

Chapitre 3 :

Principes Généraux du Chauffage

– Du Besoin à la Restitution –

Objectifs pédagogiques

À l'issue de ce chapitre, l'étudiant sera capable de :

- Calculer les déperditions thermiques d'un local selon la norme EN 12831.
- Dimensionner une source de chaleur (chaudière, PAC).
- Analyser les architectures de réseaux de distribution.
- Dimensionner et choisir des émetteurs adaptés.

III.1. Introduction

Le chauffage des bâtiments constitue un enjeu majeur dans le domaine de l'énergétique, représentant une part significative de la consommation énergétique mondiale. L'objectif principal d'un système de chauffage est d'assurer le **confort thermique des occupants** tout en optimisant les performances énergétiques et en minimisant l'impact environnemental. Il répond de ce fait à une logique physique simple : compenser les pertes pour maintenir une température de consigne.

Un système de chauffage repose sur trois fonctions essentielles :

- **Production de chaleur**
- **Distribution de chaleur**
- **Émission de chaleur**

Ces fonctions doivent être conçues de manière cohérente pour répondre aux besoins thermiques du bâtiment.

III.2. Calcul des déperditions thermiques

Les **déperditions thermiques** correspondent aux flux de chaleur sortant du bâtiment vers l'extérieur ou vers des locaux non chauffés (garages, combles, circulations). Leur estimation est fondamentale pour dimensionner un système de chauffage, tant en puissance qu'en énergie.

On distingue deux grandes familles :

1. **Déperditions par transmission** – à travers les parois opaques (murs, toit, planchers), les vitrages et les **ponts thermiques** (linéiques ou ponctuels). Ces derniers sont dus aux discontinuités de l'isolant (angles, liaisons, percements).
2. **Déperditions par renouvellement d'air** – incluant la ventilation hygiénique contrôlée (débit connu) et les infiltrations parasites (fonction de l'étanchéité à l'air du bâtiment).

III.2.1. Déperditions par transmission

Elles correspondent aux flux traversant l'enveloppe sous l'effet d'une différence de température (voir la figure III.1). On y inclut :

- Les **parois courantes** : murs, toitures, planchers bas, vitrages (déperditions surfaciques, exprimées en W/K par unité de surface).
- Les **ponts thermiques** : discontinuités de l'isolant ou changements géométriques (angles, liaisons mur/plancher, percements). Ils sont généralement modélisés comme des **déperditions linéiques** (ψ en W/m.K) ou **ponctuelles** (χ en W/K).

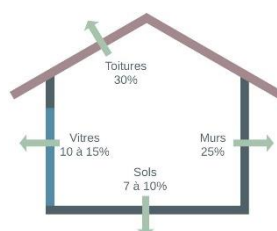


Figure III.1 Déperditions thermiques par transmission

Les déperditions thermiques à travers les parois courantes se calculent comme suit :

$$\Phi_{tr} = \sum_i U_i A_i (T_{int} - T_{ext}) \quad (III-1)$$

Avec :

- U_i : coefficient de transmission thermique (W/m².K)
- A_i : surface de la paroi (m²)
- T_{int} , T_{ext} : températures intérieure (chauffée) et extérieure de base (ex: 1.4°C pour M'Sila)

Remarque :

Plus le coefficient U est faible, meilleure est l'isolation.

Les déperditions thermiques à travers les ponts thermiques se calculent comme suit :

$$\Phi_{pt} = \sum_j \Psi_j A_j (T_{int} - T_{ext}) \quad (III-2)$$

Où, le coefficient Ψ est généralement déterminé par :

- Calcul numérique (ex : éléments finis)
- Valeurs tabulées (réglementation thermique)

III.2.2. Déperditions par ventilation

Les **déperditions par renouvellement d'air** correspondent à la quantité de chaleur que le système de chauffage doit fournir pour élever l'air neuf entrant dans le bâtiment (plus froid) jusqu'à la température intérieure de consigne. Contrairement aux déperditions par transmission qui traversent les parois, ces pertes sont liées à des **mouvements de matière** : l'air chaud intérieur est remplacé par de l'air froid extérieur, et l'énergie nécessaire à ce réchauffement constitue une charge thermique supplémentaire. Elles proviennent du renouvellement d'air nécessaire à la qualité de l'air intérieur.

On distingue deux origines physiquement distinctes, bien que leurs effets thermiques soient analogues :

- **La ventilation hygiénique contrôlée** Il s'agit du débit d'air neuf introduit volontairement dans le bâtiment pour assurer la qualité de l'air intérieur (évacuation du CO₂, des polluants, de l'humidité). Ce débit est fixé par la réglementation (ex : 0,5 à 1,0 renouvellement par heure selon l'usage du local) et est assuré par un système mécanique (VMC simple flux, double flux, hygroréglable). Dans le calcul des déperditions, on retient la valeur nominale du débit.
- **Les infiltrations parasites** Elles correspondent aux entrées d'air non maîtrisées à travers les défauts d'étanchéité de l'enveloppe : joints de fenêtres mal posés, fissures dans les murs, passages de gaines non calfeutrées, etc. Contrairement à la ventilation contrôlée, les infiltrations sont indésirables et variables selon la qualité de construction. Elles sont caractérisées par l'indice **n50** (nombre de renouvellements d'air par heure sous une dépression de 50 Pa), mesuré lors d'un test d'infiltrométrie (blower door).

La puissance thermique nécessaire pour compenser les déperditions par renouvellement d'air s'écrit :

$$\Phi_{vent} = \dot{m} cp(T_{int} - T_{ext}) \quad (III-3)$$

Ou plus couramment en utilisant le débit volumique :

$$\Phi_{vent} = \dot{V} \rho cp(T_{int} - T_{ext}) \quad (III-4)$$

Avec :

- $\dot{V}$: débit volumique d'air total (ventilation + infiltrations) en m³/s
- ρ : masse volumique de l'air $\approx 1,2$ kg/m³
- cp : chaleur massique de l'air ≈ 1005 J/kg.K (soit 0,34 Wh/m³.K)

En pratique, on utilise souvent la formule simplifiée suivante, très courante en dimensionnement :

$$\Phi_{vent} = 0.34 Q_{vol} (T_{int} - T_{ext}) \quad (III-5)$$

Où Q_{vol} est le débit total en m³/h et 0,34 (Wh/m³.K) intègre le produit $\rho \cdot c_p$ converti en unités usuelles ($1,2 \times 1005 / 3600 \approx 0,334$)

III.2.2.1. Estimation du débit total

Selon la méthode employée, le débit total $\dot{V}$ peut être déterminé de deux façons regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III.1. Estimation du débit volumique total

Méthode	Formule	Domaine d'usage
Approche réglementaire (RT, EN 12831)	$\dot{V} = n \cdot V_{local}$ avec $n = 0,5$ à $1,0$ vol/h	Bâtiments résidentiels, tertiaires courants
Approche par perméabilité (haute performance)	$\dot{V} = n50/20 \cdot V_{local}$ (règle du facteur 20)	Bâtiments BBC, Passivhaus, labels

La seconde méthode est plus réaliste pour les constructions modernes étanches : plus n50 est faible (ex : 0,6 h⁻¹), plus les infiltrations sont réduites, et plus la ventilation contrôlée devient prépondérante.

III.2.3. Déperditions totales et puissance de chauffage

La détermination de la **puissance de chauffage nécessaire** constitue une étape essentielle dans le dimensionnement des systèmes thermiques des bâtiments. Elle repose sur l'évaluation globale des **déperditions thermiques**, c'est-à-dire l'ensemble des flux de chaleur quittant le bâtiment vers l'environnement extérieur sous l'effet d'un gradient de température.

La puissance de chauffage requise peut être exprimée par la relation suivante :

$$P_{chauffage} = \Phi_{tr} + \Phi_{vent} + \Phi_{inf} \quad (III-6)$$

Où :

- Φ_{tr} représente les déperditions par transmission (parois opaques et vitrées, incluant les ponts thermiques),
- Φ_{vent} correspond aux pertes dues à la ventilation contrôlée (renouvellement d'air hygiénique),
- Φ_{inf} désigne les pertes par infiltrations d'air non contrôlées.

Dans la pratique, ces différentes contributions sont calculées séparément puis sommées afin d'obtenir une estimation réaliste de la charge thermique du bâtiment. Il est important de noter que les infiltrations dépendent fortement de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, paramètre particulièrement critique dans les bâtiments performants de type BBC (Bâtiment Basse Consommation).

Afin de garantir le confort thermique dans des conditions réelles d'exploitation, notamment après une période d'abaissement nocturne ou d'arrêt temporaire du chauffage, il est recommandé d'introduire une **marge de relance**, généralement comprise entre **10 et 20 %**. Cette marge permet de couvrir le besoin supplémentaire lié au réchauffage rapide des parois et de l'air intérieur.

Exemple d'application

Considérons une maison individuelle de type BBC d'une surface habitable de 100 m².

Les hypothèses sont les suivantes :

- Coefficient de transmission thermique moyen : $U_{moy}=0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Surface déperditive totale : $S=300 \text{ m}^2$
- Écart de température : $\Delta T=25 \text{ K}$

Les déperditions par transmission sont alors estimées par :

$$\Phi_{tr}=U_{moy}\cdot S\cdot\Delta T=0,25\times 300\times 25=1875 \text{ W}$$

Pour la ventilation hygiénique, en considérant un débit d'air de 80 m³/h, les pertes sont données par :

$$\Phi_{vent}=0,34\cdot V\cdot\Delta T=0,34\times 80\times 25=680 \text{ W}$$

En négligeant ici les infiltrations (cas d'un bâtiment étanche), la puissance totale devient :

$$P_{chauffage}\approx 1875+680=2555 \text{ W}$$

En intégrant une marge de relance de l'ordre de 15 %, la puissance de chauffage à installer est :

$$P_{installée}\approx 3 \text{ kW}$$

3. Production de chaleur

3.1 Types de générateurs (Master)

Technologie	Principe	Rendement/PAC
-----	-----	-----
Chaudière gaz condensation	Récupération chaleur latente	$\eta > 105 \%$ (PCS)
Chaudière bois (granulés)	Combustion régulée	$\eta \approx 85-92 \%$
Pompe à chaleur (air/eau)	Cycle thermodynamique inverse	COP = 3 à 5
Solaire thermique	Capteurs plan/sous vide	$f_{\text{solaire}} \sim 30-60 \%$

3.2 Dimensionnement

Puissance choisie $(P_{\text{prod}} \geq P_{\text{chauffage}} + P_{\text{ECS}} + \text{pertes distribution})$.

Pour une PAC :

$$P_{\text{prod}} = \frac{P_{\text{chauffage}}}{\text{COP}_{\text{moyen}}}$$

En hiver, COP dégrade $\rightarrow$ prendre COP à -7°C (norme EN 14511).

> ****Dimensionnement critique**** : surdimensionnement $\rightarrow$ cycles courts, usure, rendement dégradé.

> Sous-dimensionnement $\rightarrow$ bi-bivalences (ex: appoint électrique).

3.3 Régulation production

- Loi d'eau (chaudière) : $(T_{\text{départ}} = T_{\text{cons}} + k \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}))$
- Commande par température extérieure + sonde retour.

4. Distribution de chaleur

4.1 Architectures classiques

Type	Schéma	Avantages	Inconvénients
----- ----- ----- -----			
Bitube		Départ/retour indépendants Équilibrage possible, parfait pour régulation	Coût tuyauterie
Monotube série		Émetteurs en série Faible coût	Impossibilité régulation individuelle
Colonne montante		Immeubles Simplicité	Fortes pertes verticales
Plancher chauffant		Noyé dans dalle Basse température, confort	Inertie élevée

4.2 Pertes de distribution

Deux origines :

- **Pertes thermiques** : $(P_{\text{dist,th}} = \sum (U_{\text{tube}} \cdot L \cdot \Delta T_{\text{moyen}}))$
- **Pertes hydrauliques** : $(P_{\text{hydr}} = \dot{m} \cdot g \cdot H_{\text{pompe}})$

Rendement de distribution typique : $\eta_{\text{dist}} \approx 0,85$ à $0,98$ selon isolation et longueur.

4.3 Équilibrage hydraulique

Nécessaire pour éviter les sur-débits ou sous-débits.

Méthodes :

- Vanne d'équilibrage + mesure de ΔP .
- Méthode des **ΔT constants** sur chaque émetteur.

5. Émission de chaleur

5.1 Typologie des émetteurs

Émetteur	Température d'eau	Puissance typique	Inertie
----- ----- ----- -----			
Radiateur acier	60-75°C	50-150 W/m	Faible
Plancher chauffant	30-40°C	70-100 W/m²	Très élevée
Ventilo-convecteur	45-55°C	200-500 W	Faible (ventilation)
Panneau rayonnant	50-70°C	80-120 W/m	Moyenne

5.2 Puissance d'un émetteur

Loi générale (pour radiateur) :

$$P = K \cdot (\Delta T_{\text{log}})^n$$

avec $\Delta T_{\log} = \frac{T_{\text{départ}} - T_{\text{retour}}}{\ln\left(\frac{T_{\text{départ}} - T_{\text{amb}}}{T_{\text{retour}} - T_{\text{amb}}}\right)}$

En pratique, on utilise des **facteurs de correction** $f(\Delta T)$ donnés par constructeur.

5.3 Confort et température opérative

Un bon émetteur doit :

- Minimiser l'asymétrie radiative ($\Delta T_{\text{ray}} < 5 \text{ K}$)
- Permettre une régulation pièce par pièce
- Être compatible avec la température de production (ex: basse température → plancher chauffant).

6. Synthèse – Lien entre les quatre points

Un dimensionnement cohérent impose :

1. **Calculer** les déperditions (point 2) → puissance utile.
2. **Choisir** production (point 3) en tenant compte des pertes distribution.
3. **Dimensionner** distribution (point 4) → débit, diamètres, pompe.
4. **Sélectionner** émetteurs (point 5) adaptés à la température de production.

> **Application numérique simplifiée**

> Déperditions : 5 kW

> Pertes distribution (10 %) : 0,5 kW

> Puissance à produire : 5,5 kW

> Choix : PAC air/eau COP = 3 → puissance électrique absorbée 1,83 kW

> Émetteurs : plancher chauffant basse température (35°C) → confort + COP élevé.

7. Exercice pédagogique (niveau Master)

Énoncé :

Bureau 30 m², $U_{\text{mur}} = 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, surface murale 40 m², vitrage $U = 1,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, surface vitrée 6 m².

Ponts thermiques : $\psi = 0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, longueur totale 20 m.

Ventilation : 60 m³/h. $T_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{ext}} = -5^\circ\text{C}$.

1. Calculer les déperditions totales.
2. Dimensionner une chaudière gaz condensation (rendement 105 % PCS) en incluant 15 % de marge.

3. Proposer un schéma de distribution bitube avec 2 radiateurs ($\Delta T = 20 \text{ K}$). Calculer le débit total.
4. Vérifier que la puissance des radiateurs (donnée constructeur : 800 W chacun pour $\Delta T = 50 \text{ K}$) est suffisante en régime 60/40°C ($\Delta T_{\log} = ?$).

****Correction disponible sur demande.****

8. Références normatives et bibliographie

- EN 12831 : Méthode de calcul des déperditions thermiques
- EN 15316 : Rendements des systèmes
- RT 2012 / RE2020 – coefficients forfaitaires
- Livre : *Chauffage et climatisation*, J. Lebrun, P. Nussgens, Dunod.

****Fin du chapitre.****

Prochain chapitre : Régulation avancée et intégration énergétique (smart grids, GTB).