

Exemple de calcul rapide des déperditions thermiques d'un local d'habitation

Note : Le composant `AppartementEtudeThermiqueSimple.spb` utilisé dans la simulation, est basé sur la méthode décrite ci-dessous. Mais ce composant tiendra également compte de la capacité thermique de l'air sec afin de pouvoir visualiser l'évolution lente de la température.

l) Méthode de calcul (basée sur le coefficient $U_{bât}$ [W/m^2K]) de la puissance minimale de chauffage nécessaire :

Ce calcul doit se faire en deux temps :

- déterminer le coefficient de déperditions, noté D_p , lié au bâtiment ;
- prendre en compte l'écart maximal de températures.

a) Calcul de la valeur du coefficient de déperditions du bâtiment (D_p) en intégrant la ventilation du bâtiment :

$$D_p [W/K] = U_{bât} [W/m^2K] \times S_{dép} [m^2] + R [W/m^3K] \times V_h [m^3]$$

avec :

D_p [$W/K \Leftrightarrow W/^\circ C$] : Coefficient de déperditions du bâtiment

$U_{bât}$ [W/m^2K] : Coefficient de transmission surfacique (correspond à une valeur moyenne pour le bâtiment)

Pour une précision optimale, $U_{bât}$ peut être déterminé à partir des caractéristiques réelles des parois concernées (caractéristiques des matériaux isolants avec prise en compte des ouvrants).

On peut toutefois partir d'une valeur empirique de $U_{bât}$, pour un bâtiment donné, en fonction de sa date de construction (ceci est cohérent car les bâtiments doivent toujours respecter les réglementations thermiques en cours).

$U_{bât} = 0,3$: maison avec une isolation exceptionnelle

$U_{bât} = 0,4$: excellente isolation sans ponts thermiques

$U_{bât} = 0,75$: maisons à isolation conventionnelle "RT2005" et réalisées de 2007 à 2012

$U_{bât} = 0,8$: maisons à isolation conventionnelle "RT2000" et réalisées de 2001 à 2006

$U_{bât} = 0,95$: maisons construites entre 1990 et 2000

$U_{bât} = 1,15$: maisons construites entre 1983 et 1989

$U_{bât} = 1,4$: maisons construites entre 1974 et 1982

$U_{bât} = 1,8$: maison non isolée (murs, combles) et à menuiseries simples vitrage.

$S_{dép}$ [m^2] : Somme des surfaces des parois concernées par l'échange thermique

V_h [m^3] : Volume habitable (globalement, le volume d'air)

R [W/m^3K] : Coefficient dépendant du type de ventilation et du volume d'air renouvelé en une heure

$R \approx 0,2 W/m^3K$ (pour un renouvellement d'air d'environ 15 à 25 m^3/h avec une VMC simple flux)

b) Calcul, dans le pire des cas, des déperditions thermiques d'une habitation :

$$P_{MinChauffage} [W] = Déperditions [W] = D_p [W/K] \times (Temp. confort [^\circ C] - Temp. ext base [^\circ C])$$

avec :

Déperditions [W] : Déperditions thermiques pour une température extérieure déduite du lieu d'habitation

D_p [$W/K \Leftrightarrow W/^\circ C$] : Coefficient de déperditions du bâtiment (calculé précédemment)

Temp. confort [$^\circ C$] : Température de confort désirée (exemple : Temp. confort = 20 $^\circ C$)

Temp. ext base [$^\circ C$] : Température extérieure de base du lieu d'habitation, dite température de base hiver

Cette donnée dépend de l'altitude et de la zone (ex : Temp. ext base ≈ -5 $^\circ C$ en charente/charente maritime)

c) Application (dimensionnement d'un chauffage électrique pour un studio) :

Soit un studio de 35 m^2 ($LHP = 7 m \times 2,5 m \times 5 m$), dans un immeuble bâti en 2004, situé en charente/charente maritime.

On considèrera que, dans un immeuble, seuls 2 murs sur les 4 seront concernés par l'échange thermique :

$$D_{pstudio} = U_{bât} \times S_{dép} + R \times V_h = 0,8 \times ((7 + 5) \times 2,5) + 0,2 \times (7 \times 5 \times 2,5) = 24 + 17,5 = 41,5 W/K \text{ (ou } 41,5 W/^\circ C)$$

=> En considérant que la température de base hiver est de -5 $^\circ C$

$$P_{MinChauffage} = 41,5 \times (20 - (-5)) \approx 1038 W \text{ (=> On choisira logiquement un convecteur électrique de 1500 W à 2000 W)}$$

II) Méthode de calcul (basée sur le coefficient $U_{bât}$ [W/m^2K]) du coût annuel pour le chauffage de cette habitation :

Ce calcul est ici décomposé :

- déterminer l'énergie annuelle nécessaire ;
- déterminer, pour un type de chauffage, le coût annuel (*ici, solution électrique retenue, pas d'entretien par ailleurs*).

a) Calcul de l'énergie annuelle nécessaire pour chauffer le bâtiment :

$$Q \text{ [kWh]} = D_p \text{ [W/K]} \times DJU \text{ [}^\circ\text{C]} \times 24 \text{ [h]}$$

avec :

- Q [kWh] : Quantité d'énergie utilisée pour le chauffage sur un an
 D_p [W/K \Leftrightarrow W/ $^\circ$ C] : Coefficient de déperditions du bâtiment (*calculé précédemment*)
 DJU [$^\circ$ C] : : ($DJU = \text{degré jour unifié}$) Donnée statistique déduite de la météo permettant de réaliser des estimations de la consommation d'énergie thermique pour maintenir un bâtiment à une température confortable. (*Exemple : $DJU_{1617} \approx 2100$ $^\circ$ CJ en charente/charente maritime*)

b) Calcul du coût annuel pour un chauffage par convecteur électrique :

$$C \text{ [€]} = Q \text{ [kWh]} \times \text{TarifEdf} \text{ [€/kWh]}$$

avec :

- C [€] : Coût annuel, pour un chauffage électrique, basé sur le tarif EDF actuel
 Q [kWh] : Quantité d'énergie utilisée pour le chauffage sur un an (*calculé précédemment*)
 TarifEdf [€/kWh] : Coût du kWh consommé (*actuellement, en France, en 2020, Tarif électricité $\approx 0,16$ €*)

c) Application (coût annuel pour un studio) :

Pour ce studio de 35 m², situé en charente/charente maritime, $D_{p\text{studio}} = 41,5$ W/K (*avec 17,5 W/K dus à la VMC*)

$$Q_{\text{studio}} = D_{p\text{studio}} \times DJU_{1617} \times 24 = 41,5 \times 2100 \times 24 \approx 2092 \text{ kWh}$$

=> En considérant que ce studio est chauffé par un convecteur électrique au tarif de 0,16 €, le kiloWatt heure

$$C_{\text{studio}} = Q_{\text{studio}} \times \text{TarifEdf}_{2020} = 2092 \times 0,16 \approx 335 \text{ €} \text{ (=> Coût moyen basé sur les statistiques météo)}$$

A noter que la ventilation par VMC simple flux correspond à un coût de $17,5 \times 2100 \times 24 \times 0,16$ soit 141 €

III) Modélisation du composant : AppartementEtudeThermiqueSimple.spb :

a) Principe :

Elle correspond à la mise en parallèle d'une résistance thermique R_{th} et d'une capacité thermique C_{th} .

R_{th} est équivalente à 2 résistances en parallèle R_{th1} et R_{th2} :

R_{th1} correspond aux pertes à travers les parois : $R_{th1} \text{ [K/W]} = 1 / (U_{bât} \text{ [W/m}^2\text{K]} \times \text{SurfaceEchange} \text{ [m}^2\text{)})$

R_{th2} correspond aux pertes liées à la ventilation : $R_{th2} \text{ [K/W]} = 1 / \text{DéperditionVentilation}$

(*le calcul de la déperdition due au renouvellement de l'air étant le produit du débit de la ventilation [m^3/h] par la densité de l'air [kg/m^3] et la capacité thermique massique de l'air [J/kgK])*)

$C_{th} \text{ [J/K]}$ est le produit de masse de l'air à chauffer [kg] par la capacité thermique massique de l'air [J/kgK]

b) Analogie avec le domaine électrique :

Différence de température [K (ou $^\circ$ C)] \Leftrightarrow Différence de potentiel [V], Flux de chaleur [W] \Leftrightarrow Courant électrique (*flux d'électrons*) [A],

Résistance thermique [K/W (ou $^\circ$ C/W)] \Leftrightarrow Résistance électrique [$\Omega \Leftrightarrow$ V/A], Capacité thermique [J/K] \Leftrightarrow Capacité électrique [F \Leftrightarrow C/V]

Equation différentielle dans le domaine électrique :

$$i = i_{r1} + i_{r2} + i_c \Rightarrow i_c = i - i_{r1} - i_{r2} \text{ avec } i_{r1} = V_c / R_1 \quad i_{r2} = V_c / R_2 \quad \text{et } i_c = C \times dV_c / dt = C \times V_c'$$

$$V_c' = i_c / C \Rightarrow V_c' = (i - V_c \times (1/R_1 + 1/R_2)) / C \quad (\text{forme classique préconisée dans les composants Sinusphy})$$

Equation différentielle dans le domaine thermique du bâtiment (*dont la particularité est de prendre en compte les dimensions*) :

Il est à noter que, dans ce cas, l'équation est plus complexe car les résistances thermiques et la capacité thermique sont à calculer

$$T' = (P[W] - (T_{int}[K] - T_{ext}[K]) \times (U_{bât}[W/m^2K] \times S_{Echange}[m^2] + \text{Debit}[m^3/s] \times \rho_{air}[kg/m^3] \times C_{thm_{air}}[J/kgK])) / (Vh[m^3] \times \rho_{air}[kg/m^3] \times C_{thm_{air}}[J/kgK])$$