

Déperditions thermiques et besoins de chauffage d'un logement

par **Philippe CASSAGNE**

Direction des Études et Techniques Nouvelles du Gaz de France

et **Sylvain GICQUEL**

Direction des Études et Techniques Nouvelles du Gaz de France

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Prévisions et dimensionnement des équipements | B 2 210 - 2 |
| 2. Aperçu des contextes français et européens | — 2 |
| 3. Principes des calculs | — 3 |
| 3.1 Déperditions moyennes d'un logement | — 3 |
| 3.1.1 Définition du coefficient <i>GV</i> | — 3 |
| 3.1.2 Principe de calcul du coefficient <i>GV</i> | — 3 |
| 3.2 Besoins de chauffage d'un logement | — 4 |
| 3.2.1 Évaluation des apports solaires et internes | — 5 |
| 3.2.2 Notion de taux de récupération des apports..... | — 6 |
| 3.2.3 Besoins annuels de chauffage | — 7 |
| 3.2.4 Applications au calcul de consommations..... | — 8 |
| 3.3 Déperditions maximales par pièce..... | — 9 |
| 3.3.1 Température extérieure de base..... | — 9 |
| 3.3.2 Déperditions maximales par pièce..... | — 9 |
| 3.3.3 Application au dimensionnement des équipements de chauffage..... | — 9 |
| 4. Exemples d'application | — 9 |
| 4.1 Pavillons expérimentaux du Gaz de France | — 10 |
| 4.1.1 Description | — 10 |
| 4.1.2 Déperditions moyennes. Calcul du coefficient <i>GV</i> | — 10 |
| 4.1.3 Besoins annuels de chauffage <i>BV · DH</i> | — 10 |
| 4.2 Immeuble expérimental du Gaz de France..... | — 12 |
| 4.2.1 Description | — 12 |
| 4.2.2 Déperditions moyennes. Calcul du coefficient <i>GV</i> | — 13 |
| 4.2.3 Besoins annuels de chauffage <i>BV · DH</i> | — 13 |
| Références bibliographiques | — 14 |

Nous ferons constamment référence aux *Documents Techniques Unifiés (DTU) - Règles Th*, établis par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), dont la liste est donnée dans les **références bibliographiques**. Ils contiennent les valeurs à prendre en compte dans la détermination des coefficients relatifs aux calculs des déperditions thermiques et besoins de chauffage d'un logement.

1. Prévisions et dimensionnement des équipements

Les calculs de thermique qu'effectuent les différents praticiens du bâtiment (bureaux d'études, entreprises, etc.) reposent sur une base commune qui est la **détermination des déperditions thermiques**. Plus précisément, il apparaît que ces calculs peuvent, en règle générale, se rattacher à l'une des deux séquences schématisées sur la figure 1 [1], de finalité différente.

La **séquence 1** intervient généralement en amont d'un projet de thermique du bâtiment. C'est notamment cette démarche qui est employée pour vérifier qu'un logement est conforme aux exigences de la réglementation thermique. En effet, dans beaucoup de pays, la construction neuve doit satisfaire à des exigences minimales relatives à des éléments de déperditions thermiques (épaisseurs d'isolant, par exemple).

En France, l'arrêté du 10 avril 1974 a imposé des seuils en matière de *déperditions moyennes des logements*, puis l'arrêté du 24 mars 1982 a introduit des seuils relatifs aux *besoins de chauffage*; la nouvelle réglementation thermique (décret et arrêtés du 5 avril 1988), en vigueur à partir du 1^{er} janvier 1989, introduit des exigences relatives aux *consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire*.

Mais la démarche de la séquence 1 permet d'aller au-delà d'une simple vérification de conformité réglementaire. L'évaluation de consommations conventionnelles prévisionnelles doit conduire le décideur et le concepteur aux choix les plus rationnels concernant l'enveloppe du bâtiment et de ses équipements de chauffage. En construction neuve, il s'agit notamment du choix de l'énergie et du type de systèmes de chauffage. En réhabilitation, il s'agit de déterminer un ensemble cohérent d'interventions à effectuer. Dans les deux cas, la consommation prévisionnelle – et donc, le coût d'exploitation – est un important critère de choix.

La **séquence 2** est mise en œuvre ultérieurement, une fois que le choix du système de chauffage a été effectué. Sa finalité est le dimensionnement des équipements de chauffage ; ce dimensionnement repose sur la connaissance de *déperditions par pièce dites « maximales »*. Par opposition, les calculs de besoins et de consommations de la séquence 1 s'effectuent à partir de déperditions dites « moyennes » et relatives à l'ensemble du logement.

Il existe bien sûr beaucoup d'éléments communs à ces deux calculs de déperditions. Il convient de signaler que de nombreux logiciels, disponibles sur le marché, effectuent l'ensemble de ces calculs [2].

Le présent article traite des points suivants : les déperditions moyennes d'un logement, les besoins de chauffage d'un logement et les déperditions maximales par pièce. Il indique l'articulation de ces calculs avec la détermination des consommations de chauffage et le dimensionnement des équipements.

Cet article a été plus particulièrement rédigé en vue d'application à l'habitat. Cependant, beaucoup d'éléments sont directement transposables aux bâtiments autres que ceux d'habitation.

2. Aperçu des contextes français et européens

Des travaux de la Commission des Communautés Européennes [3] [4] [5], effectués en prévision de l'ouverture du marché intérieur européen en 1992, permettent de mieux connaître la spécificité des contextes propres à chaque pays et la nature des différentes méthodes de calcul employées.

Le premier constat est la disparité selon les pays en matière d'exigences thermiques réglementaires. Ainsi, le Luxembourg et la région flamande de la Belgique ne disposent, à ce jour, d'aucune réglementation thermique. Dans les autres pays de la Communauté, l'habitat neuf est soumis à une réglementation thermique en termes de déperditions (selon les cas, déperditions totales ou seulement déperditions par transmission à travers les parois). Seules la Belgique (région Wallone) et la France ont une réglementation portant sur les besoins de chauffage (et dans les deux cas une réglementation portant sur les déperditions peut être utilisée en alternative). Le Danemark a une réglementation portant sur les déperditions mais dispose d'un label formulé en terme de besoins de chauffage. Seule la France dispose d'une réglementation portant sur les consommations. *Ainsi, le seul dénominateur commun aux pays disposant d'une réglementation thermique est une exigence relative aux déperditions par transmission à travers les parois des bâtiments.*

Le second constat est qu'il existe deux types de méthodes de calcul des besoins de chauffage selon l'objectif visé.

Si cet objectif est de nature réglementaire ou pararéglementaire, la méthode de calcul accorde en règle générale une grande importance à une prise en compte précise des paramètres relatifs au bâtiment et au climat. Par contre, l'occupant est supposé avoir un comportement conventionnel. C'est le cas des méthodes officielles utilisées en Belgique (région Wallone), au Danemark et en France (méthodes du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). La Belgique et le Danemark effectuent un calcul de besoins sur une base mensuelle, la France sur une base annuelle.

Si, par contre, l'objectif est l'information de l'occupant et l'audit énergétique, la méthode tend à se focaliser sur l'évaluation précise du comportement réel de l'occupant (température intérieure réelle du logement, taux de renouvellement d'air effectivement pratiqué, apports internes non forfaitisés, etc.). C'est le cas des méthodes officielles utilisées aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et en République fédérale d'Allemagne.

Il convient de noter que l'on retrouve en France cette dualité des méthodes de calcul des besoins de chauffage avec, d'une part, les méthodes de calcul du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) [6] [7] [8] [9] à finalité réglementaire et, d'autre part, la méthode du guide de diagnostic thermique de l'Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) [9] qui relève de la seconde famille précitée.

On peut toutefois remarquer qu'il existe un certain consensus sur la manière de calculer les déperditions thermiques d'un logement, notamment les déperditions par transmission à travers les parois.

Dans la suite de cet article sera plus particulièrement présentée la méthode du CSTB, sur laquelle s'appuie la réglementation ther-

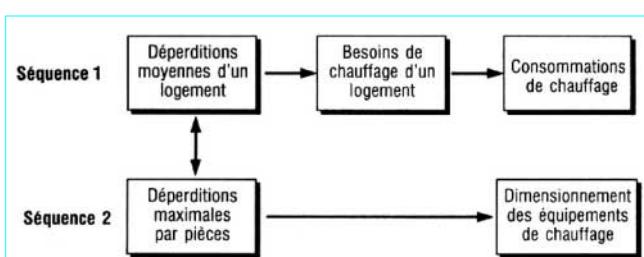


Figure 1 – Les deux principales séquences de calcul en thermique du bâtiment [1]

mique française de l'habitat neuf. Les différentes règles Th ont pour but de vérifier la conformité des logements neufs.

3. Principes des calculs

3.1 Déperditions moyennes d'un logement

3.1.1 Définition du coefficient GV

Les déperditions thermiques d'un logement, pour une température extérieure donnée et en l'absence de tout apport de chaleur solaire et interne, sont égales au flux de chaleur nécessaire pour maintenir une température intérieure constante en régime stationnaire. Ces déperditions ont lieu en partie par transmission à travers les parois, en partie par renouvellement d'air.

La température intérieure à considérer est la *température résultante sèche* qui mesure le confort thermique global d'une ambiance (article *Confort physiologique* [B 2 180] dans ce traité) ; elle donne une meilleure idée de ce confort que la température d'air intérieur. La température résultante sèche au centre d'une pièce est une moyenne entre la température d'air intérieur et la température radiante au même point ; elle est mesurable par un thermomètre boulé.

Nota : les méthodes de calcul conventionnelles supposent égales la température résultante sèche et la température d'air intérieur.

Certains éléments peuvent avoir un état variable au cours du temps et entraîner, de ce fait, une variation des déperditions. Ce sont essentiellement :

- les volets (ouverts le jour, fermés la nuit) ;
- le renouvellement d'air ; en France, l'arrêté du 24 mars 1982 autorise sa modulation au cours du temps.

Ce sont donc les *déperditions moyennes*, résultant de ces diverses variations, qui seront considérées.

Il est commode d'introduire le coefficient GV d'un logement (exprimé en W · K⁻¹), égal à ses déperditions thermiques pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. En effet, la quasi-linéarité de tous les phénomènes de thermique du bâtiment entraîne que les déperditions peuvent être considérées comme proportionnelles à l'écart entre la température intérieure moyenne et la température extérieure moyenne.

Nota : depuis la réglementation d'avril 1988, le coefficient G n'est plus utilisé isolément mais c'est le coefficient GV qui est employé :

- G (W · m⁻³ · K⁻¹) coefficient volumique de déperditions thermiques ;
- V (m³) volume habitable du logement.

3.1.2 Principe de calcul du coefficient GV

Les Documents Techniques Unifiés Th-K [6] et Th-G [7] du CSTB définissent l'ensemble des règles de calcul du coefficient GV ; il ne sera indiqué ici que le principe de ce calcul.

On peut écrire :

$$GV = G1V + G2V + \Delta1GV - \Delta2GV \quad (\text{en W} \cdot \text{K}^{-1})$$

G1V est égal aux déperditions thermiques par transmission à travers les parois en contact avec l'extérieur, avec un local non chauffé et avec le sol, pour un degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur.

G2V est égal aux déperditions thermiques par renouvellement d'air pour un degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur.

La présence d'éléments chauffants en paroi (par exemple, un chauffage par le sol) entraîne une majoration des déperditions du logement, soit $\Delta1GV$.

Inversement, la présence d'un échangeur de chaleur sur l'air de ventilation (par exemple, un double flux) entraîne une minoration des déperditions du logement, soit $\Delta2GV$.

3.1.2.1 Déperditions par transmission à travers les parois (G1V)

Elles sont de la forme :

$$G1V = D11 + D12 + D13$$

D11, D12 et D13 étant explicités ci-après.

■ **Déperditions par les parois extérieures (D11) :** elles sont de la forme :

$$D11 = \sum (KA) + \sum (kL) \quad (\text{en W} \cdot \text{K}^{-1})$$

K et A sont respectivement le coefficient de transmission surfacique et la surface intérieure de chaque partie surfacique (murs, fenêtres, portes) (exprimés respectivement en W · m⁻² · K⁻¹ et en m²).

k et L sont respectivement le coefficient de transmission linéique et la longueur intérieure de chaque liaison (ou « pont thermique ») (exprimés respectivement en W · m⁻¹ · K⁻¹ et en m).

Les calculs de K et k s'effectuent au moyen des règles Th-K [6]. Ces coefficients prennent en compte la transmission de chaleur par conduction dans chaque matériau, ainsi que la convection et le rayonnement (globalisés) aux extrémités libres.

Pour un mur extérieur, par exemple, on a :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{e}{\lambda} \right) + \frac{1}{h_e}$$

avec e (m) et λ (W · m⁻¹ · K⁻¹) épaisseur et conductivité thermique de chaque matériau constitutif de la paroi,

h_e (W · m⁻² · K⁻¹) coefficient d'échange extérieur global (convection et rayonnement),

h_i (W · m⁻² · K⁻¹) coefficient d'échange intérieur global (convection et rayonnement).

Pour les parois vitrées, lorsqu'il existe des fermetures telles que des volets ou des persiennes, il convient de considérer un coefficient K moyen jour-nuit. De plus, pour les parois vitrées, A représente la surface en tableau, c'est-à-dire la surface de l'ouverture incluant les menuiseries.

Pour les calculs de ponts thermiques, les règles Th-K proposent des valeurs de k regroupées en tableaux pour la plupart des cas courants.

■ **Déperditions par les parois en contact avec un local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire (D12) :** elles sont de la forme :

$$D12 = \tau [\sum (KA) + \sum (kL)] \quad (\text{en W} \cdot \text{K}^{-1})$$

K, A, k et L ont les mêmes significations que précédemment, et τ est appelé *coefficient de réduction de température*, tel que :

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_n}{\theta_i - \theta_e}$$

avec θ_e température de l'air extérieur,

θ_i température intérieure du local,

θ_n température du local non chauffé, du comble ou du vide sanitaire.

Des valeurs forfaitaires du coefficient τ correspondant aux cas les plus courants sont données dans les règles Th-G [7].

■ **Déperditions par les parois en contact avec le sol (D13) :** les déperditions par une paroi sur terre-plein ou enterrée sont de la forme :

$$D13 = k L_e \quad (\text{en W} \cdot \text{K}^{-1})$$

k est le coefficient de transmission linéique caractéristique de la paroi et de son contact avec le sol (exprimé en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) et L_e est le pourtour extérieur de la paroi (exprimé en m).

Ce mode de calcul, qui revient à assimiler une paroi sur terre-plein ou enterrée à un pont thermique équivalent, se justifie par la forme des lignes de flux thermique dans le sol. Des valeurs de k , correspondant aux cas les plus courants, se trouvent regroupées en tableaux dans les règles Th-K [6].

3.1.2.2 Déperditions par renouvellement d'air (G2V)

Elles sont de la forme :

$$G2V = D21 + D22$$

$D21$ et $D22$ étant explicités ci-après.

■ Déperditions par renouvellement d'air spécifique (D21)

On entend par *air spécifique* l'air dont le débit est dû au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, par opposition à l'*air parasite* provenant des défauts d'étanchéité.

Elles sont de la forme :

$$D21 = 0,34 Q_v \quad (\text{en } \text{W} \cdot \text{K}^{-1})$$

$0,34 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ est la valeur de la capacité thermique volumique de l'air à 20°C , et Q_v représente le débit-volume de ventilation (exprimé en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

La réglementation thermique du 24 mars 1982 autorisant la modulation au cours du temps des débits de ventilation, les règles Th-G [7] calculent le débit-volume de ventilation par la formule conventionnelle suivante :

$$Q_v = \frac{5 O_{\min} + O_{\max}}{6}$$

O_{\min} et O_{\max} sont les valeurs, respectivement minimale et maximale, du débit total d'air extrait qu'il est possible d'obtenir en agissant sur les dispositifs individuels de réglage. Il est donc supposé que la ventilation est au débit maximal 1/6 du temps.

Toutefois, si le calcul de Q_v aboutit à une valeur inférieure à 0,5 fois par heure le volume habitable du logement, c'est cette dernière valeur qui est retenue.

■ Déperditions par perméabilité (D22)

La pression du vent sur les façades d'un bâtiment provoque des entrées d'air par les défauts d'étanchéité de celui-ci (menuiseries, volets roulants, passages de fils, etc.). Il en résulte un renouvellement d'air dit « parasite » qui vient s'ajouter au renouvellement d'air spécifique lié à la ventilation – mécanique ou naturelle – du logement.

Elles sont de la forme :

$$D22 = 0,34 \Sigma (Pe')$$

P est la perméabilité de chaque façade à l'air (exprimée en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), et e' le coefficient d'exposition au vent de cette façade (sans dimension).

La perméabilité est la somme :

$$P = 0,25 A_0 + \Sigma (m A_m) + \Sigma (vL_v)$$

$0,25 A_0$ concerne les orifices de ventilation non autoréglables, avec A_0 leur surface (exprimée en cm^2) ; actuellement, tous les orifices d'entrée d'air associés à une ventilation mécanique contrôlée sont autoréglables. Une bouche autoréglable est telle que le débit reste pratiquement constant quelle que soit la dépression.

$\Sigma (m A_m)$ concerne les ouvrants (portes, fenêtres et portes-fenêtres), avec A_m leur surface (exprimée en m^2) et m un coefficient de perméabilité (exprimé en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), dont les valeurs sont données dans les règles Th-G [7].

$\Sigma (vL_v)$ concerne les coffres de volets roulants, avec L_v longueur du coffre (exprimée en m) et v coefficient de perméabilité (exprimé en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), dont les valeurs sont données dans les règles Th-G.

La valeur du coefficient d'exposition au vent e' dépend :

- du principe de ventilation : générale ou par pièces séparées ;
- du type d'extraction : mécanique ou naturelle ;
- du fait que le logement soit à simple ou à double exposition ;
- de la classe d'exposition au vent de la façade considérée : le CSTB distingue 4 classes d'exposition au vent en fonction de la région, de la situation de la construction, de la hauteur des fenêtres au-dessus du sol, et du fait que la façade soit abritée ou non.

Selon les combinaisons, différentes valeurs de e' (de 0,4 à 5,4) sont données dans les tables des règles Th-G.

Différentes campagnes de mesure sur le terrain ont montré que les règles de calcul actuelles tendaient à sous-estimer fortement ce renouvellement d'air parasite. La méthode de calcul des déperditions par perméabilité présentée ici, donnée dans les règles Th-G, est en cours de révision.

3.1.2.3 Majoration des déperditions due à la présence d'éléments chauffants en paroi ($\Delta 1GV$)

Cette correction n'est à apporter que si la paroi considérée est en contact avec l'extérieur, le sol ou un local non chauffé. Le cas de figure le plus fréquent est celui du chauffage par le sol ou encore celui du plafond rayonnant.

Elle conduit à une majoration $\Delta 1GV$ qui peut être évaluée de deux manières [7] :

— soit par une méthode de calcul prenant en compte les résistances thermiques de la paroi contenant les éléments chauffants de part et d'autre de ces derniers, et les déperditions du local où se situe la paroi considérée ;

— soit par des valeurs forfaitaires issues d'une approximation de la méthode précédente.

3.1.2.4 Minoration des déperditions due à la présence d'un échangeur sur l'air de ventilation ($\Delta 2GV$)

Le cas le plus fréquent est celui d'un échangeur double flux sur l'air extrait.

Cette minoration est égale à :

$$\Delta 2GV = 0,34 q \eta \quad (\text{en } \text{W} \cdot \text{K}^{-1})$$

avec q ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) débit-volume moyen d'air passant dans l'échangeur,

η efficacité de l'échangeur, son mode de calcul est indiqué dans les règles Th-G [7].

Si l'air de ventilation est pris dans un espace tampon (combles, garage, sous-sol, serre, etc.), $\Delta 2GV$ est à multiplier par le coefficient de réduction de température τ [7].

3.2 Besoins de chauffage d'un logement

Un logement est soumis à des apports de chaleur dits *gratuits* (apports solaires et apports internes) qui, en période de chauffage, entraînent une diminution des consommations. Ces apports interagissent, en fait, de manière complexe avec le bâtiment et l'équipement de chauffage, et l'économie d'énergie qui en résulte ne peut pas se déterminer de manière élémentaire.

Dans un souci de simplification méthodologique, la plupart des méthodes de calcul européennes ont introduit la notion de **besoins de chauffage**. Les besoins de chauffage sont égaux aux consommations d'un logement qui serait équipé d'un système de chauffage « idéal » s'ajustant instantanément aux variations des apports gratuits : ce système de chauffage maintiendrait la température du logement égale à la température de consigne tant que les apports gratuits n'excéderaient pas les déperditions. Un équipement de chauffage doté d'une régulation à très faible différentiel, ayant une très faible inertie et ne provoquant pas de stratifications d'air se rapprocherait donc de ce système « idéal ».

Il est alors possible de déterminer, par simulation sur ordinateur, la récupération des apports pour différents types de bâtiments et de climats et d'en déduire des lois générales de corrélation entre les différents paramètres.

3.2.1 Évaluation des apports solaires et internes

3.2.1.1 Apports solaires

À titre d'exemple, la figure 2 (MétéoFrance) montre l'ensoleillement reçu chaque jour en France au mois de janvier sur une façade verticale sud.

L'évaluation des apports solaires pénétrant dans un logement peut s'effectuer par différentes méthodes ; on peut schématiquement en distinguer trois :

- des méthodes d'évaluation dites « fines » utilisant un pas de temps inférieur à l'heure et nécessitant le recours à des moyens informatiques ;
- des méthodes d'évaluation mensuelle, manuelles ou informatisées ;
- une méthode d'évaluation annuelle, telle que la méthode des règles Th-BV [8] du CSTB.

Le choix d'une méthode est l'expression d'un compromis simplicité-exactitude.

La méthode du CSTB [8] repose sur la notion de « surface transparente sud équivalente » S_{se} du logement qui est la surface de paroi verticale, fictive, exposée au sud, totalement transparente et sans ombrage qui provoquerait les mêmes apports solaires que les parois du logement considéré.

Le calcul de S_{se} est basé sur des lois de corrélation établies par simulation sur le climat français.

Selon cette méthode, la quantité d'apports solaires A_s pénétrant dans un logement sur l'ensemble de la période de chauffage, est égale à :

$$A_s = S_{se} E$$

avec E ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$) ensoleillement reçu pendant la période de chauffage par une paroi verticale orientée au sud en l'absence d'ombrage, dont les valeurs sont données en fonction des zones climatiques au paragraphe 3.2.3,

S_{se} (m^2) surface transparente sud équivalente.

S_{se} se calcule au moyen de la relation :

$$S_{se} = \sum (A F_{ts} F_e C_1) \text{ somme étendue à toutes les parois du bâtiment}$$

avec A (m^2) surface de chaque paroi,

C_1 coefficient d'orientation et d'inclinaison de la paroi considérée (égal à 1 pour une paroi verticale sud),

F_e facteur d'ensoleillement, qui traduit la réduction d'énergie solaire reçue par une paroi du fait de masques, intégrés au bâtiment (balcon, par exemple) ou liés à l'environnement (immeuble en vis-à-vis, par exemple),

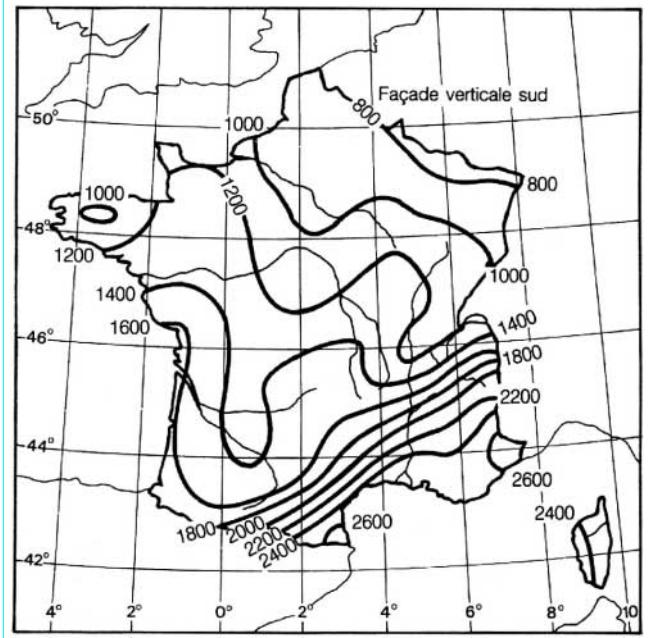


Figure 2 – Ensoleillement reçu chaque jour en moyenne (en $\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$) en France au mois de janvier sur une façade verticale sud
(doc. Météo France)

F_{ts} facteur de transmission solaire de la paroi considérée, c'est-à-dire la proportion d'énergie solaire incidente qui pénètre dans le logement (différente, par exemple, pour un simple et un double vitrage).

Il convient de noter que les apports solaires sont pour l'essentiel transmis par les parois vitrées. Dans un logement très isolé, la quantité d'énergie solaire transmise par les parois opaques est très faible et peut-être évaluée de manière forfaitaire, ou même négligée en première approximation.

3.2.1.2 Apports internes

Ils comprennent les apports dus à l'occupation proprement dite (une personne en légère activité dégage environ 60 W et 50 W pendant le sommeil), ainsi que les apports dus à l'éclairage, aux appareils électroménagers et à la cuisine.

Il apparaît donc qu'une partie importante de ces apports est en fait d'origine non « gratuite » : il convient de ne pas l'oublier quand on doit évaluer la consommation énergétique totale d'un logement.

Dans les calculs réglementaires [8], le CSTB évalue de manière forfaitaire les apports internes A_i à 100 kWh par jour et par m^2 de surface habitable. Compte tenu de la durée de la période de chauffage, dont les valeurs sont données au paragraphe 3.2.3, on obtient les valeurs suivantes de A_i (exprimées en kWh) pour chacune des trois zones définies à la figure 4 :

Zone H1 : $A_i = 22,9 S_h$

Zone H2 : $A_i = 21,7 S_h$

Zone H3 : $A_i = 18,1 S_h$

avec S_h (m^2) surface habitable du logement.

Les logiciels de thermique du bâtiment utilisent souvent des scénarios d'apports internes temporels ou spatio-temporels afin d'affiner les calculs. Le tableau 1 donne un exemple de scénario temporel d'apports internes et le tableau 2 un exemple de scénario

spatio-temporel. On peut remarquer ainsi, dans le tableau 1, les pointes entre 12 et 13 h et 19 et 20 h dues aux utilisations de la cuisine et de la salle de bains, ce qui se retrouve dans le tableau 2.

Tableau 1 – Scénario temporel d'apports internes

| Tranche horaire | Puissance dissipée (W · m ⁻²) |
|-----------------|-------------------------------------------|
| de 0H à 7H | 3 |
| 7H à 8H | 6 |
| 8H à 12H | 2 |
| 12H à 13H | 10 |
| 13H à 18H | 2 |
| 18H à 19H | 6 |
| 19H à 20H | 18 |
| 20H à 23H | 6 |
| 23H à 24H | 3 |

chaudière et les émissions des tuyauteries d'un chauffage central à eau chaude ;

- les apports des auxiliaires de chauffage (pompes, ventilateurs) ;

- les apports dus à l'eau chaude sanitaire (déperditions du ballon de stockage, par exemple).

Le premier type d'apport est généralement comptabilisé avec le rendement du système de chauffage, afin d'éviter un bouclage des calculs [9].

Les deux autres types d'apports sont comptabilisés à part par le CSTB [9], afin de conserver une définition des besoins de chauffage indépendante des équipements de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

3.2.2 Notion de taux de récupération des apports

Les apports solaires et internes évalués au paragraphe 3.2.1 ne sont pas directement déductibles des déperditions pour la détermination des besoins de chauffage ; en effet, seule une partie de ces apports est susceptible de se convertir en « énergie utile », le reliquat provoquant une inutile surchauffe du bâtiment.

On peut donc définir le taux de récupération des apports *RA* par un système de chauffage quelconque par la relation [11] :

$$RA = \frac{CHSA - CHAA}{A_{si}}$$

avec A_{si} (kWh) cumul des apports solaires et internes pendant la période concernée *t*,

$CHAA$ (kWh) chaleur émise par le système de chauffage pendant une période d'apports *t*,

$CHSA$ (kWh) chaleur qui aurait été émise dans les mêmes conditions, mais sans apports.

Posons :

DSA (kWh) déperditions thermiques du logement en l'absence d'apports pendant la période *t* ;

RDA = DSA/A_{si} ;

$(RA)_{max}$ taux maximal de récupération des apports ;

avec *t* supposé suffisamment grand pour que l'état final du bâtiment soit égal à son état initial.

On peut alors démontrer que :

$$(RA)_{max} = \text{Min}(1, RDA)$$

En effet, si $RDA > 1$, la totalité des apports est potentiellement récupérable, d'où $(RA)_{max} = 1$;

si $RDA < 1$, la quantité maximale d'apports récupérable est égale à DSA , d'où $(RA)_{max} = RDA$.

Ce taux de récupération maximal des apports correspond à un bâtiment d'inertie tendant vers l'infini et à un système de chauffage « idéal », au sens défini au début du paragraphe 3.2. La réalité s'écarte donc toujours notablement de ces conditions idéales, et les courbes représentant *RA* en fonction de *RDA* se situent au-dessous de la courbe $(RA)_{max}$ en fonction de *RDA*.

Du fait de la définition même des « besoins de chauffage », les conditions précitées sont supposées ici vérifiées pour l'équipement de chauffage : le seul facteur limitatif à la récupération des apports reste donc l'**inertie du bâtiment**.

Le CSTB emploie la notion de *coefficient d'apports gratuits* *F* [8] qui est la fraction des déperditions couvertes par les apports gratuits. Il existe entre *RA* et *F* la relation simple :

$$RA \cdot A_{si} = F \cdot DSA$$

Tableau 2 – Scénario spatio-temporel d'apports internes : puissance dissipée suivant la zone pour un logement de 86 m² (en W · m⁻²)

| Tranche horaire | Zone technique (cuisine, salle de bains) | Zone jour (séjour, bureau) | Zone nuit (chambres) |
|-----------------|------------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 0H à 1H | 6 | 0 | 6 |
| 1H à 2H | 6 | 0 | 6 |
| 2H à 3H | 6 | 0 | 6 |
| 3H à 4H | 6 | 0 | 6 |
| 4H à 5H | 6 | 0 | 6 |
| 5H à 6H | 6 | 0 | 6 |
| 6H à 7H | 23 | 3 | 4 |
| 7H à 8H | 31 | 6 | 0 |
| 8H à 9H | 14 | 2 | 0 |
| 9H à 10H | 8 | 2 | 0 |
| 10H à 11H | 8 | 2 | 0 |
| 11H à 12H | 8 | 2 | 0 |
| 12H à 13H | 39 | 6 | 0 |
| 13H à 14H | 8 | 2 | 0 |
| 14H à 15H | 8 | 2 | 0 |
| 15H à 16H | 8 | 2 | 0 |
| 16H à 17H | 8 | 2 | 0 |
| 17H à 18H | 10 | 3 | 0 |
| 18H à 19H | 19 | 6 | 0 |
| 19H à 20H | 93 | 12 | 0 |
| 20H à 21H | 28 | 9 | 5 |
| 21H à 22H | 23 | 9 | 5 |
| 22H à 23H | 9 | 3 | 14 |
| 23H à 24H | 6 | 0 | 6 |

Il convient de noter que l'effet sur des consommations annuelles de chauffage de tels scénarios n'est sensible (supérieur à 5 %) que si l'ensemble du logement n'est pas chauffé de manière continue et uniforme (intermittence par zones).

D'autres apports sont liés au système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. Ce sont :

- les pertes thermiques du système de chauffage situées dans le volume chauffé : par exemple, les pertes aux parois d'une

Les règles Th-BV [8] donnent des expressions analytiques de F (figure 3), issues de simulations sur ordinateur, pour quatre classes d'inertie du logement, en fonction du rapport X des apports gratuits aux déperditions :

$$X = \frac{1}{RDA} = \frac{A_{si}}{GV \cdot DH}$$

avec A_{si} (kWh) cumul des apports solaires et internes pendant la période de chauffage,
 DH et GV définis au paragraphe 3.2.3.

Un calcul précis, permettant de déterminer la classe d'inertie d'un logement, est donné en annexe 1 des règles Th-BV. Faute de faire ce calcul, on adopte les dispositions suivantes :

| Inertie | Conditions nécessaires (1) |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maison individuelle | |
| Forte | Planchers lourds et murs isolés par l'extérieur |
| Moyenne | Planchers lourds (au moins un par niveau habitable) |
| Faible | Murs isolés par l'extérieur |
| Très faible | Ni planchers lourds, ni murs isolés par l'extérieur |
| Immeuble collectif | |
| Forte | Planchers et refends lourds, et murs isolés par l'extérieur |
| Moyenne | Planchers lourds |
| Faible ou très faible | Ne se rencontre pratiquement pas en immeuble collectif |
| (1) | Sont considérés comme des planchers lourds, les planchers en dalle pleine ou à entrevous avec dalle de compression ainsi que les sols sur terre-plein avec isolation au pourtour ou avec isolation horizontale recouverte d'une chape d'eau au moins 6 cm. Sont considérés comme des refends lourds, les refends en béton d'eau au moins 12 cm. |

Remarques

- Un certain consensus semble se dégager au niveau européen [3] [4] pour utiliser, plutôt que la relation $F(X)$, une relation du type :

$$RA = 1 - \exp(-\alpha RDA)$$

avec α facteur caractérisant l'inertie du bâtiment.

Toutefois, les résultats obtenus en utilisant cette relation ou les relations $F(X)$ du CSTB sont proches.

- Selon que l'on effectue un calcul de récupération d'apports sur une base mensuelle ou annuelle, le résultat obtenu peut être sensiblement différent, la meilleure exactitude étant bien sûr obtenue avec un calcul mensuel. Cela est dû au fait que les relations précitées sont des corrélations issues de nombreuses simulations sur ordinateur et présentant une certaine dispersion ; un calcul mensuel traduit mieux le couplage ensoleillement-bâtiment.

3.2.3 Besoins annuels de chauffage

Pour déterminer des besoins annuels de chauffage, il faut utiliser soit des températures extérieures moyennes, soit des degrés-jours, soit des degrés-heures. Ces besoins annuels peuvent résulter d'une sommation mois par mois, ou être calculés en une seule fois sur la saison de chauffe. Là encore, de multiples variantes existent selon les méthodes, mais nous ne donnerons dans cet article que celle du CSTB.

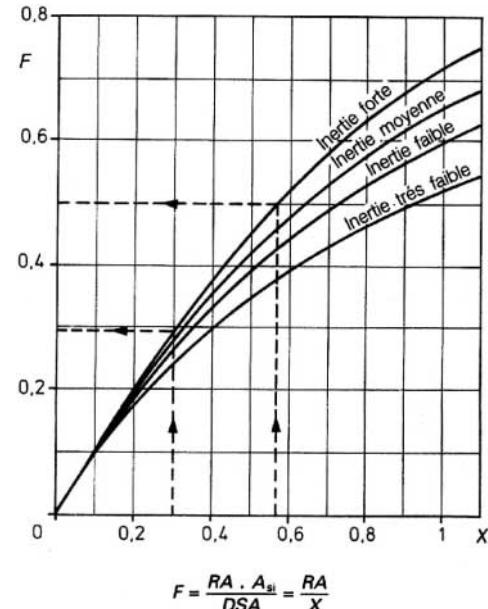


Figure 3 – Coefficient d'apports gratuits $F(X)$ [8]

Le CSTB emploie des degrés-heures DH de base 18 °C, regroupés en tableaux pour chacune des trois zones climatiques H1, H2, H3. La répartition de ces zones est indiquée sur la figure 4.

Les données climatiques pour chacune des trois zones sont les suivantes :

| Données climatiques | Zones climatiques | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|------|
| | H1 | H2 | H3 |
| N durée de la période de chauffage ... (10 ³ h) | 5,5 | 5,2 | 4,35 |
| DH milliers de degrés-heures de chauffage (10 ³ h · K) | 63 | 52 | 37 |
| E ensoleillement vertical sud pendant la période de chauffage (kWh · m ⁻²) | 410 | 440 | 460 |

En fait ces données varient de façon sensible à l'intérieur d'une même zone climatique. Mais, pour l'application réglementaire, qui consiste en une comparaison avec une référence définie par zone, ces variations ne doivent pas être prises en compte.

Les besoins annuels de chauffage $BV \cdot DH$, indépendants de ses équipements de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, se calculent alors par la relation :

$$BV \cdot DH = GV \cdot DH (1 - F) \quad (\text{en kWh})$$

avec F coefficient d'apports gratuits défini au paragraphe 3.2.2.

Le CSTB définit dans un deuxième temps [9] des besoins de chauffage corrigés B_{ch} , faisant intervenir la récupération des apports dus aux auxiliaires de chauffage et au système de production d'eau chaude sanitaire (§ 3.2.1.2) :

$$B_{ch} = BV \cdot DH - P_{rs} \cdot R_{rp}$$

avec P_{rs} pertes récupérables des auxiliaires de chauffage et du système de production d'eau chaude sanitaire,

R_{rp} taux de récupération de ces pertes.



Figure 4 – Trois zones climatiques de la France : zones H1, H2 et H3 [8]

3.2.4 Applications au calcul de consommations

Les consommations de chauffage se déduisent généralement des besoins en divisant ceux-ci par le rendement de l'installation. Différentes formulations existent.

Le CSTB utilise l'expression suivante [9] :

$$C_{ch} = \frac{B_{ch} I}{R_{ch}} \quad (\text{en kWh})$$

avec I facteur d'intermittence dépendant essentiellement des déperditions et de l'inertie du bâtiment, du type de chauffage et du mode de programmation,

R_{ch} rendement annuel moyen du système de chauffage, produit des rendements d'émission, de régulation, de distribution et de génération.

Dans le Guide du diagnostic thermique de l'ADEME [10], le Comité Scientifique et Technique des Industries du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement d'air (COSTIC) utilise une formulation différente :

$$C_{ch} = \frac{GV \cdot HK - A_{UT} + P_{DIS}}{R_g} \quad (\text{en kWh})$$

avec A_{UT} (kWh) apports gratuits utiles (récupérés par le bâtiment), HK coefficient (homogène à des kilodegré-heures) représentant l'influence, sur l'ensemble de la saison de chauffage, des écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur ; l'intermittence éventuelle du chauffage est prise en compte par ce coefficient,

P_{DIS} (kWh) pertes en distribution du système de chauffage, R_g rendement de génération.

- Les domaines d'application des deux méthodes sont différents :
 - la méthode du CSTB a été conçue pour l'habitat neuf et la vérification d'exigences réglementaires ;
 - la méthode du COSTIC a été conçue pour l'habitat existant et l'audit énergétique.

Il n'en demeure pas moins qu'il n'y a pas, à l'heure actuelle, uniformité dans la manière d'exprimer les consommations de chauffage d'un logement.

Nota : pour l'évaluation des consommations de chauffage le lecteur se reportera à l'article Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions, usages, consommation [BE 9 020], dans ce traité.

3.3 Déperditions maximales par pièce

3.3.1 Température extérieure de base

La température extérieure de base en un lieu donné est définie par le fait que la température ne descend pas au-dessous de cette valeur plus de cinq jours sur une année moyenne.

La température extérieure de base est définie au niveau de la mer pour un lieu donné (figure 5). Puis on passe de la température de base au niveau de la mer à la température de base au lieu considéré par une correction éventuelle.

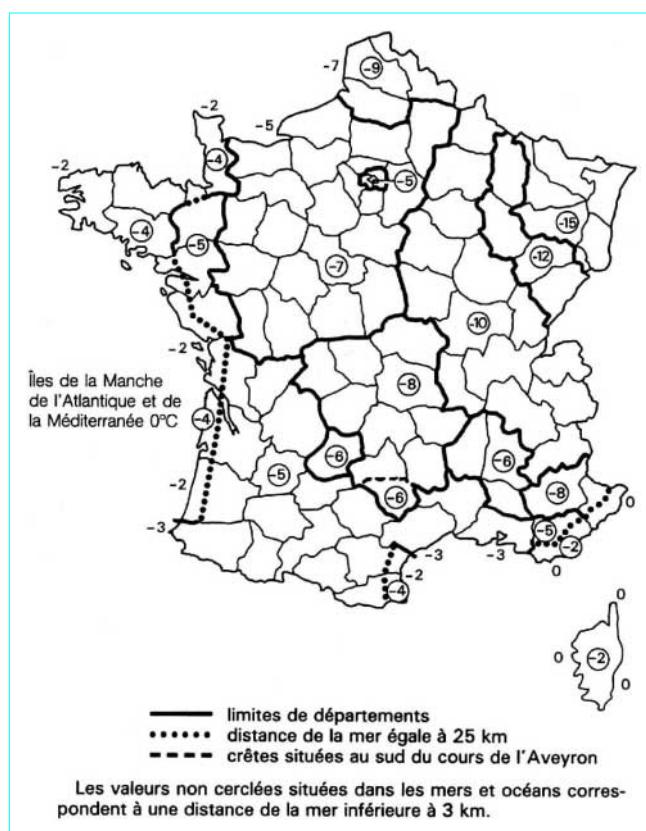


Figure 5 – Température extérieure de base au niveau de la mer (en °C) [12]

3.3.2 Déperditions maximales par pièce

Les déperditions maximales par pièce sont données par la relation suivante :

$$DEP = D(\theta_{ri} - \theta_{eb}) \quad (\text{en W})$$

avec $D (\text{W} \cdot \text{K}^{-1})$ coefficient de déperditions thermiques maximales de la pièce considérée,

θ_{eb} (°C) température extérieure de base au lieu considéré,
 θ_{ri} (°C) température résultante intérieure au centre de chaque pièce du logement ou température résultante sèche ([§ 3.1.1](#)). Elle est prise généralement égale à 18 °C pour les locaux d'habitation, mais il arrive que l'on considère une valeur différente pour certaines pièces : par exemple, 21 °C pour une salle de bains.

Il n'existe pas, en 1989, de méthode conventionnelle générale pour calculer le coefficient D ; un Document Technique Unifié Th-D [13] est cependant en préparation au CSTB.

Les approches des différents praticiens peuvent différer quelque peu :

- certains prennent pour D le coefficient GV du local considéré ;
- d'autres majorent GV en considérant que tous les volets sont ouverts, que le renouvellement d'air se fait au débit maximal et que le coefficient d'exposition au vent est plus élevé que sa valeur moyenne.

3.3.3 Application au dimensionnement des équipements de chauffage

Le praticien déduit des déperditions maximales par pièce la puissance de chauffage à émettre dans chaque pièce par une relation du type :

$$P = \alpha' DEP$$

$\alpha' > 1$ est un coefficient de surpuissance, là encore variable selon les praticiens, et qui s'explique par différentes raisons :

- la nécessité de disposer d'une certaine surpuissance pour les remontées en température consécutives à des arrêts de chauffage ;
- l'absence possible de voisins, notamment pour le chauffage individuel en immeuble collectif ;
- la prise en compte du rendement d'émission du système de chauffage.

4. Exemples d'application

Les pavillons expérimentaux et l'immeuble expérimental de la Direction des Études et Techniques Nouvelles du Gaz de France sont deux moyens d'essai en grandeur réelle des systèmes énergétiques de l'habitat. Ils sont représentatifs de la construction neuve actuelle, en maison individuelle et en immeuble collectif. Ils constituent, pour le Gaz de France, un relais très important entre la simulation numérique et l'opération pilote en logement occupé.

Les principaux systèmes innovants testés ces dernières années ont été, dans les pavillons expérimentaux :

- le chauffage central à eau chaude utilisant une distribution de type « pieuvre » en matériaux de synthèse (appelé *chauffage hydrocâblé*) ;
- le chauffage aéraulique ;
- le chauffage par le sol basse température ;
- et dans l'immeuble expérimental :
- le chauffage collectif avec une régulation par appartement ;
- le chauffage « semi-collectif » ou chauffage de plusieurs appartements par une ou plusieurs chaudières individuelles de puissance utile totale inférieure à 70 kW.

4.1 Pavillons expérimentaux du Gaz de France

4.1.1 Description

Il s'agit de deux pavillons F3 sur sous-sol et sous combles non aménageables. Ils ont été conçus identiques en tout point (même isolation, même orientation) dans le but de mener des expérimentations comparatives d'équipements énergétiques. Leur surface habitable est de 80 m², leur hauteur sous plafond de 2,5 m (figure 6). Ils sont constitués d'une ossature du type « poutres et poteaux » en béton armé.

Les parois sont composées des éléments décrits ci-dessous :

- murs extérieurs (de l'intérieur vers l'extérieur) : parpaings (20 cm), isolation extérieure en polystyrène (10 cm), enduit (2 cm) ;
- plancher bas (de l'intérieur vers le sous-sol) : chape flottante en béton (11,5 cm), polystyrène (3,5 cm), dalle porteuse en béton (20 cm), revêtement en *Héraclith* (fibres de bois aggloméré) (5 cm) ;
- plafond (de l'intérieur vers les combles) : plaque de plâtre (1,3 cm), laine de verre (18 cm) ;
- la cage d'escalier menant au sous-sol est entourée d'un mur de refend comprenant (de l'intérieur vers la cage) : plaque de plâtre (1 cm), laine de verre (3 cm), parpaings (20 cm).

Les fenêtres et portes-fenêtres (façade sud du séjour) ont des menuiseries en bois et un double vitrage. Toutes, sauf celle de la salle de bains, sont équipées de volets roulants. Les deux portes (extérieure et sous-sol) sont en bois.

La ventilation est assurée par des entrées d'air autoréglables en façade des pièces principales et une extraction mécanique en cuisine et salle de bains.

4.1.2 Déperditions moyennes. Calcul du coefficient GV

■ Détermination des coefficients K et k à partir des règles Th-K [6], comme décrit au paragraphe 3.1.2.

| Parois ou liaisons | K (W · m ⁻² · K ⁻¹) | k (W · m ⁻¹ · K ⁻¹) |
|------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Mur extérieur | 0,35 | |
| Plancher bas | 0,57 | |
| Plafond | 0,21 | |
| Mur sur cage d'escalier..... | 0,86 | |
| Fenêtres avec fermetures | 2,60 | |
| Fenêtres sans fermetures | 3,30 | |
| Porte extérieure | 3,50 | |
| Porte sur sous-sol..... | 2 | |
| Liaison mur extérieur-plafond..... | | 0,17 |
| Liaison façade-pignon..... | | 0,07 |

■ Détermination du coefficient τ de réduction de température à partir des règles Th-G [7] :

- comble : $\tau = 0,95$;
- sous-sol et cage d'escalier : $\tau = 0,70$.

■ Calcul du renouvellement d'air, comme décrit au paragraphe 3.1.2.2.

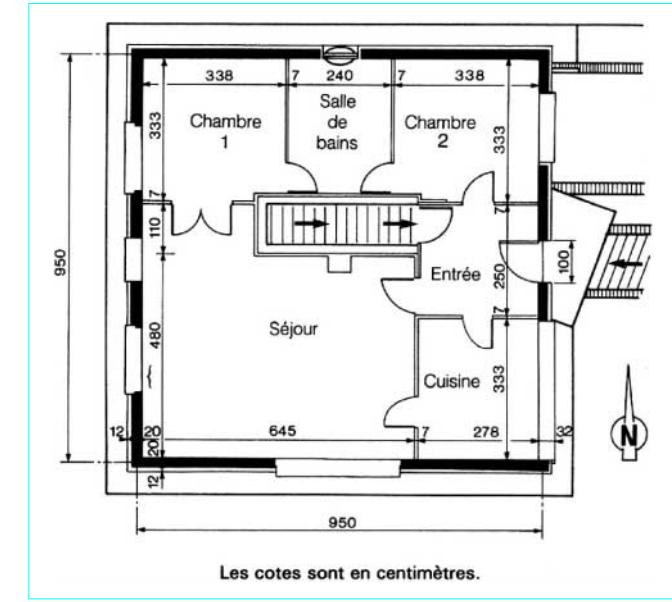


Figure 6 – Pavillon expérimental du Gaz de France

La cuisine est équipée d'une bouche d'extraction de 60 à 105 m³ · h⁻¹ et la salle de bains d'une bouche d'extraction de 15 à 30 m³ · h⁻¹ (valeurs données par l'arrêté du 24 mars 1982).

Le débit total extrait maximal Q_{\max} est donc de 135 m³ · h⁻¹, le débit minimal Q_{\min} de 75 m³ · h⁻¹.

Ainsi :

$$Q_v = \frac{5 Q_{\min} + Q_{\max}}{6} = 85 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

valeur inférieure à 0,5 fois le volume du logement par heure, ce dernier étant égal à $0,5 \times 80 \times 2,5 = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Par conséquent, le renouvellement d'air moyen est pris égal à 100 m³ · h⁻¹.

Les tableaux 3 et 4 donnent respectivement le détail des calculs du débit total de renouvellement d'air et du total des déperditions.

Ainsi, le coefficient GV théorique des pavillons expérimentaux est égal à 181 W · K⁻¹.

4.1.3 Besoins annuels de chauffage BV · DH

■ Calcul de la surface transparente sud équivalente S_{se} (§ 3.2.1.1).

| | $A_{(1)}$ (m ²) | F_{ts} | F_e | C_1 | S_{se} (m ²) |
|-------------------------------------------|--------------------------------|----------|-------|-------|-------------------------------|
| Parois vitrées sud..... | 5,24 | 0,34 | 1 | 1 | 1,78 |
| Parois vitrées est et ouest | 6,90 | 0,37 | 1 | 0,55 | 1,40 |
| Parois vitrées nord..... | 0,57 | 0,37 | 1 | 0,20 | 0,04 |
| Parois opaques (valeur forfaitaire).. | | | | | 0,56 |
| Surface transparente sud équivalente..... | | | | | 3,78 |

(1) Pour les parois vitrées, A représente la *surface en tableau*, c'est-à-dire la surface de l'ouverture incluant les menuiseries.

**Tableau 3 – Pavillon expérimental : calcul du débit total de renouvellement d'air
(air spécifique et perméabilité)**

| Débits | Cuisine | Salle de bains | Entrée | Séjour | Chambre 1 | Chambre 2 | Logement |
|------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|--------|--------|-----------|-----------|----------|
| Débits d'entrée d'air moyens | | | | | 50 | 25 | 25 |
| Q_{vmoy} ($m^3 \cdot h^{-1}$) | | | | | | | 100 |
| Surface des ouvrants A_m (m^2) | 1,60 | 0,57 | 2,15 | 7,54 | 1,50 | 1,50 | |
| Coefficient de perméabilité m ($m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$) | 0,3 | 0,3 | 1,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | |
| Longueur des coffres de volets roulants L_v (m) | 1,70 | | | 5,20 | 1,60 | 1,60 | |
| Coefficient de perméabilité v ($m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-1}$) | 0,2 | | | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| Perméabilité $P = m A_m + v L_v$ ($m^3 \cdot h^{-1}$) | 0,82 | 0,17 | 2,58 | 3,30 | 0,77 | 0,77 | 8,41 |
| Coefficient d'exposition au vent e' | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Pe' ($m^3 \cdot h^{-1}$) | 0,90 | 0,19 | 2,84 | 3,63 | 0,85 | 0,85 | 9,25 |
| Débit total de renouvellement d'air | | | | | | | |
| $Q = Q_{vmoy} + Pe'$ ($m^3 \cdot h^{-1}$) | 0,90 | 0,19 | 2,84 | 53,63 | 25,85 | 25,85 | 109,25 |

**Tableau 4 – Pavillon expérimental : calcul du total des déperditions
(par les parois et par renouvellement d'air)**

| Déperditions | Cuisine | | Salle de bains | | Entrée | | Séjour | | Chambre 1 | | Chambre 2 | | Logement | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Déperditions par les parois ($W \cdot K^{-1}$) | K ou k | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | |
| <i>Murs :</i> Mur extérieur Liaison façade-pignon..... | 0,35 0,07 | 13,68 5 | 4,79 0,35 | 5,61 | 1,96 | 4,07 | 1,42 | 25,35 5 | 8,87 0,35 | 15,28 5 | 5,35 0,35 | 15,28 5 | 5,35 0,35 | 27,74 1,4 |
| <i>Ouvrants :</i> Fenêtres avec volet..... Fenêtres sans volet..... Porte extérieure | 2,60 3,30 3,50 | 1,60 3,30 3,50 | 4,16 0,57 | | 1,88 | | | 7,54 2,15 | 19,60 7,53 | 1,50 2,15 | 3,90 1,75 | 1,50 1,05 | 3,90 1,05 | 40,97 |
| <i>Combles ($\tau = 0,95$) :</i> Plafond Liaison mur-plafond | 0,21 0,17 | 9,26 6,66 | 1,85 1,08 | 7,92 4,80 | 1,58 0,78 | 6,95 5,00 | 1,39 0,81 | 33,39 24,70 | 6,66 3,99 | 11,26 13,42 | 2,25 2,17 | 11,26 13,42 | 2,25 2,17 | |
| <i>Sous-sol et cage d'escalier ($\tau = 0,70$) :</i> Plancher..... Porte sous-sol Mur cage d'escalier | 0,57 2 0,86 | 9,26 6 | 3,69 3,61 | 7,92 6 | 3,16 3,61 | 6,95 2 | 2,77 2,80 | 33,39 10,75 | 13,32 6,47 | 11,26 1,75 | 4,49 1,05 | 11,26 1,75 | 4,49 1,05 | 46,90 |
| Déperditions par renouvellement d'air 0,34 Q ($W \cdot K^{-1}$) | 0,31 | | 0,06 | | 0,97 | | 18,23 | | 8,79 | | 8,79 | | 37,15 | |
| Total des déperditions ($W \cdot K^{-1}$) | 16,23 | | 13,03 | | 17,69 | | 77,49 | | 28,35 | | 28,35 | | 181,14 | |

Afin de simplifier le calcul de la surface transparente sud équivalente pour les parois opaques, les règles Th-BV [8] autorisent l'emploi de valeurs forfaitaires. Pour une maison individuelle indépendante faiblement ombragée, la valeur forfaitaire est égale à 0,007 fois la surface habitable, soit pour une surface de 80 m², 0,56 m².

■ Apports solaires annuels (§ 3.2.1.1) :

$$A_s = S_{se} E$$

Avec $E = 410 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ (zone H1), $A_s = 1\,550 \text{ kWh}$.

■ Apports internes annuels (§ 3.2.1.2) :

$$A_i = 22,9 S_h \text{ (zone H1)}$$

Avec $S_h = 80 \text{ m}^2$, $A_i = 1\,832 \text{ kWh}$.

■ Coefficient d'apports gratuits X (§ 3.2.2) :

$$X = \frac{A_{si}}{GV \cdot DH}$$

Avec $DH = 63 \times 10^3 \text{ h} \cdot \text{K}$ (zone H1), $X = 0,30$.

■ Taux de couverture d'apports gratuits F (§ 3.2.2) : la figure 3 donne, pour une inertie forte (pavillon isolé par l'extérieur), $F = 0,29$.

■ Coefficient BV (§ 3.2.3) :

$$BV = GV(1 - F) = 128,5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

d'où les besoins annuels de chauffage :

$$BV \cdot DH \approx 8\,100 \text{ kWh}$$

4.2 Immeuble expérimental du Gaz de France

4.2.1 Description

L'immeuble expérimental comprend 25 appartements répartis sur 5 niveaux. Chaque niveau est constitué d'un F3, de deux F2 et de deux studios répartis autour d'un couloir central (figure 7). Le bâtiment a un axe de symétrie nord-sud. Il est constitué d'une ossature du type « poutres et poteaux » en béton armé avec des murs rideaux dotés d'éléments interchangeables. L'isolation est extérieure.

Nous considérons, dans cet exemple, un F3 situé en étage courant, d'une surface habitable de 74,6 m², pour une hauteur sous plafond de 2,8 m.

Les façades de l'immeuble sont constituées par quatre types d'éléments :

- mur extérieur (de l'intérieur vers l'extérieur) : béton (20 cm), polystyrène (7,5 cm), lame d'air (11 cm), tôle d'aluminium ;
- panneaux opaques interchangeables : panneaux sandwichs constitués de 7 cm de polystyrène et de revêtements en tôle d'aluminium ;
- coffres de volets roulants : dotés d'une isolation intérieure de 5 cm de polystyrène ;
- panneaux vitrés interchangeables (trois types de panneaux : ouvrants, fixes et portes-fenêtres) : double vitrage avec menuiserie en aluminium.

La ventilation est assurée par des entrées d'air autoréglables en façade des pièces principales et une extraction mécanique en cuisine et salle de bains.

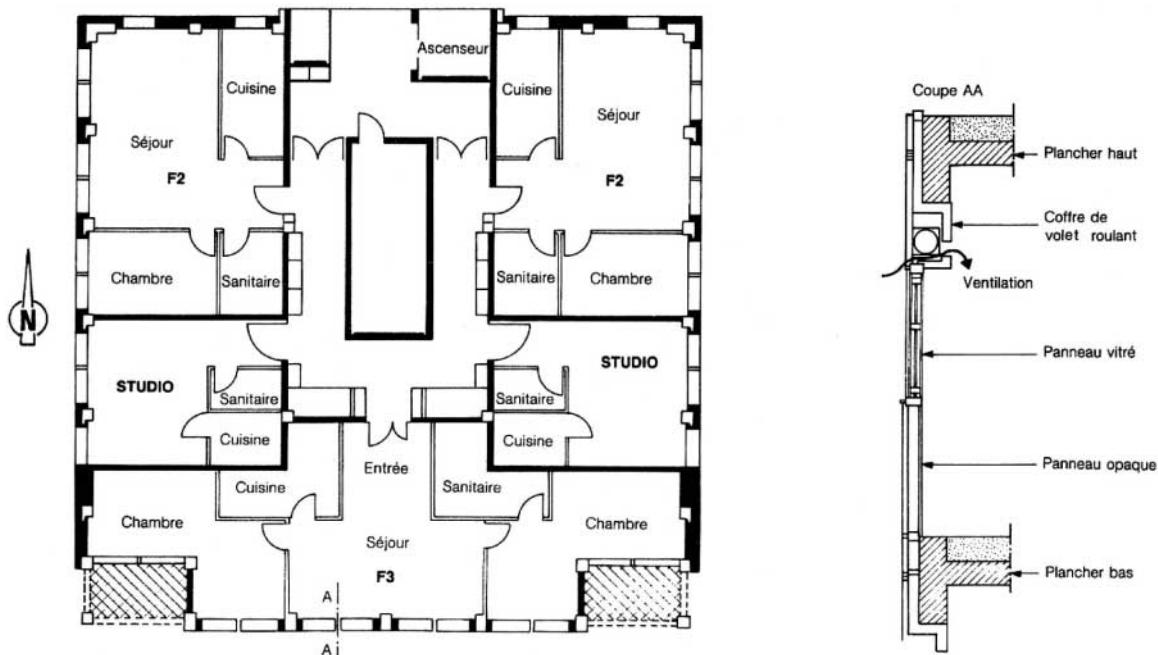


Figure 7 – Étage courant de l'immeuble expérimental du Gaz de France

Les déperditions vers le couloir central peuvent être négligées. De ce fait, les seules pièces du F3 ayant des déperditions sont le séjour et les deux chambres.

4.2.2 Déperditions moyennes. Calcul du coefficient GV

■ Détermination des coefficients K et k à partir des règles Th-K [6], comme décrit au paragraphe 3.1.2.

| Parois ou liaisons | K (W · m ⁻² · K ⁻¹) | k (W · m ⁻¹ · K ⁻¹) |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Mur extérieur | 0,43 | |
| Panneaux opaques..... | 0,81 | |
| Coffres de volet roulant | 0,70 | |
| Parois vitrées (avec fermetures) | 3,30 | |
| Liaison façade-pignon..... | | 0,07 |

■ Calcul du renouvellement d'air, comme décrit au paragraphe 3.1.2.2.

La cuisine est équipée d'une bouche d'extraction de 60 à 105 m³ · h⁻¹ et la salle de bains d'une bouche d'extraction de 15 à 30 m³ · h⁻¹ (valeurs données dans l'arrêté du 25 mars 1982).

Le débit total extrait maximal Q_{\max} est donc de 135 m³ · h⁻¹, le débit minimal Q_{\min} de 75 m³ · h⁻¹.

Ainsi :

$$Q_v = \frac{5 Q_{\min} + Q_{\max}}{6} = 85 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

valeur inférieure à 0,5 fois le volume du logement par heure.

Par conséquent, le renouvellement d'air moyen est pris égal à 0,5 volume par heure, soit 104,5 m³ · h⁻¹.

Les tableaux 5 et 6 donnent respectivement le détail des calculs du débit total de renouvellement d'air et du total des déperditions.

Ainsi, le coefficient GV théorique d'un F3 en étage courant de l'immeuble expérimental est égal à 124 W · K⁻¹.

4.2.3 Besoins annuels de chauffage BV · DH

■ Calcul de la surface transparente sud équivalente S_{se} (§ 3.2.1.1).

| | $A_{(1)}$ (m ²) | F_{ts} | F_e | C_1 | S_{se} (m ²) |
|--------------------------------------------|--------------------------------|----------|-------|-------|-------------------------------|
| Parois vitrées ouvrantes | 4,16 | 0,44 | 1 | 1 | 1,83 |
| Parois vitrées fixes..... | 8,32 | 0,47 | 1 | 1 | 3,91 |
| Portes-fenêtres | 4,16 | 0,45 | 0,4 | 1 | 0,75 |
| Parois opaques (valeur forfaitaire) .. | | | | | 0,15 |
| Surface transparente sud équivalente | | | | | 6,64 |

(1) Pour les parois vitrées, A représente la *surface en tableau*, c'est-à-dire la surface de l'ouverture incluant les menuiseries.

Pour les parois opaques, la surface transparente sud équivalente est prise égale à 0,002 fois la surface habitable du logement (logement collectif non situé sous toiture), soit 0,15 m².

■ Apports solaires annuels (§ 3.2.1.1) :

$$A_s = S_{se} E$$

Avec $E = 410 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ (zone H1), $A_s = 2722 \text{ kWh}$.

Tableau 5 – Immeuble expérimental : calcul du débit total de renouvellement d'air (air spécifique et perméabilité)

| Débits | Séjour | Chambre 1 | Chambre 2 | Logement |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|----------|
| Débits d'entrée d'air moyens Q_{vmoy}(m ³ · h ⁻¹) | 52,50 | 26 | 26 | 104,50 |
| Surface des ouvrants A_m(m ²) | 2,08 | 3,12 | 3,12 | |
| Coefficient de perméabilité m(m ³ · h ⁻¹ · m ⁻²) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | |
| Longueur des coffres de volets roulants L_v | 4,2 | 4,2 | 4,2 | |
| Coefficient de perméabilité v(m ³ · h ⁻¹ · m ⁻¹) | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| Perméabilité $P = m A_m + v L_v$ | 1,46 | 1,78 | 1,78 | 5,02 |
| Coefficient d'exposition au vent e' | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Pe'(m ³ · h ⁻¹) | 1,02 | 1,25 | 1,25 | 3,52 |
| Débit total de renouvellement d'air $Q = Q_{vmoy} + Pe'$(m ³ · h ⁻¹) | 53,52 | 27,25 | 27,25 | 108,02 |

Tableau 6 – Immeuble expérimental : calcul du total des déperditions (par les parois et par renouvellement d'air)

| Déperditions | Séjour | | | Chambre 1 | | Chambre 2 | | Logement |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|----------|
| Déperditions par les parois (W · K ⁻¹) | K ou k | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | A ou L | KA ou kL | |
| <i>Murs</i> Mur extérieur | 0,43 | 10,43 | 4,48 | 15,65 20 | 6,73 1,40 | 15,65 20 | 6,73 1,40 | } 20,74 |
| Liaison façade-pignon..... | 0,07 | | | | | | | |
| <i>Panneaux opaques</i> | 0,81 | 2,08 | 1,68 | 3,12 | 2,53 | 3,12 | 2,53 | 6,74 |
| <i>Coffres de volets roulants</i> | 0,70 | 2 | 1,4 | 2,5 | 1,75 | 2,5 | 1,75 | 4,90 |
| <i>Panneaux vitrés</i> | 3,30 | 6,24 | 20,59 | 5,20 | 17,16 | 5,20 | 17,16 | 54,91 |
| Déperditions par renouvellement d'air 0,34 Q (W · K ⁻¹) | | | | 18,20 | | 9,27 | | 36,74 |
| Total des déperditions (W · K ⁻¹) | | | | 46,35 | | 38,84 | | 38,84 |
| | | | | | | | | 124 |

■ Apports internes annuels ([§ 3.2.1.2](#)) :

$$A_i = 22,9 S_h \text{ (zone H1)}$$

Avec $S_h = 74,6 \text{ m}^2$, $A_i = 1708 \text{ kWh}$.■ Coefficient d'apports gratuits X ([§ 3.2.2](#)) :

$$X = \frac{A_{si}}{GV \cdot DH}$$

Avec $DH = 63 \times 10^3 \text{ h} \cdot \text{K}$ (zone H1), $X = 0,57$.■ Taux de couverture d'apports gratuits F ([§ 3.2.2](#)) : la figure 3 donne, pour une inertie forte, $F = 0,50$.■ Coefficient BV ([§ 3.2.3](#)) :

$$BV = GV(1 - F) = 62 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

d'où les besoins annuels de chauffage :

$$BV \cdot DH \approx 3900 \text{ kWh}$$

On remarquera que les apports gratuits récupérés correspondent à 50 % des déperditions ($GV \cdot DH$), alors qu'ils ne correspondaient qu'à 30 % dans le cas des pavillons expérimentaux du fait de leur moindre solarisation.

Références bibliographiques

- [1] BREJON (P). – *Déperditions et besoins de chauffage des bâtiments*. Revue AICVF chauffage, ventilation et conditionnement d'air, juin-juil. 1987.
- [2] Catalogue *T. des outils de conception thermique des bâtiments* (ouvrage collectif). Atelier d'évaluation H2E85, Pycéditions (1986).
- [3] Commission des Communautés Européennes (DG III). *Study for an eurocode on the rational use of energy in buildings*. 2973/III/86.
- [4] Commission des Communautés Européennes (DG III). *Rational use of energy in buildings*. 354/III/86.
- [5] Commission des Communautés Européennes (DG XVII). *Thermal insulation and ventilation in buildings. A comparison of requirements in the EEC Member States*. 439 / 87 / EN, 440/87/EN.
- [6] **Règles Th-K** : règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. CSTB, nouvelle édition, janv. 1987 (mise à jour en juil. 1988).
- [7] **Règles Th-G** : règles de calcul du coefficient GV des bâtiments d'habitation et du coefficient $G1$ des bâtiments autres que d'habitation. CSTB, juil. 1988.
- [8] **Règles Th-BV** : règles de calcul du coefficient de besoins de chauffage des logements. CSTB, juil.-août 1988 (annexes en sept. 1988).
- [9] **Règles Th-C** : règles de calcul du coefficient de performance thermique globale des logements. CSTB, juil.-août 1988 (compléments et annexes en sept. 1988).
- [10] **Guide de diagnostic thermique**. AFME, Eyrolles (1987).
- [11] DORE (B.). – *La régulation du chauffage central au gaz des locaux d'habitation*. Congrès ATG (1981).
- [12] Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction, des déperditions de base des bâtiments et du coefficient G des logements et autres locaux d'habitation. Titre II : déperditions de base des bâtiments. CSTB-DTU, fév. 1975 (modifié en nov. 1977).
- [13] **Règles Th-D** : règles de calcul des déperditions de base des bâtiments et de la puissance calorifique des émetteurs destinés au chauffage. CSTB (en projet pour 1989).