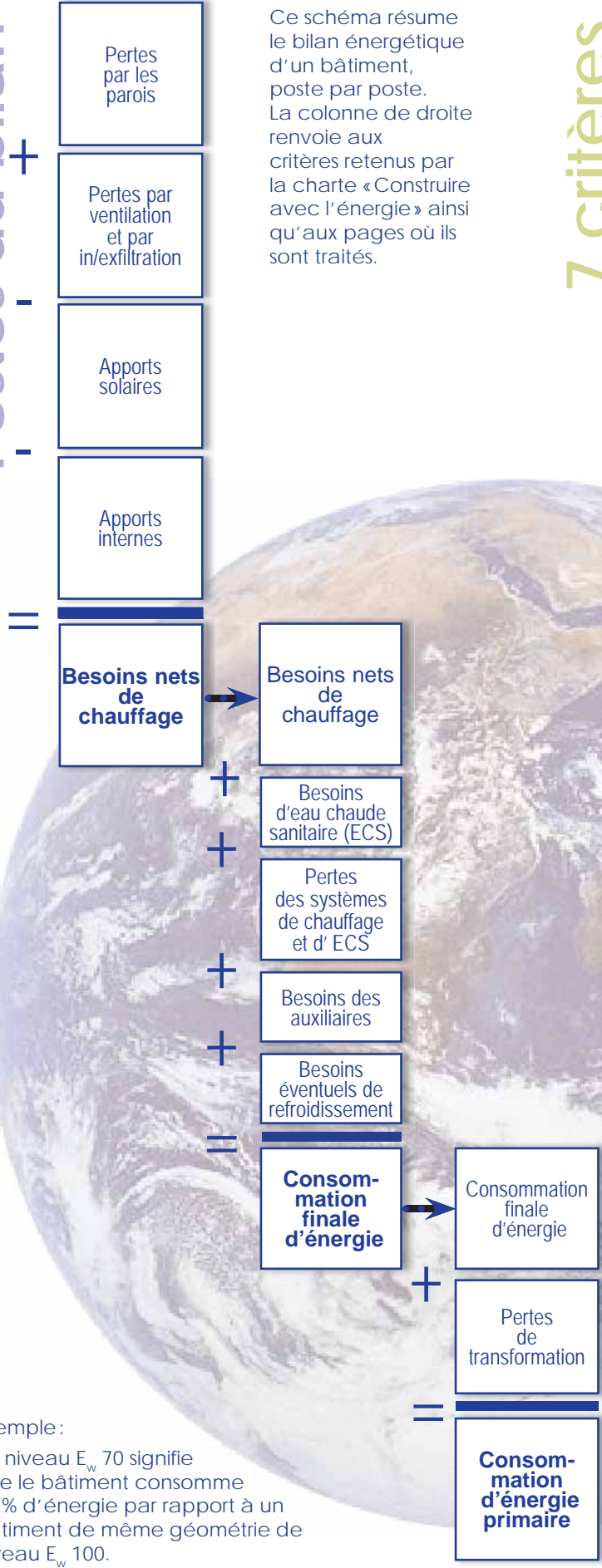
Ce niveau E_w pourrait être résumé comme suit :

c'est le rapport entre ce que consomme le bâtiment projeté pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et le refroidissement éventuel, et ce que consommerait ce même bâtiment avec les caractéristiques suivantes :

- une enveloppe correctement isolée (K45) ;
- une étanchéité à l'air $v_{50} = 8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;
- des apports solaires par des fenêtres dont la surface correspond à 15 % de la surface de plancher chauffé, réparties uniformément N, S, O, E ;
- un système de ventilation mécanique simple flux, type C ;
- un système de chauffage avec une chaudière mazout basse température (rendement global de l'installation = 0,728) ;
- une installation d'eau chaude sanitaire avec un appareil à combustion à chauffage instantané (rendement de production = 0,5) ;
- des besoins en énergie pour le refroidissement considérés comme nuls.

bâtiments

Postes du bilan



Ce schéma résume le bilan énergétique d'un bâtiment, poste par poste. La colonne de droite renvoie aux critères retenus par la charte « Construire avec l'énergie » ainsi qu'aux pages où ils sont traités.

7 critères

- U_{max} des parois
- Niveau K
- Exigences de ventilation et d'étanchéité à l'air
- Surchauffe
- Niveau E_w et consommation E_{spec}

Exemple :
 Un niveau E_w 70 signifie que le bâtiment consomme 70 % d'énergie par rapport à un bâtiment de même géométrie de niveau E_w 100.

↑ Construire avec l'énergie

Pour chaque bâtiment, il importe de délimiter le volume protégé, et de recenser toutes les parois de déperdition qui en constituent l'enveloppe. Toutes ces parois doivent être isolées ; leur coefficient de transmission thermique U doit se situer en dessous d'une valeur U_{max} définie pour chaque type de paroi.

→ Volume protégé

C'est le volume [m³] de l'ensemble des locaux du bâtiment (y compris les dégagements) que l'on souhaite protéger des déperditions thermiques.

Il est toujours calculé sur base des dimensions extérieures.

Il ne comprend donc pas seulement le volume d'air enfermé mais également le volume de toutes les parois intérieures et extérieures.

Le volume protégé comprend tous les locaux chauffés en continu ou par intermittence ainsi que tous les locaux chauffés indirectement (locaux dans lesquels il n'y a pas de corps de chauffe prévus, mais où un chauffage indirect est souhaité grâce aux gains thermiques se faisant par certaines parois intérieures).

Surface de déperdition A_T = ΣA_j [m²]: c'est la somme des superficies de toutes les parois ou parties de parois (verticales, horizontales ou inclinées) qui séparent le volume protégé du bâtiment de l'ambiance extérieure, du sol et d'espaces adjacents non chauffés qui n'appartiennent pas au volume protégé.

Remarque: Les parois qui forment une séparation entre deux volumes protégés ne font pas partie des parois de déperdition (par exemple: mur mitoyen entre deux habitations).

Surface de plancher chauffé A_{ch} [m²]: c'est la surface de l'ensemble des locaux qui peuvent être chauffés, soit en continu, soit temporairement, et qui se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe du volume protégé du bâtiment. Cette surface est mesurée entre les faces externes des murs extérieurs du volume protégé.

→ Valeur U

Les déperditions thermiques par transmission d'une paroi sont caractérisées par son coefficient de transmission thermique U (encore dénommé k dans les normes belges) exprimé en W/m²K. Plus le coefficient U est petit, moins la paroi perd d'énergie par transmission thermique.

Le coefficient U d'une paroi est surtout déterminé par l'épaisseur de son isolant même si elle ne fait que quelques centimètres.

Exemple d'un mur creux:

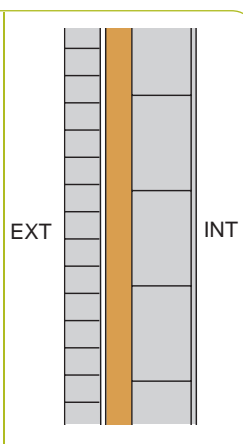
Parement en brique collée, épaisseur : 9 cm

Lame d'air non ventilée, épaisseur : 2 cm

Isolant thermique d'épaisseur variable (voir ci-contre) avec λ = 0,045 W/mK

Bloc creux en béton collé, épaisseur : 14 cm

Plafonnage, épaisseur : 1 cm



Épaisseur de l'isolant [cm]	U [W/m ² K]
0	1,82
6	0,53
8	0,43
10	0,36
12	0,31

→ Valeur U_{max}

Les immeubles de logement doivent présenter des valeurs U, pour les différentes parois de déperdition, inférieures ou égales à des valeurs U_{max}.

Ces valeurs U_{max} sont détaillées dans la charte « Construire avec l'énergie ».

→ Choisir la bonne valeur λ

Pour calculer le coefficient U d'une paroi, il est nécessaire de connaître la conductivité thermique (valeur lambda, λ) de chacune des couches qui la composent.

- Si le matériau est repris dans la base de données www.epbd.be, sa valeur λ est reconnue et peut être utilisée sans aucune autre justification.
- Sinon, trois cas se présentent:
 - pour un matériau avec marquage CE, obtenir l'attestation de conformité et prendre la valeur λ qui y figure;
 - pour un matériau sans marquage CE mais ayant fait l'objet d'un agrément technique (ATG, Benor ou équivalent), obtenir l'agrément et prendre la valeur λ notifiée dans celui-ci;
 - dans tout autre cas, prendre la valeur par défaut reprise dans la norme NBN B62-002/A1:2001 ou dans son addendum.

→ Calculer la valeur U_w de la fenêtre

La valeur U de la fenêtre (U_w) doit tenir compte du coefficient de transmission thermique:

- du vitrage (U_g);
- du châssis (U_f);
- de l'intercalaire (Ψ_g);
- du panneau opaque éventuel;
- de l'ouverture éventuelle d'alimentation réglable (OAR).

La norme NBN B62-002 (Addendum 2) permet d'utiliser des formules simplifiées pour le calcul de la valeur U_w , mais uniquement si la fenêtre n'est pas équipée d'une OAR ou d'un panneau de remplissage.

$$\text{Si } U_g \leq U_f : U_w = 0,7 U_g + 0,3 U_f + 3 \Psi_g \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$\text{Si } U_g > U_f : U_w = 0,8 U_g + 0,2 U_f + 3 \Psi_g \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

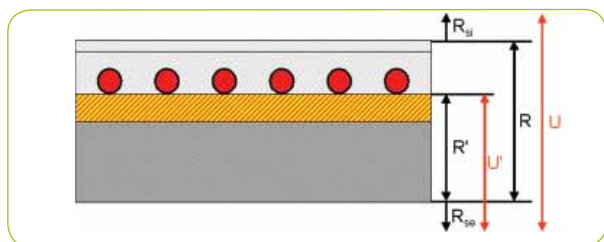
$$\text{où } \Psi_g = 0,11 : \text{intercalaire ordinaire} \\ = 0,07 : \text{intercalaire isolant}$$



→ Distinguer le cas des parois chauffantes

En cas de chauffage par rayonnement (chauffage par le sol, les murs ou le plafond), il ne faut pas prendre en compte la valeur U de la totalité de la paroi mais uniquement la valeur U' , correspondant aux couches situées du côté extérieur par rapport aux tuyaux de chauffage.

Celle-ci doit toujours être inférieure ou égale à U_{max} .



Attention, lorsqu'on effectue le calcul du niveau K, la norme NBN B 62-301 prévoit en outre de multiplier cette valeur U' par un facteur correcteur = 1,5. La valeur U corrigée est alors égale à $1,5 \times U'$.



Niveau K

Le niveau d'isolation thermique globale K caractérise la qualité thermique de l'enveloppe du volume protégé du bâtiment. Il globalise les déperditions par transmission à travers les parois constituant l'enveloppe qui entoure le volume protégé.

La charte « Construire avec l'énergie » impose un niveau K inférieur ou égal à K35.

Le formulaire « calcul du niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment suivant NBN B62-301 » annexé à la demande de permis d'urbanisme pour un logement neuf détaille les étapes à suivre pour déterminer le niveau K.

→ Déperditions par transmission

Les déperditions totales sont obtenues en effectuant la somme : $\sum a_j \cdot U_j \cdot A_j + \sum \Psi_{ij} \cdot l_j$

- A_j = surfaces de déperdition [m^2] des différentes parois du volume protégé ;
- U_j = coefficients de transmission thermique de ces parois [W/m^2K] ;
- a_j = coefficient de réduction éventuel à appliquer aux déperditions des parois adjacentes à un local non chauffé mais protégé du gel (grenier, cave...) ou en contact avec le sol ;
- Ψ_{ij} = coefficient de transmission thermique linéique [W/mK] des ponts thermiques éventuels ;
- l_j = longueur [m] de ces éventuels ponts thermiques.

En divisant ces déperditions totales par la surface de déperdition $A_T = \sum A_j$ [m^2] , on obtient le coefficient de transmission thermique moyen : U_{moyen} (anciennement k_s).

→ Compacité

La compacité volumique du bâtiment s'obtient par le quotient : V/A_T .

- V = volume protégé [m^3] ;
- A_T = surface de déperdition [m^2].

La compacité volumique dépend du gabarit (fortement compact ou plus découpé) et de la taille du bâtiment : pour un même gabarit, les petits bâtiments sont moins compacts (faibles valeurs de V/A_T) que les grands bâtiments.



→ Niveau K

Le niveau K se détermine de la manière suivante :

- si $V/A_T \leq 1$: $K = U_{moyen} \times 100$
- si $1 < V/A_T < 4$: $K = U_{moyen} \times 300 / (V/A_T + 2)$
- si $V/A_T \geq 4$: $K = U_{moyen} \times 50$

→ Calculer le niveau K avec précision

Le calcul correct du niveau K impose de respecter les points suivants :

- les dimensions prises en compte dans les calculs se font sur base des mesures extérieures ;
- toutes les parois délimitant le volume protégé doivent être prises en compte (paroi de la cage d'escalier vers la cave, trappe vers le grenier...), sauf celles séparant deux volumes protégés (mur mitoyen...) ;
- la valeur U est corrigée lorsque des parois extérieures (sol, mur ou plafond) sont pourvues d'un chauffage par rayonnement ;
- les ponts thermiques sont évités et si cela n'est pas possible, leur présence est prise en compte dans le calcul du niveau K.

L'isolation thermique doit être aussi continue que possible autour du volume protégé. Les ponts thermiques sont à éviter; cela nécessite de s'en préoccuper dès le stade de l'esquisse: balcon, colonnes extérieures...

Supprimer les ponts thermiques, c'est gagner en performance mais c'est surtout éviter des risques de condensation et de moisissures.

→ Pont thermique

Toute interruption de l'isolation thermique engendre un pont thermique, zone où le transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur est facilité.

Plus une maison est isolée thermiquement, plus il faut veiller à résoudre les problèmes occasionnés par les jonctions courantes pouvant donner lieu à des ponts thermiques, par exemple:

- linteaux des baies du volume protégé;
- seuils de fenêtres et de portes;
- raccordements des lames d'air au droit des feuillures des châssis et des portes;
- appuis de planchers lorsqu'ils sont en contact avec le mur de parement;
- rives de toiture (raccord de la contre-façade d'un mur creux isolé à une toiture à versants, traversées de cheminées...);
- encorbellements de terrasses;
- poutres et balcons de béton en contact avec le mur de parement.



Jusqu'au 01.05.2010, le concepteur peut se référer à des valeurs par défaut prévues par la norme NBN B 62-002 pour prendre en compte ces ponts thermiques dans le calcul du niveau K. Si ces valeurs approximatives sont appliquées, la norme prévoit que les éléments suivants ne doivent pas être considérés comme ponts thermiques (les dimensions extérieures utilisées pour la détermination du volume protégé et des surfaces de parois de déperdition prenant déjà suffisamment en compte la déperdition thermique supplémentaire qu'ils occasionnent):

- les angles des murs;
- les raccords avec les fondations.



A partir du 01.05.2010, le concepteur devra se référer à la nouvelle réglementation PEB.

→ Valeurs par défaut jusqu'au 01.05.2010

La configuration des ponts thermiques est plutôt linéaire que surfacique, si bien que l'on calcule généralement les déperditions qu'ils occasionnent en multipliant leur longueur par un **coefficient linéique Ψ_l** (anciennement dénommé k_l), exprimé en W/mK.

La norme NBN B62-002 permet de prendre comme valeur par défaut de Ψ_l :

- mur **creux** pour lequel $U < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_l = 0,50 \text{ W/mK}$
- mur **plein** pour lequel $U < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - o si interruption de l'isolation thermique sur une longueur $\geq 10 \text{ cm}$ $\Psi_l = 0,50 \text{ W/mK}$
 - o si interruption de l'isolation thermique sur une longueur $< 10 \text{ cm}$ $\Psi_l = 0,25 \text{ W/mK}$

Ventilation

Le renouvellement de l'air des locaux occupés est indispensable pour maintenir une qualité d'air suffisante car il permet l'évacuation des odeurs, de l'humidité, des polluants et l'apport d'air neuf. L'annexe V de l'arrêté du gouvernement wallon du 17.04.08 fixe les modalités de ventilation des locaux d'habitation.

L'air neuf est amené dans les locaux secs (living, chambres...) et transféré, via les couloirs et dégagements, vers les locaux humides (cuisines, salles de bains, W-C...) d'où il est évacué directement vers l'extérieur: c'est la ventilation de base.

L'arrêté propose quatre systèmes de ventilation, distingués par les lettres A, B, C et D.

→ Système A



Ouverture d'alimentation d'air frais réglable naturelle (OAR)
par exemple, par un aérateur dans un châssis.



Ouverture d'évacuation d'air vicié réglable naturelle (OER)
par une buse verticale sortant en toiture.

→ Système B



Ouverture d'alimentation d'air frais mécanique (OAM)



Ouverture d'évacuation d'air vicié réglable naturelle (OER)
par une buse verticale sortant en toiture.

→ Système C



Ouverture d'alimentation d'air frais réglable naturelle (OAR)
par exemple, par une grille dans une paroi extérieure.



Ouverture d'extraction mécanique (OEM)
située au plafond ou dans un mur et reliée à un ventilateur.

→ Système D



Ventilation mécanique double flux

composée d'un flux d'amenée et d'un flux d'évacuation totalement indépendants ou permettant la récupération de chaleur.

→ Minimaliser les pertes de ventilation

Lorsqu'on investit pour améliorer l'isolation thermique d'une habitation, il faut aussi se soucier de bien gérer la ventilation qui, dans tous les cas, constitue une source de déperdition. Dès lors, pour minimaliser ces pertes par ventilation tout en assurant une qualité d'air suffisante, il importe de veiller:

- au respect de l'annexe V de l'arrêté du 17.04.08, basée sur la NBN D50-001;
- au dimensionnement correct du système choisi;
- à intégrer le système choisi dès l'avant-projet;
- à une excellente étanchéité à l'air de l'enveloppe.

→ Etre vigilant en cas de ventilation naturelle

Ouvertures d'alimentation réglables (OAR)

- Les OAR doivent disposer de 3 positions intermédiaires réglables entre la position ouverte et fermée, afin que l'utilisateur puisse moduler l'ouverture pour l'adapter à ses besoins, OU elles doivent posséder un réglage continu entre la position fermée et tout à fait ouverte (grille autoréglable).
- Pour éviter la gêne due aux courants d'air, il est conseillé de disposer les OAR à une hauteur d'au moins 1,80 m au-dessus du sol.
- La somme des débits nominaux des OAR d'un même local doit être au moins équivalente au débit requis par l'annexe V de l'arrêté du gouvernement wallon du 17.04.08. Avec les OAR en position complètement ouverte, ces débits ne peuvent dépasser le double des débits nominaux.

Les châssis équipés de **quincailleries entrebâillantes** peuvent être considérés comme OAR à condition que :

- ils aient au moins 3 positions intermédiaires entre la fermeture totale et l'ouverture maximum ;
- le débit nominal du châssis concerné équipé de la quincaillerie soit connu par une mesure conforme à la norme en vigueur et corresponde au débit souhaité.

Or ce débit est fonction des caractéristiques géométriques de l'ouverture pratiquée, du profil du châssis et du profil du joint. Les informations diffusées par les fabricants pour des châssis donnés de dimensions données ne peuvent donc être extrapolées à d'autres châssis qui seraient de caractéristiques (profil/joint) et/ou de dimensions différentes.

Ouvertures d'évacuation réglables (OER)

- Les bouches ou grilles installées doivent pouvoir être réglées manuellement (minimum 5 positions : 1 fermée, au moins 3 intermédiaires et 1 tout à fait ouverte) ou automatiquement (réglage continu entre les positions fermée et tout à fait ouverte).
- Les conduits d'évacuation naturelle doivent avoir un tracé le plus vertical possible. Des déviations de maximum 30° sont cependant admises.
- Les débouchés des conduits verticaux d'extraction doivent se situer de préférence près du faitage.
- La hauteur des débouchés doit être conforme aux exigences de la NBN D50-001.



→ Privilégier le système D avec récupération de chaleur

Le système énergétiquement le plus performant est le système D avec récupération de chaleur.

Celui-ci permet de :

- récupérer jusqu'à 80-90 % de la chaleur sur l'air extrait, ce qui garantit une économie d'énergie ;
- préchauffer l'air entrant, ce qui augmente la sensation de confort ;
- contrôler les débits et la distribution de l'air ;
- filtrer l'air entrant.



Niveau E_w et consommation

E_w et E_{spec} : ventilation volontaire

Évaluées dans le calcul du niveau K, les déperditions thermiques par transmission au travers de l'enveloppe du bâtiment sont prises en compte dans l'évaluation de la consommation en énergie primaire.

Par contre, les débits de ventilation hygiénique tels que requis dans l'annexe V de l'arrêté du gouvernement wallon du 17.04.08 n'interviennent pas directement. Un débit de ventilation volontaire forfaitaire rentre en ligne de compte dans le calcul du niveau E_w et de la consommation E_{spec} .

→ Débit de ventilation volontaire

Le débit de ventilation volontaire est déterminé forfaitairement en fonction du volume protégé du bâtiment et d'un facteur multiplicateur m qui dépend de la qualité d'exécution du système de ventilation.

Le facteur m se calcule en fonction des caractéristiques suivantes du système de ventilation :

- autoréglabilité ou non des ouvertures d'alimentation (système A ou C) ;
- autoréglabilité ou non des ouvertures d'évacuation (système A ou B) ;
- étanchéité à l'air des conduits d'évacuation (système A ou B) ;
- réglage effectif des bouches de pulsion et/ou d'extraction (système B, C ou D) ;
- étanchéité à l'air de conduits de pulsion et/ou d'extraction (système B, C ou D).

En pratique, la valeur du facteur m est toujours comprise entre 1 et 1,5 ; si on ne la calcule pas, on prend 1,5 par défaut.



→ Soigner l'étude et la mise en oeuvre de la ventilation

- Limiter les pertes de charge (favoriser les conduits rectilignes et les plus courts possible, les sections bien dimensionnées et cylindriques).
- Assurer l'étanchéité des conduites sur toute leur longueur et au niveau des raccords.
- Privilégier les accessoires avec joints d'emboîtement parfaitement étanches.
- Isoler les conduits situés en dehors du volume protégé.
- Considérer l'interaction entre la ventilation et les appareils à combustion (chaudière, feux ouverts...) : privilégier les chaudières et foyers étanches.
- Veiller à ne pas placer les bouches d'amenée et d'extraction trop proches l'une de l'autre.
- Effectuer un contrôle en fin de chantier pour vérifier les débits réels.
- Régler les débits.



Ew et Espec : étanchéité à l'air

Le degré d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment influence fortement sa consommation d'énergie. La charte « Construire avec l'énergie » impose d'obtenir un débit de fuite, v_{50} , inférieur ou égal à $6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Ceci implique de réaliser un test d'infiltrométrie et, pour obtenir ce résultat, de soigner les détails techniques tant au niveau de la conception que de la réalisation.

→ Test d'infiltrométrie

Ce test permet d'évaluer le volume d'air qui s'échappe par les défauts dans l'enveloppe du bâtiment en un temps donné et de déterminer ainsi le V_{50} qui permet de calculer le v_{50} .

C'est le débit de fuite v_{50} qui caractérise l'étanchéité à l'air d'un bâtiment.

v_{50} = débit de fuite pour une différence de pression de 50 Pa par unité de surface de l'enveloppe extérieure [m^3/hm^2].

La valeur du v_{50} se déduit d'un test d'étanchéité à l'air qui permet de déterminer le V_{50} .

$$v_{50} = V_{50} / A_{\text{test}} \quad [\text{m}^3/\text{hm}^2]$$

A_{test} = la surface totale (sur base des dimensions extérieures) des parois qui enveloppent le volume mesuré lors de l'essai d'étanchéité à l'air, à l'exception des parois contiguës à des espaces contigus chauffés [m^2].

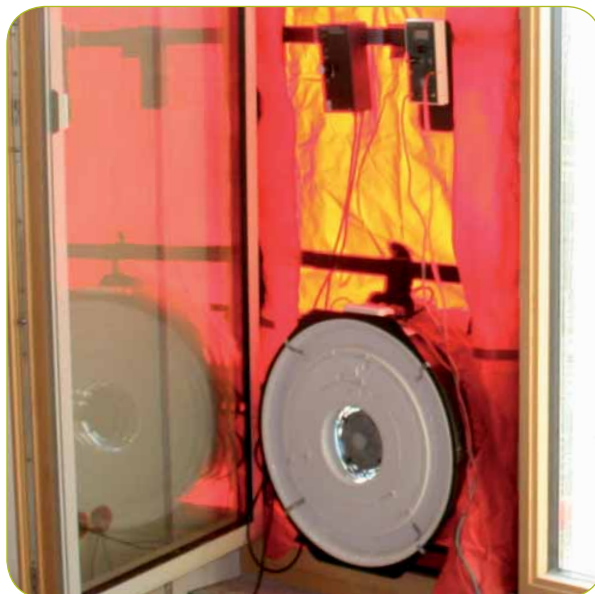
V_{50} = débit de fuite pour une différence de pression de 50 Pa au travers de l'enveloppe extérieure, déduit de l'essai d'étanchéité à l'air effectué conformément à la NBN EN 13829 [m^3/h].

Une autre valeur caractérisant l'étanchéité à l'air du bâtiment est n_{50} .

n_{50} = le taux de renouvellement d'air pour une différence de pression de 50 Pa

$$n_{50} = V_{50} / V_{\text{int}} \quad [\text{h}^{-1}]$$

V_{int} = volume intérieur du bâtiment [m^3].



→ Garantir l'étanchéité à l'air

En l'absence d'un test d'étanchéité à l'air, la méthode de calcul PEB prévoit un valeur v_{50} par défaut de $12 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Pour répondre au critère de la charte $v_{50} \leq 6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, il est important d'apporter une grande attention aux plans de détails, de contrôler la bonne réalisation sur chantier et de procéder à un test d'infiltrométrie.

La qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe dépend :

- de la nature et de la continuité des revêtements intérieurs ;
- de la mise en oeuvre et de la continuité des pare-vent / pare-vapeur ;
- des joints des menuiseries et des raccords entre celles-ci et les parois ;
- du colmatage des percements effectués pour les réseaux électriques, sanitaires...



Niveau E_w et consommation

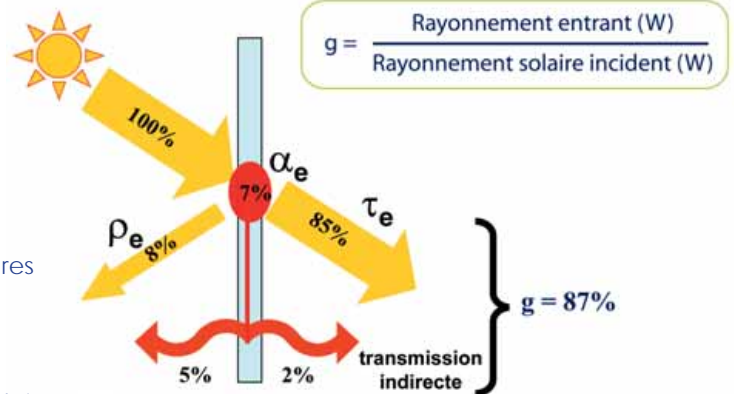
E_w et E_{spec} : gains solaires et gains internes

Le calcul du niveau E_w et de la consommation spécifique E_{spec} tiennent compte des gains solaires et des gains internes. Ceux-ci contribuent à réduire les besoins en énergie pour le chauffage du bâtiment.

→ Les gains solaires

Les gains solaires sont évalués en fonction :

- de la surface des fenêtres ;
- de leur pente et de leur orientation ;
- du facteur solaire « g » du vitrage ;
- de la présence ou non de protections solaires et/ou d'ombrages ;
- du type de protection solaire (extérieure, intérieure...);
- du type de commande de la protection solaire (manuelle ou automatique).



$$g = \frac{\text{Rayonnement entrant (W)}}{\text{Rayonnement solaire incident (W)}}$$

Le facteur solaire « g » d'un vitrage est le rapport entre l'énergie totale entrant dans le local à travers ce vitrage et l'énergie solaire incidente à l'extérieur de la paroi vitrée.

Cette énergie totale est la somme de l'énergie entrant par transmission directe, et de l'énergie cédée par le vitrage à l'ambiance intérieure à la suite de son échauffement par absorption énergétique.

Cette propriété du vitrage est généralement fournie dans la documentation technique et doit avoir été mesurée selon la norme EN 410.

→ Les gains internes

Une partie des apports gratuits en chaleur dans un bâtiment provient des gains internes.

Par gains internes, on entend la chaleur dégagée par le métabolisme des occupants, l'utilisation de l'éclairage artificiel, de l'eau chaude sanitaire et des appareils électroménagers.

Ces apports résultent notamment du fait que l'électricité consommée par les appareils électroménagers et par l'éclairage artificiel est dissipée sous forme de chaleur (incontrôlée) au sein du bâtiment. Ces gains internes sont évalués de manière forfaitaire en fonction du volume protégé du bâtiment.

→ 4 classes d'inertie thermique

Lourd

Le terme «lourd» s'applique aux bâtiments (ou secteurs énergétiques) dont au moins 90% de la surface des éléments de construction horizontaux, inclinés et verticaux sont massifs*.

Mi-lourd

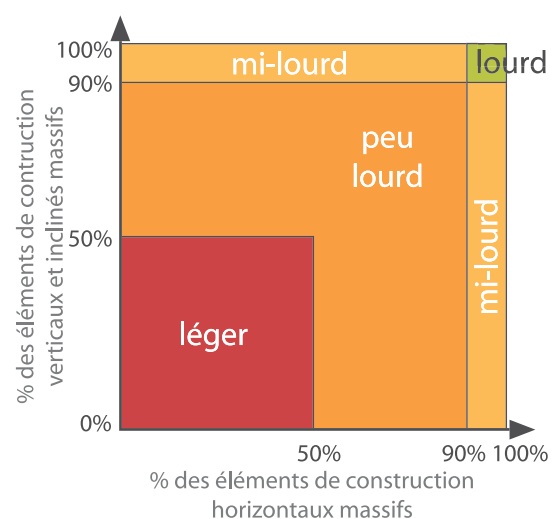
Le terme «mi-lourd» s'applique aux bâtiments (ou secteurs énergétiques) dont au moins 90% des éléments de construction horizontaux sont massifs* sans être protégés par une isolation intérieure, OU aux bâtiments dont au moins 90% des éléments de construction verticaux et inclinés sont massifs*.

Peu lourd

Le terme «peu-lourd» s'applique aux bâtiments (ou secteurs énergétiques) dont 50 à 90% des éléments de construction horizontaux sont massifs* sans être protégés par une isolation intérieure, OU aux bâtiments dont 50 à 90% des éléments de construction verticaux et inclinés sont massifs*.

Léger

Le terme «léger» s'applique à tous les autres bâtiments (ou secteurs énergétiques).



* Les éléments de construction sont considérés comme massifs si leur masse est d'au moins 100 kg/m², déterminée en partant de l'intérieur jusqu'à une lame d'air ou une couche de matériau de conductivité thermique inférieure à 0,20 W/mK.

E_w et E_{spec} : surchauffe et refroidissement

Bien orienter le bâtiment conduit à une économie grâce aux gains solaires. Mais lorsque ceux-ci sont exagérés, ils peuvent générer de la surchauffe en été. Le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} tiennent compte des besoins en énergie pour le refroidissement éventuel du bâtiment.

Un risque trop élevé de surchauffe est un critère d'exclusion de l'action « Construire avec l'énergie ».

➔ Indicateur de surchauffe et refroidissement

L'évaluation des besoins en énergie pour le refroidissement se fait en 3 étapes.

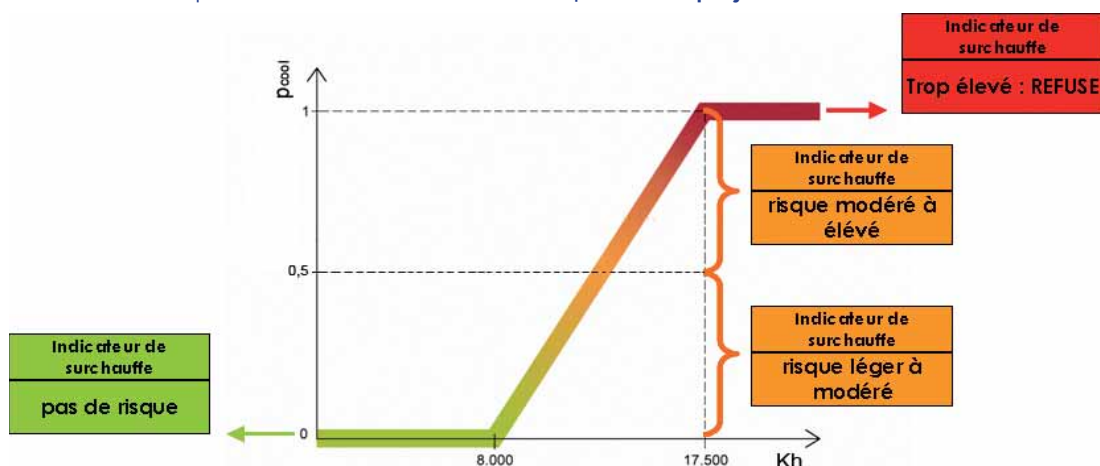
1. Indicateur de surchauffe

Les gains de chaleur normalisés excédentaires sont pris comme indicateur de surchauffe. L'unité de mesure est le Kelvin heure (Kh). Cet indicateur de surchauffe est fonction de l'inertie thermique du bâtiment et du rapport entre les gains (solaires et internes) et les pertes (par transmission et ventilation).

- Si l'indicateur de surchauffe est :
- inférieur à 8.000 Kh p^{cool} = 0
 - compris entre 8.000 et 17.500 Kh ... p^{cool} est comprise entre 0 et 1
 - supérieur à 17.500 Kh p^{cool} = 1, le projet est refusé.

2. Probabilité conventionnelle d'installation de refroidissement actif : p^{cool}

En fonction de l'indicateur de surchauffe, on définit une probabilité conventionnelle qu'une installation de refroidissement actif soit effectivement placée.



3. Besoin en énergie pour le refroidissement

Lorsque la p^{cool} n'est pas nulle, on évalue les besoins en énergie primaire pour le refroidissement.

Si l'installation d'un système de refroidissement actif :

- est prévue dans le projet : le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} tiennent compte de la consommation effective d'énergie pour le refroidissement.
- n'est pas prévue par l'auteur de projet : le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} prennent en compte une consommation fictive d'énergie pour le refroidissement, proportionnelle à la p^{cool}.

➔ Réduire les risques de surchauffe

Dans le cas d'un risque trop élevé de surchauffe, il faut obligatoirement prendre des mesures pour ramener l'indicateur de surchauffe en dessous de la valeur maximale admise, que l'on place ou non un refroidissement actif.

Si le risque est là, il peut être réduit, voire éliminé, grâce :

- à la réduction des surfaces vitrées ;
- au choix du vitrage (facteur solaire g plus ou moins élevé) ;
- à la mise en place de protections solaires (de préférence extérieures et automatisées) ;
- à l'augmentation de l'inertie thermique.

Tout cela, sans oublier l'importance de maximiser les apports gratuits en hiver pour réduire les besoins en énergie pour le chauffage !



Niveau Ew et consommation

Ew et Espec : chauffage

Les besoins nets en énergie pour le chauffage correspondent à ce qu'il faut apporter comme énergie pour compenser les déperditions (par transmission, in/exfiltration et ventilation), après avoir déduit les apports solaires et internes. Ces besoins nets doivent être couverts par un système de chauffage central ou local.

Tout système présente des pertes à différentes étapes, traduites par des rendements correspondants.

Les besoins finaux pour le chauffage correspondent à l'énergie totale nécessaire pour atteindre le confort recherché. Ils sont évalués sur base des besoins nets et les rendements du système de chauffage.

→ Chauffage central

La chaleur produite est transportée par un fluide caloporteur pour être émise dans différents espaces du bâtiment (exemple: chaudière + radiateurs).

Rendement d'émission - $\eta_{\text{émission}}$

- Est fonction de la variabilité ou non de la température de départ de la chaudière;
- du type de régulation de la température intérieure (vannes thermostatiques, thermostat d'ambiance...);
- de l'emplacement des éléments d'émission (devant les vitrages ou non).

Rendement de distribution - $\eta_{\text{distribution}}$

Est fonction de l'emplacement des conduites ou gaines de distribution (côté intérieur ou non de la couche d'isolation du volume protégé).

Rendement de stockage - η_{stockage}

Est fonction de la présence ou non d'un ballon de stockage pour le chauffage et de son emplacement, à l'intérieur ou non du volume protégé (à l'intérieur ou non du volume protégé).

Rendement de production - $\eta_{\text{production}}$

- Est fonction du type de combustible;
- du type d'appareil producteur de chaleur et du rendement correspondant;
- de sa régulation;
- de son emplacement (à l'intérieur ou non du volume protégé);
- éventuellement du type d'émetteur;
- de la température de retour du système.

☐ Pour une chaudière,

le rendement demandé est le rendement pour une charge partielle de 30% qui donne une image réaliste du rendement global annuel (donnée à fournir par le fabricant).

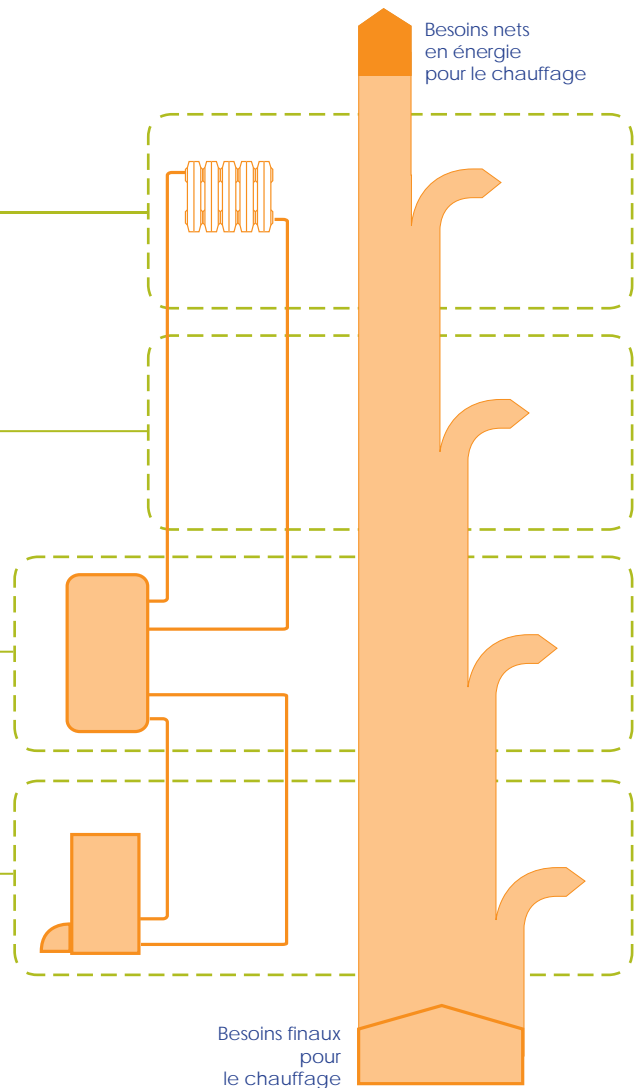
☐ Pour une chaudière à condensation,

la température d'entrée de la chaudière à laquelle le rendement à charge partielle a été déterminé est aussi demandée.

☐ Pour une pompe à chaleur,

le rendement de production est fonction :

- du COP (coefficient de performance) à fournir par le fabricant et évalué selon la EN 14511;
- du type de source froide (sol, eau, air);
- du type de fluide caloporteur (eau, air).



$$\text{Besoins finaux pour le chauffage} = \frac{\text{Besoins nets pour le chauffage}}{\eta_{\text{émission}} * \eta_{\text{distribution}} * \eta_{\text{stockage}} * \eta_{\text{production}}}$$

→ Chauffage local

La chaleur est produite dans le local où elle est émise (exemple: convecteur électrique).

Seuls les **rendements d'émission et de production** sont pris en compte; ils dépendent du type de foyer et de combustible.

Etant donné qu'il n'y a ni distribution, ni stockage, les rendements de distribution et de stockage sont dès lors considérés comme étant égaux à 100%.

→ Améliorer le rendement du chauffage central

Chaque composant d'une installation constitue un élément d'une chaîne dans laquelle il faut éviter tout maillon faible.

Pour l'émission :

- placer des vannes thermostatiques sur les radiateurs et convecteurs ;
- placer un thermostat d'ambiance avec horloge programmable ;
- privilégier une température de départ (de l'eau du circuit ou de l'air) qui puisse varier en fonction de la température extérieure, du thermostat...
- réguler la température de départ par zone et dans le temps (par exemple jour/nuit) selon l'occupation ;
- dimensionner correctement les radiateurs et les convecteurs (un système à basse température implique une plus grande surface d'émission des radiateurs) ;
- positionner les radiateurs devant des parois bien isolées (jamais devant un vitrage !) ;
- éviter les entraves à la transmission thermique telles que caches, niches, mobilier ou tentures placées au-dessus ou devant le radiateur ;
- en cas de chauffage par le sol, renforcer l'isolation thermique sous le serpentín (voir page 7).



Pour la distribution :

- arrêter le circulateur lorsque la demande de chauffage est nulle (nuit, période d'inoccupation) ;
- placer les tuyauteries à l'intérieur du volume protégé ;
- isoler thermiquement les tuyauteries (épaisseur de l'isolant de minimum 1cm).



Pour la production :

- privilégier une chaudière
 - au mazout avec le label Optimaz ou Optimaz Elite ;
 - au gaz avec le label HR+ ou HRtop ;
 - à bois satisfaisant la norme NBN En 12809, à chargement automatique exclusivement mono-combustible et au rendement de puissance utile nominale de minimum 60 % ;
- dimensionner le conduit de cheminée en fonction du type de chaudière.



→ Assurer la sécurité du chauffage local

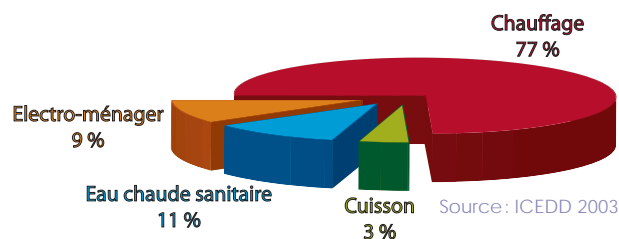
- Choisir des appareils de combustion étanche et munis du label HR (gaz) ou Optimaz (mazout) ;
- éviter les appareils au gaz équipés d'une veilleuse permanente.

Niveau E_w et consommation

E_w et E_{spec} : eau chaude sanitaire

Le calcul du niveau E_w et de la consommation spécifique E_{spec} intègrent les besoins en énergie pour l'eau chaude sanitaire (ECS). Ces besoins peuvent être réduits grâce au préchauffage solaire de l'eau.

La part de l'ECS représente en moyenne 11% de la consommation d'énergie dans les logements wallons. Pour des maisons particulièrement bien isolées, pourvues d'un système de ventilation et d'une installation de chauffage performants, la part de consommation due à l'ECS peut prendre des proportions beaucoup plus importantes.



→ Système d'eau chaude sanitaire

Les besoins nets en énergie pour l'ECS des douche(s) ou bain(s) et évier(s) de cuisine sont fixés conventionnellement en fonction du volume protégé du bâtiment.

La méthode considère que, quel que soit le nombre d'appareils installés ou le nombre d'occupants, les besoins nets sont identiques pour un même volume protégé.

L'évaluation des besoins bruts en énergie pour l'ECS fait intervenir le rendement de distribution. Ce rendement dépend de la longueur des conduites entre l'appareil producteur de chaleur et les différents points de puisage.

Des valeurs par défaut sont proposées dans le calcul. Ce rendement peut cependant être calculé par l'auteur de projet pour chaque point de puisage selon la longueur des conduites de distribution.

L'évaluation des besoins en énergie finale fait intervenir le rendement de production d'ECS, qui varie en fonction du type :

- d'installation (chauffage instantané ou avec stockage) ;
- d'appareil producteur d'ECS (appareil à combustion, chauffage électrique par résistance, pompe à chaleur...).

→ Solaire thermique

Sous nos latitudes, étant donné la distribution des heures d'ensoleillement concentrées sur quelques mois de l'année, environ 75% de l'énergie solaire est collectée entre avril et septembre, et les 25 % restants entre octobre et mars.

Lorsque l'ensoleillement est insuffisant, un système d'appoint porte l'eau préchauffée à la température souhaitée. Les capteurs solaires sont, idéalement, orientés entre le sud-est et le sud-ouest, et inclinés de 25° à 60° par rapport à l'horizontale.

La contribution du préchauffage solaire est fonction de la surface des capteurs, de leur pente et de leur orientation.



→ Faire les bons choix

Voici quelques points qui permettent d'améliorer le système d'ECS

- prévoir le préchauffage par capteurs solaires (*);
- proscrire toute veilleuse permanente pour le chauffe-bain ou chauffe-eau au gaz ;
- si un ballon (réservoir) d'eau chaude est prévu, s'assurer qu'il est bien isolé thermiquement et le placer, de préférence, en position verticale ;
- privilégier les canalisations les plus courtes possible ;
- concentrer les points de puisage et veiller à l'isolation thermique des conduites (épaisseur minimum d'isolant : 1 cm).

(*)A partir du 01.05.2010, aux fins de production d'ECS, il sera obligatoire de placer un ou plusieurs capteurs solaires thermiques ou tout autre système qui permet une économie d'énergie au moins équivalente à l'économie générée par ces capteurs, lorsque leur placement est techniquement justifié et qu'un rendement minimal est assuré.

E_w et E_{spec} : auxiliaires

Le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} intègrent les consommations d'énergie des auxiliaires. Ils tiennent également compte de la production d'électricité via le solaire photovoltaïque.

→ Prise en compte des auxiliaires

Les auxiliaires sont les appareils électriques, ou veilleuses, nécessaires au fonctionnement des installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire et de ventilation (circulateur, ventilateur...).

Dans la méthode de calcul du niveau E_w :

- Pour le chauffage local**, la consommation en énergie des auxiliaires ainsi que des éventuelles veilleuses a déjà été prise en compte dans le rendement de production.
- Pour le chauffage central**, la consommation d'énergie des auxiliaires est évaluée en fonction du type d'installation (présence de circulateur, ventilateur intégré à la chaudière, commande électronique de la chaudière...) et est proportionnelle au volume protégé du bâtiment.
- Pour les veilleuses**, la consommation éventuelle est également prise en compte (par défaut, la puissance d'une veilleuse est de 80 W).
- Pour la ventilation**, les valeurs par défaut pour le calcul de la puissance électrique des ventilateurs et les consommations qui en résultent sont fonction du volume protégé du bâtiment, du type d'installation (ventilation de type B, C ou D) et du type de ventilateur (à courant alternatif ou continu).

→ Solaire photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque transforme l'énergie solaire en énergie électrique. Sa performance dépend :

- de sa puissance crête* ;
- de sa pente ;
- de son orientation ;
- de son emplacement (intégré en toiture ou indépendant) ;
- du type de transformateur.

* La puissance crête (puissance nominale) d'un système photovoltaïque correspond à la puissance électrique délivrée par ce même système dans des conditions standard d'ensoleillement (1000 W/m²) et de température (25°C). La puissance crête correspond plus ou moins à la notion de puissance maximale. Elle doit être déterminée selon la EN IEC 60904-1.



→ Améliorer le niveau E_w

En résumé

- Renforcer l'isolation thermique du bâtiment.
- Soigner l'étanchéité à l'air du bâtiment et procéder à un test d'infiltrométrie pour mesurer le débit de fuite réel.
- Privilégier le système de ventilation à double flux avec récupérateur de chaleur.
- Choisir des systèmes de chauffage et de production d'ECS ayant des rendements élevés.
- Éviter le chauffage électrique : c'est le système le plus pénalisant au niveau de l'énergie primaire (facteur de conversion de 2,5 contre 1 pour les combustibles fossiles et la biomasse).
- Proscrire tout système de refroidissement actif et réduire le risque de surchauffe en calibrant la taille des surfaces vitrées, en optant pour des protections solaires extérieures télécommandées...
- Utiliser des systèmes de production utilisant une énergie renouvelable, en particulier chauffe-eau solaire et panneaux photovoltaïques.
- Limiter le nombre de veilleuses.

Niveau E_w et consommation

E_w et E_{spec} : secteurs énergétiques

Dans certains cas, le calcul du niveau E_w et de la consommation spécifique E_{spec} nécessite que l'on subdivise le bâtiment en secteurs énergétiques.

L'outil Excel mis à disposition sur le site de la Région wallonne permet de le faire pour deux secteurs maximum.

→ Subdivision en secteurs

Un bâtiment forme un seul secteur énergétique si les différents espaces qu'il comporte :

- appartiennent à la même zone de ventilation (un seul système de ventilation);
- sont dotés du même type de système d'émission de chaleur;
- sont chauffés par le même appareil de production de chaleur.

Dans une habitation, en général, il n'y a qu'un secteur énergétique car, le plus souvent :

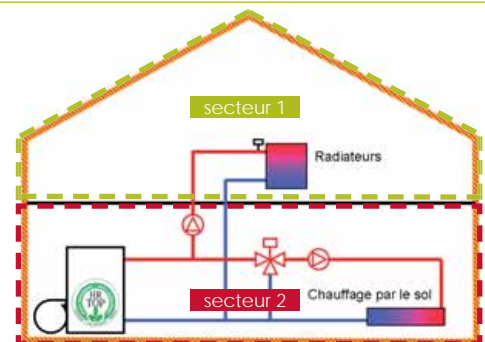
- il n'y a qu'un seul système de ventilation;
- tous les espaces sont chauffés de la même façon;
- et il n'y a qu'un seul appareil de production de chaleur.

C'est uniquement quand plusieurs types d'installations sont présents qu'il faut effectuer une subdivision en secteurs énergétiques comme décrit ci-dessous.

- Si les systèmes d'émission prévus dans différents espaces ont des efficacités différentes, il faut subdiviser le volume protégé en secteurs énergétiques. Dans le cas d'un système de chauffage central, cette subdivision n'est pas nécessaire si c'est le rendement d'émission du système le moins performant qui est pris en compte dans le calcul: on s'aligne sur le pire.
- Si plusieurs systèmes de production de chaleur fournissent séparément de la chaleur à différentes parties du volume protégé, il faut subdiviser le volume en plusieurs secteurs énergétiques sauf si les systèmes de production sont d'efficacités strictement identiques (deux fois la même chaudière par exemple).

Exemples de cas où il faut distinguer deux secteurs :

- chauffage par pompe à chaleur au rez-de-chaussée et chauffage électrique direct à l'étage;
- chauffage par le sol au rez-de-chaussée et radiateurs à l'étage alimentés par une même chaudière (le calcul peut cependant être réalisé en prenant en compte le rendement d'émission le moins bon).



Exceptions : que faire lorsque des systèmes de production différents chauffent un même espace ?

- Lorsqu'un appoint électrique complète un système de chauffage central, on ne prend en compte que les performances du système le plus défavorable, à savoir le chauffage électrique local.
- Par contre, lorsqu'un appoint local au bois (feu ouvert ou poêle à bois...) complète une émission de chaleur produite par un système de chauffage central, on considère que l'appoint ne fonctionne que par intermittence et on ne s'intéresse qu'aux caractéristiques du système de chauffage central.

→ Encoder les secteurs

Lorsqu'un bâtiment est subdivisé en plusieurs secteurs énergétiques, cela implique :

- d'indiquer le nombre de secteurs énergétiques lors de l'introduction des données pour le niveau K;
- de répartir les déperditions (les surfaces A_j , les valeurs U_j correspondantes et les ponts thermiques Ψ) entre les différents secteurs (attention, les parois situées entre deux secteurs séparent des espaces qui sont chauffés et ne font donc pas partie des surfaces de déperdition);
- de calculer le volume protégé V et la surface de plancher chauffé A_{ch} pour chaque secteur.

E_w et E_{spec} : immeuble à appartements

Un même immeuble peut accueillir plusieurs logements. Dans ce cas, le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} sont calculés distinctement pour chacun d'entre eux.

→ Calculer le niveau E_w par logement

Lorsque le bâtiment comporte plusieurs logements :

- calculer le niveau K pour l'ensemble de l'immeuble ;
- calculer le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} par appartement.

Si une même chaudière dessert l'ensemble des appartements, on introduit les mêmes caractéristiques pour l'appareil producteur de chaleur dans le calcul de chaque appartement.



Dans cet exemple, il faut calculer :
- 1 niveau K pour l'ensemble du bâtiment,
- 16 niveaux E_w correspondant aux 16 appartements.

Outil Excel téléchargeable

Cet outil de calcul, développé dans Excel 2003 dans le cadre de l'action « Construire avec l'énergie », permet d'évaluer la performance énergétique des bâtiments résidentiels en Région wallonne :

- calcul du niveau K ;
- vérification des U_{max} ;
- calcul du débit de ventilation hygiénique du bâtiment respectant les exigences de l'annexe V de l'arrêté du gouvernement wallon du 17.04.08 ;
- calcul du niveau E_w ;
- calcul de la consommation spécifique E_{spec}

Cet outil donne accès aux documents utiles pour participer à l'action « Construire avec l'énergie ».

Les formulaires nécessaires à l'obtention du permis d'urbanisme peuvent également être imprimés directement à partir de cet outil.

Il est téléchargeable à l'adresse suivante : <http://energie.wallonie.be>

Je Formulaire 1 Données pour le Niveau K Valeurs Umax Niveau K Ventilation Préchauffage air ventilation Niveau Ew Pompe à chaleur

Renseignements administratifs

Onglet d'introduction des données pour le calcul du niveau K : valeurs U_j et surfaces A_j des différentes parois, ponts thermiques, volume protégé et surface de plancher chauffé.

Formulaire de résultats du calcul du niveau d'isolation thermique globale K d'un bâtiment. Ce formulaire est identique à celui faisant partie du dossier de demande de permis d'urbanisme.

Données relatives à la ventilation afin de vérifier les exigences de l'annexe V (voir p12). Ce formulaire est identique à celui nécessaire à l'obtention du permis d'urbanisme.

Indications complémentaires en cas d'installation d'une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur.

Données complémentaires à encoder pour définir le niveau E_w et E_{spec} . Ces données concernent :

- les gains solaires au travers des fenêtres ;
- les déperditions par in/exfiltration et par ventilation ;
- l'inertie du bâtiment ;
- les besoins en énergie pour le chauffage ;
- les besoins en énergie pour les auxiliaires ;
- les besoins en énergie pour le refroidissement éventuel ;
- les besoins en énergie pour l'ECS.

Niveau K Ventilation Préchauffage air ventilation Niveau Ew Pompe à chaleur Synthèse des résultats An.5 particip An.6 attest Caract. installation

Données complémentaires à encoder en cas d'utilisation de pompe à chaleur

Déclaration de participation du projet à l'action « Construire avec l'énergie »

Demande de délivrance de l'attestation

Exemple

Un exemple pas à pas

Les pages qui suivent décrivent les modifications à apporter à un projet afin d'en améliorer la performance énergétique.

Le projet de base respecte les exigences réglementaires sur la performance énergétique des bâtiments qui seront d'application en Wallonie à partir du 01.05.2010.

Le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} diminuent au fur et à mesure des améliorations effectuées sur les postes suivants :

- isolation thermique ;
- étanchéité à l'air ;
- système de ventilation ;
- installation de chauffage.

PROJET RESPECTANT LA RÉGLEMENTATION PEB

• Isolation

Calcul du niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment soumis à la NBN S 62-011					
Partie de l'ouvrage	U _g (W/m²K)	A _g (m²)	U _g A _g (W/K)	U _g A _g (W/K)	U _g A _g (W/K)
1. Fenêtres, portes, portes, et autres parois transparentes	1,10	2,20	2,42	2,20	2,20
2. Portes extérieures et portes intérieures en contact avec des espaces non à l'abri du gel				1	
3. Murs extérieurs, façades		30,00		1	30,00
4. Toitures (plâtres ou inclines) ou dalles séparées en dessous de espaces non protégés				1	



K45

• Étanchéité à l'air

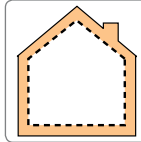
Niveau K	Niveau E _s	Consommation E _{spec} [kWh/m ² an]	Risque de surchauffe [%]
34	84	148	30

DEPERDITIONS PAR IN/EXFILTRATION ET PAR VENTILATION

Débit de fuite à 50 Pa : V₅₀ [m³/hm²]:

Valeur par défaut : 12

Valeur "objectif" ou mesurée : 3



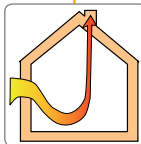
Étanchéité standard

• Ventilation

4. VENTILATION

Le bâtiment destiné au logement tel que précisé dans l'arrêté du Gouvernement Wallon du 15 février 1996 concernant les exigences relatives à l'isolation thermique et à la ventilation des bâtiments doit répondre aux exigences de la norme NBN D 50-001.

Système de ventilation		Aéro		Jointo	
1.1. Système A et C	1.2. Système A et B	1.3. Système A et C	1.4. Système A et B	1.5. Système A et C	1.6. Système A et B
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Ventilation naturelle

• Chauffage

Niveau K	Niveau E _w	Consommation E _{spec} [kWh/m ² an]	Risque de surchauffe [%]
34	49	88	30

Rendement de production "standard" : 88%

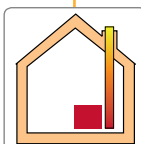
La température de départ de l'appareil de production de chaleur est-elle variable ?

La régulation de la température intérieure se fait-elle avec une commande par local (par ex. vannes thermostatiques) ?

Y-a-t-il un ou plusieurs éléments d'émission devant un vitrage ?

Rendement d'émission "standard" : 88%

Une partie des conduites ou des gaines sont-elles à l'extérieur de la couche d'isolation du volume protégé ?



Chauffage standard

PROJET « CONSTRUIRE AVEC L'ÉNERGIE »



K34
Isolation renforcée
voir page 24

Des informations complémentaires sur l'évolution du niveau E_w et E_{spec} sont données aux pages correspondantes.



V₅₀ = 3m³/hm²
Test d'infiltrométrie
voir page 26



Double flux + récupération de chaleur
voir page 28



Chaudière à condensation
voir page 29



Niveau K

Premier pas : mieux isoler

Pour chaque intervention sur le bâtiment encodée dans l'outil Excel, on peut en observer l'incidence dans un bandeau récapitulatif en haut de page. Ci-dessous, le bandeau du projet de base.

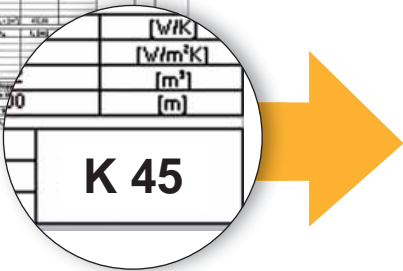
CRITÈRES RÉGLEMENTAIRES À PARTIR DU 01.05.2010

≤ 45	≤ 100	< 170	< 100
↑	↑	↑	↑
Niveau K	Niveau E _w	Consommation E _{spec} [kWh/m ² an]	Risque de surchauffe [%]
45	95	169	11
↓	↓	↓	↓
≤ 35	≤ 70	< 120	< 100

OBJECTIFS « CONSTRUIRE AVEC L'ÉNERGIE »

➔ Amélioration du niveau d'isolation thermique

Calcul du niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment selon le MNH 91-02-001						
Panneau de description	S ₀ (m ²)		S _{0,1} (m ²)		n ₀	S _{0,1} x n ₀ (m ²)
	Ext	Int	Ext	Int		
1 Parois latérales opaques, en autres parois traitées					0,28	412,86
2 Parois latérales en parois isolées en contact avec des espaces non chauffés	0,01	0,01	0,01	0,01	1	0,01
3 Murs extérieurs, opaques					0,00	0,00
4 Toiture (plane ou inclinée) ou planchers supérieurs en dessous des espaces non chauffés	0,01	0,01	0,01	0,01	0,238	0,238
5 Planchers au-dessus de l'entourage extérieur					1	1
6 Planchers au-dessus d'espaces chauffés non chauffés	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
7 Planchers au-dessus d'espaces chauffés chauffés					0,00	0,00
8 Planchers au sol					0,00	0,00
9 Murs extérieurs en contact avec l'extérieur (autres aspects)					0,00	0,00
10 Parois latérales en contact avec des espaces non chauffés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11 Parois en parois latérales en contact avec des espaces chauffés					0,00	0,00
Total	0,02	0,02	0,02	0,02		412,86
Panneau thermique						134,85 [W/K]
12 Isolation des dépressions de la toiture						0,33 [W/m²K]
13 Dépendance thermique de l'extérieur						412 [m²]
14 Coefficient global de transmission						1,00 [m]
15 Niveau global de l'isolation						K 45
16 Coefficient correcteur de l'isolation						



	Ψ_{01}	l_1 [m]	$\Psi_{01} l_1$	$\Sigma \Psi_{01} l_1$ [W/K]
contact avec l'abri du	0,28	57,24	15,91	15,91
autres en faces voisines				2/3
A_T = Σ A_j = [m²]		412,86		Σ a_j k_j A_j = [W/K] 134,85
de la				
thermiques de l'enveloppe				134,85 [W/K]
coefficient de transmission thermique k_s :				0,33 [W/m²K]
surface du bâtiment V :				412 [m²]
coefficient de transmission thermique du bâtiment V/A_T :				1,00 [m]
isolation globale du bâtiment	Si V/A _T ≤ 1 : K = k _s x 100 Si 1 < V/A _T < 4 : K = k _s x 300 / (V/A _T + 2) Si V/A _T ≥ 4 : K = k _s x 50			K 34

En renforçant l'isolation thermique des différentes parois, le niveau K est amélioré : K34.

Cette option permet de passer à un niveau E_w 84 et à une consommation E_{spec} de 148 kWh/m²an.

Cela se traduit par une **diminution des consommations** mais il faut toutefois remarquer que ce renforcement de l'isolation amène un **risque de surchauffe**, d'où une consommation fictive en énergie pour le refroidissement (voir page 15) qui était moindre avec le bâtiment K45. En effet, étant mieux isolé, le bâtiment conserve mieux tout apport de chaleur dans le volume protégé.

Niveau K	Niveau E _w	Consommation E _{spec} [kWh/m ² an]	Risque de surchauffe [%]
34	84	148	30

En pratique

→ Protéger les isolants

Pendant toute la durée du chantier, il faut protéger les isolants ; ce sont des matériaux fragiles et souvent sensibles à l'humidité. Pour cela :

- suivre les instructions du fabricant ;
- les stocker soigneusement à l'abri de l'eau ;
- protéger les têtes de mur en fin de chaque journée de travail.



→ Soigner la mise en oeuvre

- Le choix du matériau doit être adapté au type de paroi à réaliser.
- Les épaisseurs doivent être respectées lors de la mise en oeuvre.
- Assurer la parfaite continuité de l'isolant dans ou sur la paroi implique beaucoup de soin de mise en oeuvre :
 - pose parfaitement jointive des différents panneaux ;
 - fixation mécanique ou collage suivant les prescriptions du fabricant ;
 - insufflation en respectant les pressions prescrites par le fabricant ;
 - angles parfaitement jointifs...



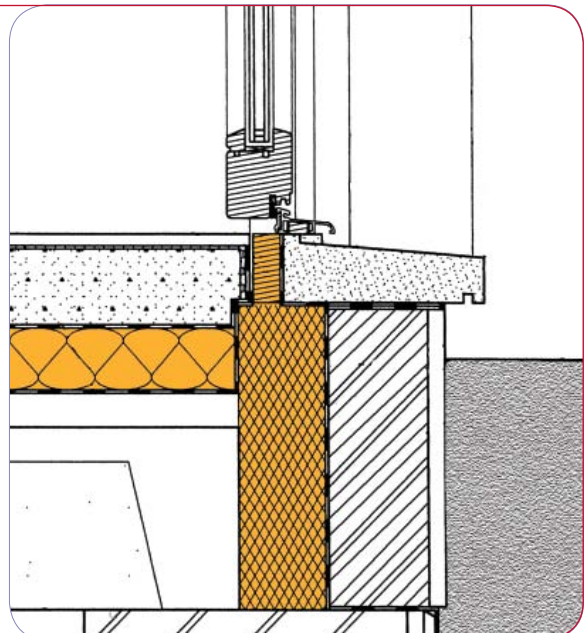
→ Résoudre les ponts thermiques

Il est aisé d'indiquer sur le formulaire K qu'il n'y a pas de pont thermique. Encore faut-il y parvenir au niveau de la réalisation sur chantier.

Vouloir résoudre ces problèmes sur chantier mène à des solutions bancales, insatisfaisantes et entraîne souvent des suppléments financiers désagréables.

L'exécution soignée des ouvrages de raccord passe par trois phases importantes :

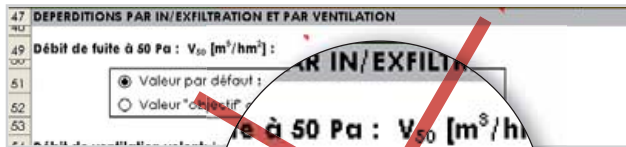
- lors de la conception, réaliser des plans de détails précis ;
- pour l'appel d'offres, joindre ces plans aux documents de soumission ;
- sur chantier, assurer la qualité de mise en oeuvre par le respect des prescriptions renseignées sur ces documents.



Étanchéité à l'air

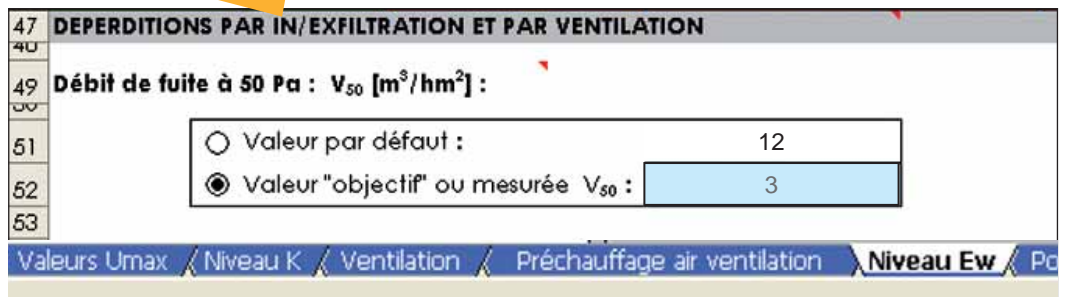
Deuxième pas : améliorer l'étanchéité à l'air

➔ Valeur « objectif » $v_{50} \leq 6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$



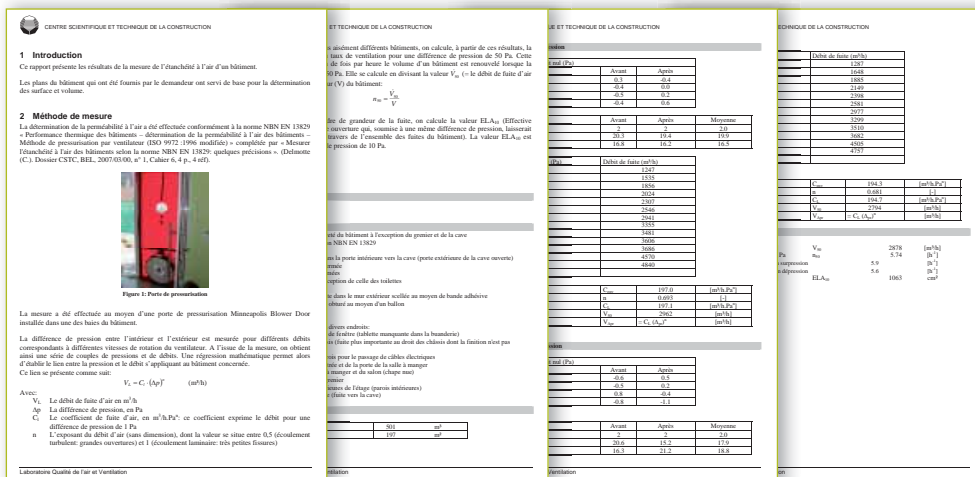
Le débit de fuite à 50Pa (v_{50}) par m^2 d'enveloppe de déperdition caractérise l'étanchéité à l'air du bâtiment.

La valeur par défaut de $12 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ne peut être choisie dans l'action « Construire avec l'énergie ». Un test d'infiltrométrie doit être réalisé et présenter une valeur $v_{50} \leq 6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ pour que le dossier final soit accepté.



➔ Mesure de l'étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air doit être mesurée conformément à la NBN EN 13829 et aux spécifications complémentaires reprises sur le site www.epbd.be dans l'onglet « Mesure de l'étanchéité ».



Le rapport indique la valeur V_{50} qui permet de calculer le v_{50} à encoder dans l'outil Excel (voir page 13).

L'impact d'une bonne étanchéité à l'air, validée par un test d'infiltrométrie, est important sur le niveau E_{wv} . Il se traduit aussi par une réduction substantielle de la consommation E_{spec} .

Niveau K	Niveau E_w	Consommation E_{spec} [kWh/m ² an]	Risque de surchauffe [%]
34	70	124	30

En pratique

→ Définir et positionner les couches étanches à l'air

Le concepteur doit déterminer l'emplacement du « plan d'étanchéité » pour chaque paroi ainsi que les raccords entre ces différents plans.

Les membranes qui vont assurer l'étanchéité à l'air doivent être clairement définies: les identifier en mentionnant la marque exacte ou un descriptif précis.

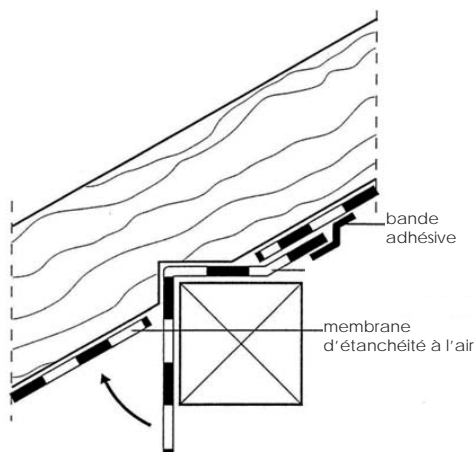
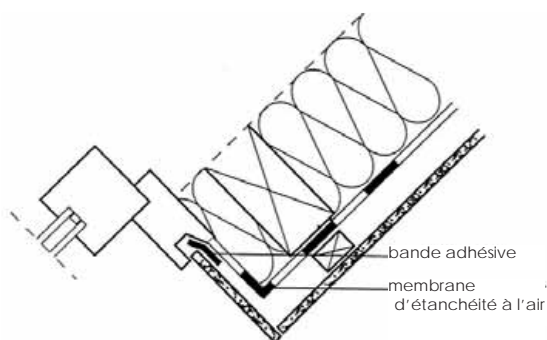


→ Assurer des raccords étanches

L'étanchéité à l'air ne s'improvise pas sur chantier. Elle doit avoir été soigneusement étudiée par l'architecte et concrétisée dans des détails précis.

Sur chantier, on veillera :

- assurer la parfaite étanchéité aux raccords entre:
 - les parois, le toit, les planchers, etc ;
 - les murs et les châssis ;
 - la toiture et les fenêtres de toiture ;
 - les canalisations, les gaines et les parois traversées.
- assurer des raccords bien étanches entre les lés des membranes en utilisant les adhésifs adéquats.



Troisième pas : récupérer la chaleur

➔ Choix d'un système avec récupération de chaleur

Système de ventilation

	A	B		
fenêtres	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>		
murs extérieurs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
portes extérieures	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.1. Système choisi : D

1.2. Système A et C : fenêtres, murs extérieurs

OAR des locaux principaux :

Le choix du système D avec récupération de chaleur implique de remplir l'onglet « Préchauffage air ventilation »

Rendement thermique de l'appareil récupérateur

Des valeurs sont fournies à titre d'exemple dans l'outil Excel. Celles-ci peuvent être utilisées lors du dossier initial mais **elles devront être justifiées par des données du fabricant lors de la demande d'attestation.**

Les échangeurs de chaleur d'une ventilation mécanique double flux ont des rendements fort variables :

- échangeur à flux croisé : rendement de 50 à 70% ;
- échangeur rotatif : rendement de 70 à 80% ;
- échangeur à contre-flux : rendement de 80 à 90%.

By-pass de l'échangeur de l'installation de ventilation double flux

Le by-pass permet une interruption totale ou partielle du flux d'air au travers de l'échangeur de chaleur afin d'éviter de préchauffer l'air en été.

Débit d'air entrant dans l'échangeur/sortant de l'échangeur

Pour une première approximation de ces valeurs lors du dossier initial, on peut utiliser, pour les débits entrant et sortant, la valeur du débit de ventilation hygiénique calculé selon la NBN D 50-001.

Lors du dossier final, les débits correspondant à l'installation réalisée devront être mentionnés.

Un PV de mesurage des débits devra être fourni.

Préchauffage air ventilation Outil de calcul PEB - CALE 2

Ventilation mécanique double flux : préchauffage de l'air de ventilation

Quelle est la valeur du rendement thermique de l'appareil récupérateur (mesuré selon la EN 308) ? %

Remarque : Pour bénéficier de la prime pour l'installation d'une ventilation mécanique double flux à récupération de chaleur, l'échangeur thermique doit avoir un rendement minimum de 85% suivant la norme NBN EN 308. Pour plus d'info consultez : <http://energie.wallonie.be/xml/doc.html?IDD=9492>

Y-a-t-il une mesure continue des débits entrant et sortant permettant une adaptation continue et automatique des débits par rapport aux valeurs de consigne ?

Y-a-t-il un bypass ? NE permettant PAS l'interruption TOTALE du débit d'air neuf dans l'échangeur

débit d'air entrant dans l'échangeur [m³/h]
 débit d'air sortant de l'échangeur [m³/h]

Résultats :

facteur de réduction pour le préchauffage de l'air de ventilation :

pour le chauffage : rpreh,heat

pour le calcul du risque de surchauffe et du refroidissement : rpreh,cool

Opter pour la ventilation double flux avec récupération de chaleur contribue fortement à améliorer la performance énergétique du bâtiment.

Niveau K	Niveau E _w	Consommation E _{spec} [kWh/m²an]	Risque de surchauffe [%]
34	53	93	30

Quatrième pas : augmenter le rendement

➔ Amélioration du système de chauffage

Nouvelle amélioration : par exemple, placement d'une chaudière à condensation dont le rendement attesté est de 101 %.

Rappel : les valeurs demandées sont le rendement à charge partielle pour une charge de 30 % ainsi que la température d'entrée de la chaudière à laquelle le rendement à charge partielle a été déterminé (données à fournir par le fabricant).

Type de combustible si chauffage central : gaz naturel

Type d'appareil de production de chaleur : chaudière à eau chaude à condensation

Rendement à charge partielle pour une charge de 30% (si générateur d'air chaud et que le rendement à 30% de charge ne peut être mesuré, alors valeur à 100% de charge) " $\eta_{30\%}$ " : 101 %

Si chaudière à eau chaude à condensation :

Type d'émetteur : chauffage de surface (par sol, mur, plafond)

Température de retour de conception du système d'émission de chaleur " $\theta_{return,design}$ " : température par défaut

Température d'entrée de la chaudière à laquelle le rendement à charge partielle a été déterminé:
 $\theta_{30\%}$: 30 °C

Si chaudière à eau chaude à condensation et non à condensation :
 La chaudière est-elle équipée d'une régulation qui la maintient chaude en permanence et donc aussi pendant les période sans demande de chaleur ? non

Si pompe à chaleur, facteur de performance saisonnière moyen (FPS) :
 Valeur calculée du FPS :

L'appareil de production est-il installé en dehors du volume protégé ? non

Rendement de production " $\eta_{gen,heat,sec 1}$ " : 90%

L'installation d'une chaudière performante participe également à la diminution du niveau E_w et de la consommation spécifique E_{spec} .

En améliorant l'isolation thermique, en soignant l'étanchéité à l'air et en installant un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur, les besoins en énergie pour le chauffage ont été fortement réduits.

C'est pourquoi l'amélioration du système de chauffage, à ce stade du calcul, a moins d'influence sur le niveau E_w et la consommation spécifique E_{spec} .

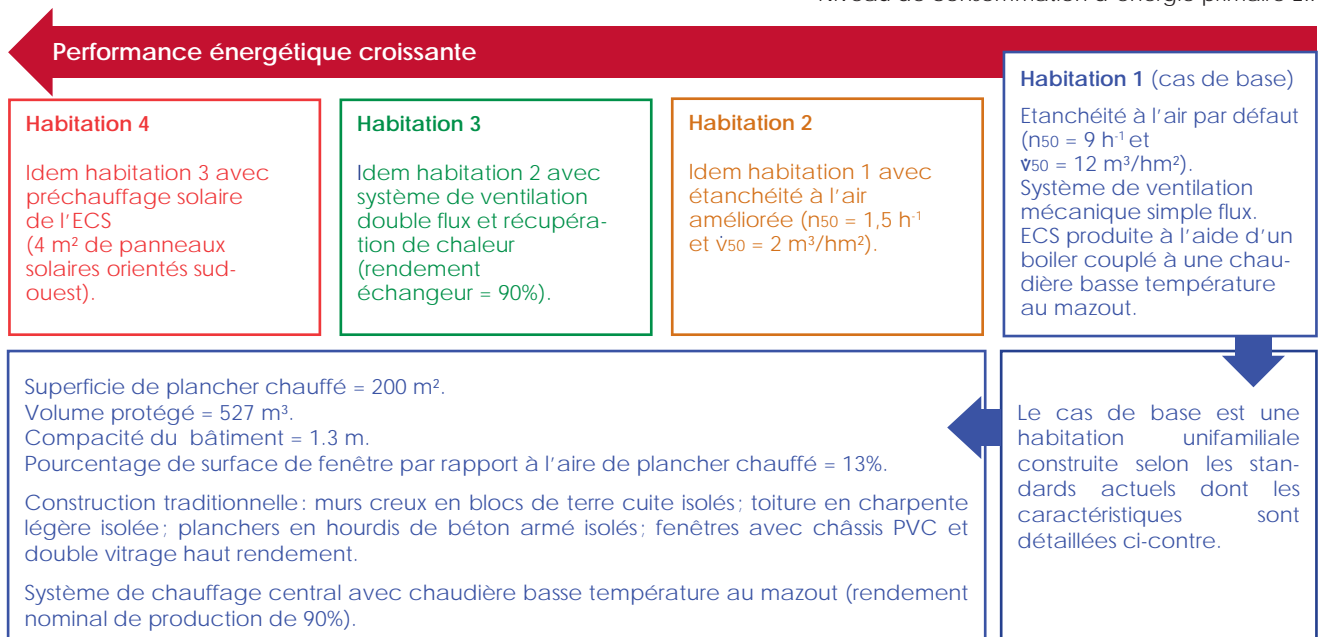
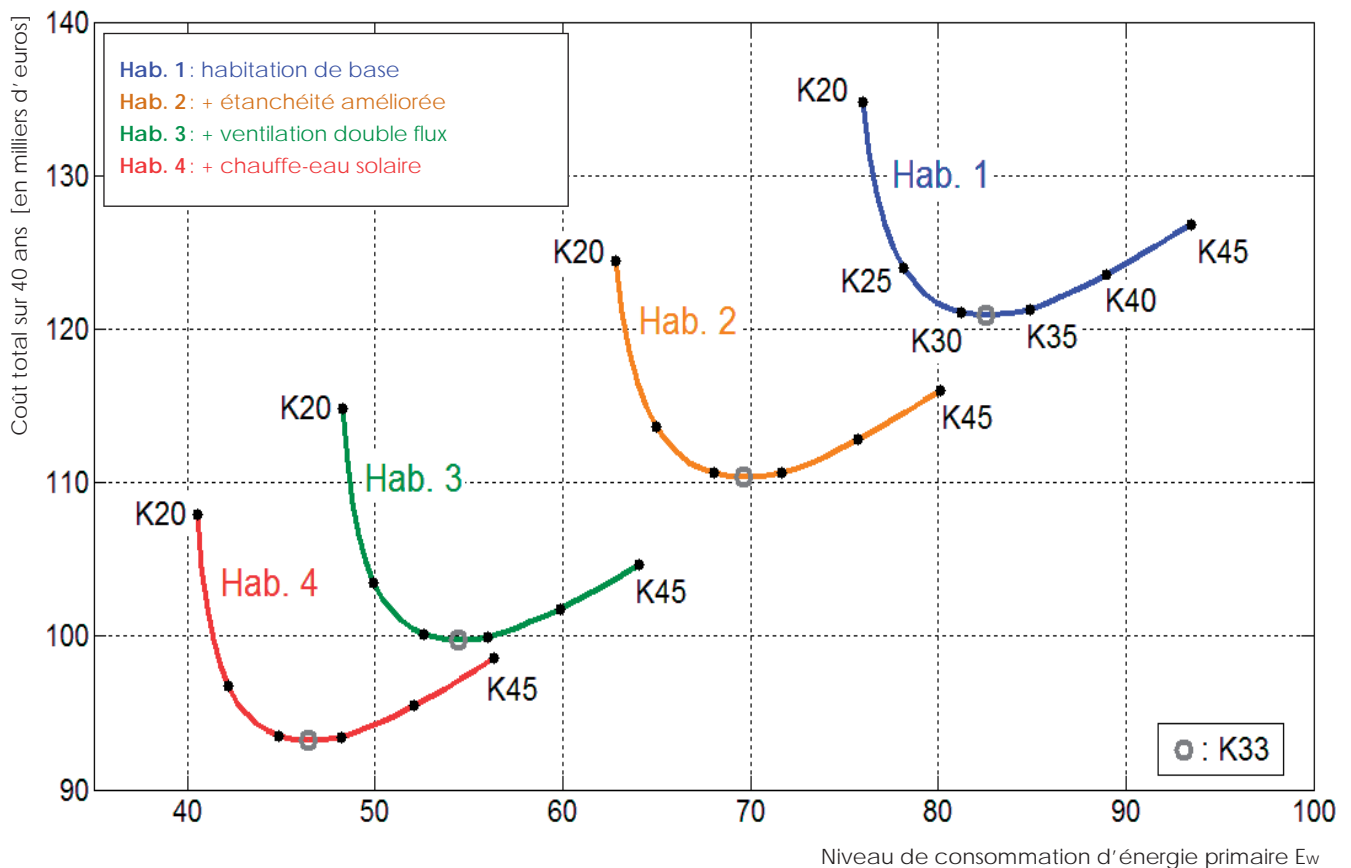
Niveau K	Niveau E_w	Consommation E_{spec} [kWh/m²an]	Risque de surchauffe [%]
34	49	88	30

Rentabilité économique

La rentabilité économique des investissements en matière d'énergie a été analysée au travers de l'étude [1] d'une habitation unifamiliale à 4 façades représentative de standards actuels.

→ Variantes étudiées

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau E_w et du coût total sur 40 ans (voir ci-contre) en fonction du niveau d'isolation thermique globale K (allant de K45 à K20) pour 4 variantes qui diffèrent par leur niveau d'étanchéité, leur système de ventilation et l'utilisation éventuelle d'un chauffe-eau solaire.



[1] RENARD F., NOURRICIER S., DI PIETRANTONIO M., FELDHEIM V., « Etude économique », FPMs, Construire avec l'énergie, Ministère de la Région wallonne – DGTRE, 2008. Données actualisées (voir hypothèses ci-contre).

→ Hypothèses

- ❑ les prix de l'énergie considérés proviennent des relevés statistiques publiés par l'APERe en octobre 2008 (Mazout : 0,79 €/litre ; électricité bihoraire : 22.25 c€/kWh).
- ❑ l'augmentation future du prix de l'énergie a été évaluée selon un scénario proposé par une étude réalisée en 2004 pour la Communauté européenne intitulée « European energy and transport scenarios on key drivers » ;
- ❑ les différentes primes et déductions fiscales possibles en Région wallonne (octobre 2008) sont prises en compte ;
- ❑ l'entière du coût initial de l'habitation est supposé emprunté. Un crédit à taux fixe ($t_c = 5.3\%$) et à montant d'échéance fixe sur 25 ans a été considéré. Un taux d'actualisation de 4.8 % a été retenu ;
- ❑ le coût total intègre également le remplacement des équipements dont la durée de vie est inférieure à 40 ans.

→ Coût total et rentabilité

Le **coût total** sur la durée d'utilisation de l'habitation (40 ans) comprend le coût total de toutes les consommations énergétiques ainsi que les coûts pour l'isolation, les vitrages, le système de ventilation, l'étanchéité à l'air et le chauffe-eau solaire éventuel.

Pour une habitation donnée, l'habitation 1 par exemple, chaque courbe est graduée en fonction du niveau d'isolation thermique K. En partant du niveau K45 satisfaisant simplement à la nouvelle réglementation thermique en vigueur depuis le 1er septembre 2008, on constate que le coût total diminue conjointement avec son niveau K, jusqu'à un certain seuil. Cette diminution s'explique car le surcoût à la construction engendré par l'isolation supplémentaire est plus que compensé par les gains financiers engendrés par les économies d'énergie réalisées.

Mais pour chaque variante de l'habitation étudiée, le coût total ne diminue que jusqu'à un niveau K proche de K33. Au-delà de cette valeur, le surcoût dû à l'isolation n'est plus compensé par la réduction de la facture énergétique de sorte que le coût total sur 40 ans augmente rapidement. De plus, au-delà de certaines épaisseurs des matériaux isolants, l'isolation supplémentaire provoque une surcharge des murs de fondation qui augmente d'autant le coût de la construction. Le choix de réaliser des façades à ossature facilitant la pose d'isolation en grandes épaisseurs retarderait cette remontée du coût.

Pour l'habitation étudiée et pour les hypothèses économiques utilisées, un niveau d'isolation K33 correspond à l'optimum économique actuel. Mais cette valeur n'est pas unique pour toutes les nouvelles constructions unifamiliales. Elle dépend notamment de la compacité, du dimensionnement des vitrages, de l'orientation du bâtiment, du prix des matériaux et de leur mise en œuvre, etc.

Le niveau K optimal peut donc varier selon ces paramètres autour de K33.

Outre l'isolation des parois opaques, le soin apporté au niveau de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe est également primordial pour réduire la consommation en énergie primaire et le coût total d'une habitation. Cette bonne étanchéité permet, en effet, de diminuer fortement les pertes de chaleur dues au passage de l'air à travers les fissures, interstices et autres défauts de l'enveloppe. La figure ci-contre montre qu'en agissant uniquement sur l'étanchéité à l'air de l'habitation 1, le niveau E_w diminue de 13 points et permet une économie d'environ 4700 kWh chaque année (± 470 l de mazout).

Pour assurer la ventilation hygiénique des locaux, la ventilation double flux avec échangeur de chaleur est le système le plus performant actuellement. Un tel échangeur permet de récupérer la chaleur de l'air extrait pour réchauffer l'air entrant. Les pertes de chaleur dues à la ventilation sont ainsi réduites significativement. Pour la maison étudiée, le niveau E_w diminue de 16 points et un gain de ± 600 l de mazout est enregistré chaque année grâce à ce système de ventilation.

Ensuite, lorsque les consommations d'énergie ont été réduites au maximum par action sur l'enveloppe du bâtiment, il y a lieu de s'intéresser aux rendements des installations techniques de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire et, enfin, aux systèmes de production d'énergie renouvelable tels que des panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques. A titre d'exemple, la variante 4 de la figure ci-contre utilise un chauffe-eau solaire avec 4 m² de panneaux pour la production d'eau chaude sanitaire. Ce système permet un gain de 8 points de niveau E_w et d'environ 280 l de mazout chaque année.

→ Viser une performance énergétique économiquement rentable

En conclusion Pour améliorer la performance énergétique d'une habitation et garantir une bonne rentabilité des investissements consentis, les choix techniques sont, dans l'ordre de priorité :

1. renforcer l'isolation thermique de l'enveloppe ;
2. augmenter l'étanchéité à l'air de l'enveloppe ;
3. utiliser un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur ;
4. choisir des systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire avec des rendements élevés ;
5. opter pour des systèmes de production d'énergie renouvelable.

↑ Contacts

Téléphone pour les professionnels : **0478 55 55 82**.

Téléphone pour les particuliers (guichets de l'énergie) : **078 15 00 06**.

Le texte de la charte « Construire avec l'énergie » et la liste nominative des architectes et entreprises partenaires sont disponibles sur le site internet : <http://energie.wallonie.be>.

↑ Guides pratiques pour architectes



La conception globale de l'enveloppe de l'énergie



L'isolation thermique des façades à structure bois



L'isolation thermique des toitures plates



L'isolation thermique des façades verticales



La fenêtre et la gestion de l'énergie



La ventilation et l'énergie



L'isolation thermique des murs creux



L'isolation thermique des toitures inclinées



La rénovation et l'énergie

Ces guides pratiques peuvent être téléchargés ou commandés en ligne sur le site de la Région wallonne renseigné ci-dessus.

↑ Brochures techniques



Isolation thermique des murs creux



Les fenêtres



Le chauffage central dans les habitations



Isolation thermique des murs pleins



Condensation & moisissures



Le chauffage par foyers indépendants



Isolation thermique de la toiture inclinée



La ventilation des logements



Les cheminées



Isolation thermique de la toiture plate



Isolation du bâtiment et puissance de la chaudière



L'eau chaude sanitaire

Toutes ces brochures peuvent être téléchargées ou commandées en ligne sur le site de la Région wallonne renseigné ci-dessus.

↑ Conception

La réalisation de cette brochure a été confiée à l'Université de Liège :
Géraldine Dupont & Jean-Marie Hauglustaine (Energy & SuD),
Paul Wagelmans, Jean-Marc Guillemeau & Jean-Louis Wagelmans (CIFIUL).

Sources des illustrations : les photographies ont été fournies par des organismes, des architectes et des entrepreneurs - tous partenaires de l'action « Construire avec l'énergie » - ou proviennent de documentations techniques de matériaux.