

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie mécanique

3^{ème} Année Licence

Spécialité : Energies renouvelables et Efficacité énergétique

Polycopié de la matière

Thermique du bâtiment et Efficacité Energétique

Fait par : **Dr. BENAHMED Lamia**

Maitre de conférences « B »



2024-2025

Avant-propos

Le présent polycopié de la matière Thermique du Bâtiment et Efficacité Energétique est conçu pour les étudiants de la troisième année de licence en Energies Renouvelables et Efficacité Energétique.

Le document est composé de cours avec divers exercices, il respecte les programmes de la Thermique du Bâtiment et de l'Efficacité Energétique approuvés par le ministère.

Ce polycopié est le résultat de plusieurs années d'expérience pédagogique de l'auteur dans sa présentation didactique.

Son contenu est le fruit de la lecture de nombreux ouvrages et documents, dont la majorité figure dans la bibliographie.

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : Caractérisation de l'enveloppe du bâtiment

I.1	Introduction et définitions. Terminologie de l'efficacité énergétique.....	5
I.1.1	Efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment	5
I.1.2	Bâtiment performant	5
I.1.3	Différentes sources d'énergie.....	6
I.2.	Rappel sur les systèmes électromécaniques dans les bâtiments.....	10
I.2.1.	Définition des systèmes CVCA (chauffage, ventilation et conditionnement d'air).....	10
I.2.2.	Objectifs des systèmes 'CVCA'	11
I.2.3.	Confort thermique.....	12
I.3.	Introduction générale sur la thermique du bâtiment	12
I.4.	Enveloppe du bâtiment.....	14
I.5.	Besoins thermiques.....	15
I.5.1	Besoins nets.....	15
I.5.2	Besoins bruts.....	15
I.5.3	Consommation finale.....	15
I.5.4.	Inertie thermique.....	16
I.5.4.1.	Effusivité thermique.....	16
I.5.4.2.	Diffusivité thermique.....	16
I.6.	Matériaux d'isolation et de construction.....	17
I.6.1.	Fonctionnement d'un isolant.....	17
I.6.2	Techniques d'isolation.....	18
I.6.3	Choix de l'isolant.....	18
I.6.4	Types d'isolants.....	19
I.7.	Conception bioclimatique des bâtiments.....	19
I.8.	Démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique.....	23
I.9.	Astuces pour une meilleure utilisation du bâtiment.....	24

Chapitre II : Chauffage et climatisation

II.1. Rappel sur le transfert de chaleur.....	26
II.2. Systèmes de chauffage.....	30
II.2.1. Bilan Thermique Du Bâtiment.....	31
II.2.1.1. Calcul des déperditions thermiques.....	31
II.2.1.2. Déperditions par renouvellement d'air.....	36
II.2.2. Estimer les besoins en chauffage.....	38

Chapitre III : Techniques de production d'eau chaude domestique

Introduction.....	39
III.1. Définition d'un chauffe-eau.....	39
III.2. Types d'appareils de chauffage de l'eau.....	39
III.3. Chauffe-eau solaire.....	43

Chapitre IV : Régulation de la consommation énergétique

IV.1. Gestions techniques.....	47
IV.1.1. Gestion technique des bâtiments (GTB).....	47
IV.1.2 Gestion technique centralisée GTC.....	54
IV.2. Domotique.....	54
IV.3. Télégestion.....	55

Chapitre V : Gestion de l'énergie et Audit Énergétique

V.1. Bases de l'audit énergétique.....	57
V.1.1. Définition.....	57
V.1.2. Objectifs d'un audit énergétique.....	57
V.1.3. Différents types de l'audit énergétique.....	58
V.1.4. Procédure générale pour un audit énergétique détaillé.....	63
V.2. Comptabilité et évaluation des mesures d'économie d'énergie.....	65
V.3. Analyse de la facturation d'énergie.....	69
Exercices divers.....	75
Exercice : Bilan thermique d'une maison individuelle.....	81
Bibliographie.....	85

Chapitre I : Caractérisation de l'enveloppe du bâtiment

I.1 Introduction et définitions. Terminologie de l'efficacité énergétique

Il existe plusieurs définitions de l'efficacité énergétique, nous retiendrons quelques-unes :

- C'est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des pertes).
- L'efficacité énergétique s'appuie généralement sur l'optimisation des consommations, c'est à dire réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, mieux utilisé l'énergie à qualité de vie constante.
- L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie réduite pour le même service rendu.

De ces trois définitions se dégage un point commun que : **l'efficacité énergétique vise à réduire le rapport entre l'énergie utile et la consommation énergétique.**

I.1.1 Efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment

On parle beaucoup de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, tout simplement parce que le bâtiment est le premier consommateur d'énergie, absorbant plus de 40% de la production totale d'énergie et étant responsable de plus de 25% des émissions de CO₂ (ou Gaz à Effet de Serre).

C'est de là qu'est née la politique "20/20/20" de l'UE visant à réduire de 20% les gaz à effet de serre, à diminuer la consommation d'énergie de 20% et à augmenter la place des énergies renouvelables de 20%. Il est ainsi devenu indispensable de construire des bâtiments efficaces d'un point de vue énergétique et de rénover les bâtiments existants qui sont beaucoup trop énergivores et qui ne répondent plus du tout aux exigences des nouvelles réglementations.

I. 1.2 Bâtiment performant

La performance énergétique d'un bâtiment correspond donc au rapport entre l'énergie utile produite par le bâtiment et celle qu'il absorbe. L'objectif est tout simplement de diminuer la consommation d'énergie tout en maintenant des conditions d'utilisation et de confort

satisfaisantes. Il s'agit de consommer moins et surtout mieux. Améliorer la performance énergétique des bâtiments permet donc de :

- Réduire les coûts en énergie,
- Diminuer les émissions de carbone du bâtiment (et donc de contribuer à la préservation de l'environnement),
- D'améliorer le confort des occupants,
- D'améliorer la sécurité énergétique, l'adaptation au changement climatique
- D'améliorer le rendement d'exploitation du bâtiment
- D'améliorer l'image de votre organisation.



Figure I.1 : Bâtiment performant

I.1.3 Différentes sources d'énergies

L'énergie est un secteur économique de première importance, qui comprend la production, le transport, la transformation, la distribution et la commercialisation des diverses sources d'énergie. L'exploitation des sources d'énergie primaire est suivie par sa transformation éventuelle en énergie secondaire : production de produits pétroliers par raffinage, production d'électricité et de la chaleur. On a deux types d'énergie :

- Les énergies non renouvelables 'classiques'
- Les énergies renouvelables

a). Energies non renouvelables

Elles sont encore très utilisées car elles fournissent un meilleur rendement énergétique. Les énergies non renouvelables engendrent de nombreux déchets et émettent des gaz à effet de serre.

□ Les principales sources d'énergies non renouvelables :

Les principales ressources énergétiques non renouvelables sont les énergies fossiles (**gaz naturel, charbon, pétrole**) et l'énergie **nucléaire**.

- L'énergie est la capacité à réaliser un travail (ou le coût de ce travail).

- L'unité internationale est le Joule [J].

b). Energies renouvelables

Une énergie est dite renouvelable si elle est d'origine naturelle et disponible de manière quasiment continue. Ses réserves ne diminuent pas ou se reconstituent à une échelle de temps humaine.

Les énergies renouvelables sont issues de deux grandes sources d'énergies : le Soleil et la Terre. Ces énergies sont des énergies propres car elles engendrent très peu de déchets.

Les différentes sources des énergies renouvelables sont :

- ✓ Énergie solaire,
- ✓ Énergie éolienne,
- ✓ Énergie hydraulique,
- ✓ Biomasse,
- ✓ Énergie géothermique.

a) Energie solaire :

Il s'agit de l'énergie qui nous est transmise par le soleil sous forme de rayonnements. Elle peut être transformée en chaleur par les capteurs solaires ou en énergie électrique par les cellules photovoltaïques qui constituent les panneaux solaires.

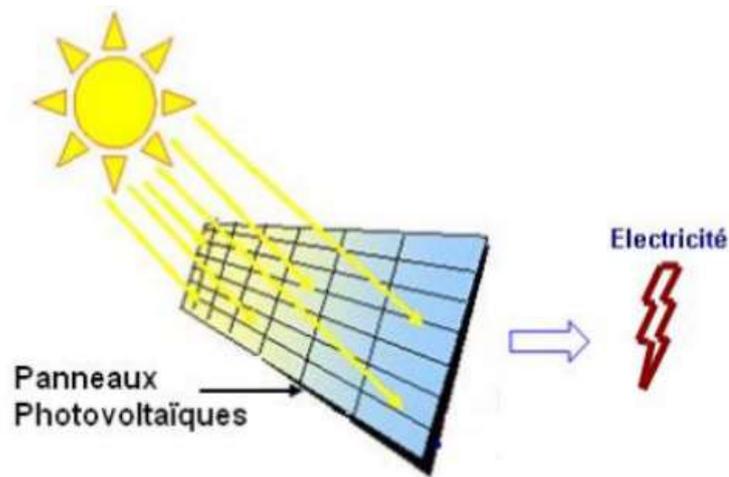


Figure I.2 : Energie photovoltaïque

On peut donc trouver plusieurs utilisations de l'énergie solaire : via des panneaux solaires thermiques qui produisent de la chaleur, via des centrales thermiques solaires permettant de stocker de l'énergie ou via des panneaux photovoltaïques qu'ils s'agissent d'une source d'énergie particulièrement utile pour alimenter des habitations éloignées des grands réseaux de distribution électrique.

b) Energie éolienne

Il s'agit de l'énergie cinétique liée au vent et donc aux mouvements de l'air. Le vent fait tourner les pâles de l'éolienne (au nombre de trois en général).

- Ce mouvement mécanique est transformé en énergie électrique.



Figure I.3 : Champ éolien

c) Energie hydraulique

L'énergie hydraulique correspond à l'énergie que peut apporter les mouvements de l'eau, que ce soit sous forme d'énergie cinétique (par le biais de son mouvement lorsqu'elle s'écoule dans un fleuve ou lors de marées) ou que ce soit sous forme d'énergie potentielle (exploitée en montagne dans les chutes d'eau).



Figure I.4 : Energie hydraulique

d) Biomasse

La biomasse comprend toutes les substances issues de la végétation utilisables directement comme combustible (comme le bois) ou pour produire du biogaz ou des biocarburants. Les déchets végétaux peuvent être directement brûlés pour produire de la chaleur ou de l'électricité ou les deux (on parle alors de cogénération). On appelle ce processus la biomasse par combustion.



Figure I.5 : Energie biomasse

e) Energie géothermique

Cette énergie n'est exploitable que dans des zones où le magma terrestre chauffe les eaux souterraines. En effet, la température des roches augmente à mesure que l'on se déplace en profondeur.

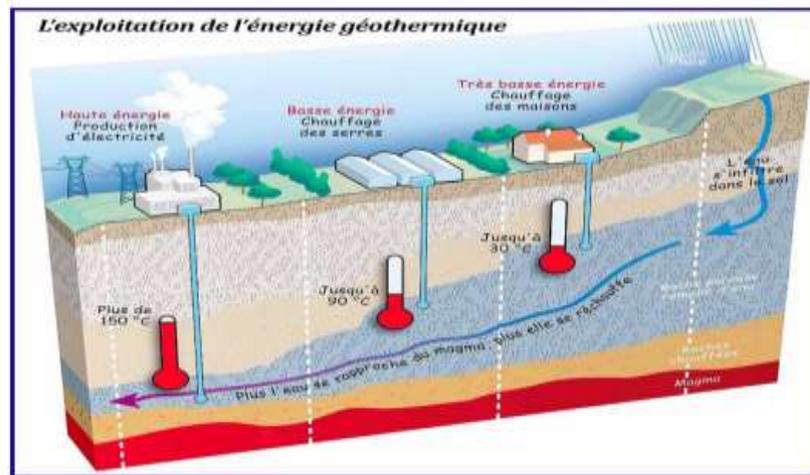


Figure I.6 : Energie géothermique

I.2. Rappel sur les systèmes électromécaniques dans les bâtiments

I.2.1. Définition des systèmes CVCA (chauffage, ventilation et conditionnement d'air)

Les installations de chauffage, de climatisation et de ventilation (CVC) sont destinées à contrôler la température, la qualité d'air et parfois l'humidité pour apporter un environnement intérieur adapté à l'activité des occupants. Ces installations représentent une part importante de la consommation énergétique des bâtiments

- Les fonctions assurées sont : ➔ le **chauffage** ; ➔ le **refroidissement** ; ➔ la **ventilation**.
- Cette première partie présente les équipements de production de chaleur, de froid et de ventilation.

a) Chauffage

Le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique à un objet, un matériau ou à l'air ambiant. On distingue le chauffage à des fins de confort thermique domestique (chauffage

des locaux, chauffage de l'eau, etc.) et le chauffage à des fins industrielles (chauffage de pièces mécaniques, de processus industriels, etc.).

Un système de chauffage consomme de l'énergie sous une forme et la restitue sous forme de chaleur.

b) Climatisation :

La climatisation est la technique qui consiste à modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques d'un intérieur pour des raisons de confort (automobile, bureaux, maisons individuelles) ou pour des raisons techniques (laboratoires médicaux, locaux de fabrication de composants électroniques, blocs opératoires, salles informatiques, etc.).

✓ Les conditions climatiques à modifier, contrôler ou réguler sont :

- la température de l'air, selon la saison le cas échéant (chauffage ou refroidissement) ;
- le degré d'hygrométrie de l'air (humidification ou déshumidification) ;
- la qualité de l'air intérieur : odeur, empoussièrément.

c) Ventilation

La ventilation est l'action qui consiste à créer un renouvellement de l'air, par déplacement dans un lieu clos. Elle est mise en œuvre dans les lieux où l'oxygène risque de manquer, ou bien où des polluants et autres substances indésirables (humidité, par exemple) risqueraient de s'accumuler en son absence : logements, bureaux, magasins, salles de spectacles, d'enseignement, ouvrages souterrains, tunnel routier, atelier industriel, mine...

I.2.2. Objectifs des systèmes 'CVCA'

Le but d'un système de CVCA est d'assurer aux usagers des conditions d'hygiène et de sécurité respectant la réglementation en vigueur, ainsi qu'un certain niveau de confort.

La réalisation d'un système de CVCA permet de maîtriser dans un bâtiment :

- ✓ le niveau d'hygiène (CO₂, polluants, particules, odeurs, etc.) ;
- ✓ le niveau de sécurité (clapets coupe-feu dans les gaines de ventilation, désenfumage, etc.) ;
- ✓ la température ambiante (en hiver et en été) ;

- ✓ l'hygrométrie (l'humidité de l'air) ;
- ✓ le renouvellement de l'air en lieu fermé.

I.2.3. Confort thermique

Le confort thermique est essentiel dans le bilan énergétique dans le sens où c'est le premier critère à obtenir, avec une meilleure efficacité énergétique et l'économie d'énergie la plus possible.

Le confort thermique n'est pas qu'une question de température mais aussi également d'humidité relative et de la qualité de l'air.

Donc le confort thermique est le compromis entre les critères principaux suivants :

- * La température ambiante,
- * l'humidité relative,
- * le rayonnement des parois,
- * l'absence des courant d'air,
- * la qualité de l'air.

On a trois critères pour améliorer le confort thermique et pérenniser un bâtiment :

- ✓ en isolant thermiquement le logement,
- ✓ en choisissant de meilleurs systèmes de chauffage et d'aération,
- ✓ en créant des courant d'air, éventuellement en installant un climatiseur.

I.3. Introduction générale sur la thermique du bâtiment

La thermique du bâtiment décrit et analyse les échanges qui se réalisent entre un bâtiment et son environnement. Cette analyse se repose sur plusieurs facteurs :

❖ Facteur environnemental

- L'emplacement géographique du bâtiment
- L'implantation générale
- La nature du sol

❖ Facteur fonctionnel

- Les bâtiments ne sont pas identiques par leurs fonctions (on ne chauffe, n'isole ou ne ventile pas de la même manière un hôpital, une école, une simple habitation, un magasin ou un entrepôt).

- L'éclairage, l'usage de machines produisent plus ou moins de la chaleur qu'il faut ajouter au bilan thermique.

❖ Nature des matériaux et composants employés dans la construction du bâtiment

- Les parois extérieures (murs, planchers et toitures) sont des surfaces d'échange thermique que l'on doit considérer relativement à leurs :

- Orientation,
- Dimensions physiques,
- Matériaux,
- Propriétés thermiques,
- Textures et couleurs,
- La transmittance des vitres dans le cas des parois vitrées,
- Etanchéité et perméabilité.

- Les parois intérieures sont considérées dans leur masse et contribuent à l'inertie thermique et à la capacité d'accumuler de la chaleur.

❖ Facteur humain

Le confort thermique exprime le bien-être de l'individu placé dans une ambiance en fonction de différents paramètres tels que :

- La température ambiante
- La température radiante
- La vitesse relative de l'air
- L'hygrométrie de l'air

I.4. Enveloppe du bâtiment

L'enveloppe du bâtiment est la barrière physique entre les environnements extérieurs et intérieurs qui entourent une structure. Généralement, l'enveloppe du bâtiment est constituée d'une série de composants et de systèmes (les murs, les toitures, les sols, fondation, les fenêtres, les portes) qui protègent l'espace intérieur des effets de l'environnement comme les précipitations, le vent, la température, l'humidité et le rayonnement ultraviolet. L'environnement interne est composé des occupants, de l'ameublement, des matériaux de construction, de l'éclairage, des machines, des équipements et du système de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)

Optimiser l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment par :

- **Renforcer l'isolation des murs** : Pour les bâtiments dont les murs ne sont pas isolés, l'ajout d'une couche d'isolation thermique peut s'avérer rentable. Cette amélioration permet de limiter les pertes de chaleur et de rehausser l'efficacité énergétique globale du bâtiment.
- **Améliorer la performance des fenêtres** : Lorsque les fenêtres représentent une proportion importante des surfaces exposées, les remplacer par des modèles à haut rendement (vitrages à faible émissivité, bonne étanchéité à l'air, etc.) permet de réduire la consommation d'énergie tout en améliorant le confort thermique des occupants.

L'amélioration de l'enveloppe des bâtiments est l'un des meilleurs moyens d'obtenir un meilleur rendement énergétique.

Fonction

L'enveloppe d'un bâtiment sert à de nombreuses fonctions. Ces fonctions peuvent être divisées en 3 catégories :

- **Support** : pour garantir la solidité et la rigidité ; fournir un soutien structurel contre les charges et les forces internes et externes.
- **Contrôle** : pour contrôler l'échange d'eau, d'air, de condensation et de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.
- **Finition** : c'est pour des raisons esthétiques. Il s'agit de rendre le bâtiment attrayant tout en assurant des fonctions de soutien et de contrôle.

I.5. Besoins thermiques

Les besoins thermiques représentent les déperditions de chauffage. Ils s'obtiennent par calcul des déperditions surfaciques plus les déperditions linéiques et plus les déperditions par renouvellement d'air (pertes thermiques pour réchauffer l'air neuf extérieur). En hiver la température intérieure est généralement supérieure à la température extérieure, un flux de chaleur va être créé. Il pourra être diminué en ayant recourt à une isolation performante et une optimisation de l'étanchéité du bâtiment. En plus le bâtiment profitera des apports calorifique gratuits qui sont généralement inférieurs aux déperditions.

I.5.1 Besoins nets

Les besoins nets en énergie pour le chauffage est la quantité de chaleur que doit fournir le système d'émission de chaleur (radiateur par exemple) pour maintenir le bâtiment à une température plus ou moins constante.

Les besoins de chauffage nets se calculent par :

$$\text{Besoins nets} = \Sigma \text{ des déperditions thermiques} - \Sigma \text{ apports calorifiques}$$

I.5.2 Besoins bruts

Il s'agit de la quantité de chaleur transmise par votre générateur de chaleur au système d'émission.

$$\text{Besoins bruts} = \text{besoins nets} + \text{déperditions de distribution} + \text{déperditions d'émission}$$

I.5.3 Consommation finale

$$\text{Consommation finale} = \text{besoins bruts} + \text{déperditions de production}$$

Le rendement se calcul par :

$$\eta = \frac{\text{besoins nets}}{\text{consommation finale}}$$

I.5.4 Inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment ou d'une pièce de ce bâtiment est sa capacité à amortir les variations de température intérieure. Un bâtiment à forte inertie thermique aura une température intérieure naturellement stable, malgré de fortes variations des gains de chaleur qui pourraient

résulter de gains solaires par les vitrages ou d'une occupation importante (salle de réunion). Cette inertie dépend de plusieurs caractéristiques :

- La capacité d'accumulation de chaleur des matériaux en contact avec l'ambiance intérieure
- Les possibilités d'échange thermique de ces matériaux avec l'ambiance intérieure
- L'isolation thermique du bâtiment.

I.5.4.1. Effusivité thermique

Exprime la capacité d'un matériau à absorber (ou restituer) de la chaleur dans un temps déterminé :

L'effusivité thermique d'un matériau est notée souvent par « b » est donnée par :

$$b = \sqrt{\lambda \rho C} \quad [b] : J / m^2 K \cdot s^{1/2}$$

La quantité de chaleur accumulée dans un matériau d'épaisseur infinie lorsque l'on chauffe sa surface est proportionnelle à $b\sqrt{t}$ où t est le temps écoulé depuis le début du chauffage.

I.5.4.2. Diffusivité thermique

Le coefficient de diffusion de chaleur est appelé diffusivité thermique, il est souvent noté par α . Il caractérise la vitesse de diffusion de la chaleur dans le matériau ou plus précisément il exprime la "vitesse" avec laquelle la chaleur pénètre dans un matériau, ou la profondeur à laquelle la chaleur a un effet après une période de temps donnée.

Cette diffusivité se calcule par :

$$D_{\text{thermique}} = \alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

La chaleur peut diffuser aussi vite dans un matériau isolant tel que le plastique (λ et ρ petites) que dans un matériau conducteur tel que l'acier (λ et ρ grandes). On peut donc avoir des diffusivités proches avec pourtant des conductivités éloignées.

α : m^2/s ou m^2/h ;

λ : Conductivité thermique [W/m.K] ;

ρ : Masse volumique [kg/m^3] ;

c : capacité thermique massique du matériau, en (kJ/kg.K) ;

$\rho.C$: Chaleur volumique (kJ/ m³.K)

I.6. Matériaux d'isolation et de construction

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. La chaleur se propage du milieu chaud vers le milieu froid par conduction, rayonnement, convection, voire évaporation-condensation, ou par l'action simultanée d'un ou plusieurs de ces modes de transfert de chaleur. Le but de l'isolation thermique est de réduire, les échanges thermiques entre deux corps de températures différentes. Elle peut avoir pour but de garder la chaleur présente à l'intérieur d'une maison, ou garder le froid dans un réfrigérateur. Cela passe par l'interposition d'un matériau isolant entre le milieu chaud et le milieu froid. Ce matériau généralement appelé « isolant thermique ».

L'isolation thermique a pour objectif de diminuer les pertes de chaleur dans l'enceinte du bâtiment. Elle joue un rôle non négligeable dans :

- la réduction de la consommation d'énergie (de chauffage et de climatisation),
- la préservation de l'environnement,
- l'amélioration du confort.

I.6.1. Fonctionnement d'un isolant

L'isolant a pour vocation de freiner la déperdition ou le gain de chaleur due à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Pour qu'un isolant soit efficace, il doit être un mauvais conducteur de chaleur. Cette performance est donnée par sa résistance thermique surfacique.

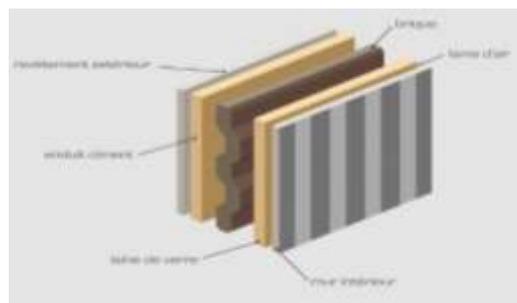


Figure I.7: Isolation thermique

$$R = r_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + r_{se} = \frac{1}{U}$$

U : coefficient d'échange global qui caractérise la quantité de chaleur pouvant traverser une surface.

r_{si} et r_{se} : les résistances superficielles respectivement intérieure et extérieure de l'isolant

e : l'épaisseur de l'isolant et λ : sa conductivité thermique

I.6.2 Techniques d'isolation

Il y'a trois techniques différentes pour réaliser l'isolation thermique d'une paroi ou d'un mur, chacune d'elles dispose d'avantages et d'inconvénients :

- ❖ Isolation extérieure
- ❖ Isolation intérieure
- ❖ Isolation répartie

I.6.3 Choix de l'isolant

Différents critères entrent dans le choix d'un isolant :

Sa conductivité thermique caractérisant son pouvoir isolant

- Sa longévité
- Son prix
- Ses contraintes de mise en place
- Ses caractéristiques face au feu et à l'humidité

I.6.4 Types d'isolants

- **Isolants minéraux** : fabriqués à partir de matière naturelle inorganiques (la laine de verre, la laine de roche, le verre cellulaire, l'argile expansé.....)
- **Isolants organiques** : à partir de matière végétale ou animale (liège, fibre de bois, chanvre, laine de mouton

- **Isolants synthétiques** : utilisent des matériaux non présents dans la nature (plastique, polystyrène,
- **Isolants minces** : épais de quelques millimètres sont constitués d'une ou plusieurs couches d'aluminium et des couches intermédiaires de différentes natures (feutre, mousse,.....).

I.7. Conception bioclimatique des bâtiments

La conception bioclimatique des bâtiments permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les besoins énergétiques. Aussi elle a pour objectif de réduire les besoins énergétiques des bâtiments et d'obtenir des conditions de vie adéquates et confortables (température, taux d'humidité, luminosité...etc.) de manière la plus naturelle possible grâce à une conception intelligente des bâtiments.



Figure I.8 : Maison bioclimatique

Quelques principes qui guident la conception **des maisons bioclimatiques** :

- **L'implantation et l'intégration** : les façades vitrées sont à placer vers le sud du bâtiment afin d'optimiser l'ensoleillement et de minimiser les pertes dues aux vents froids.
- **L'orientation** : l'orientation du bâtiment est l'un des facteurs les plus importants pour la conception bioclimatique. En hiver, le soleil est bas dans le ciel, il est donc important que le bâtiment soit orienté vers le sud pour bénéficier de la chaleur du soleil. En été, le soleil est haut

dans le ciel, il est donc important que le bâtiment soit protégé du soleil avec des protections solaires

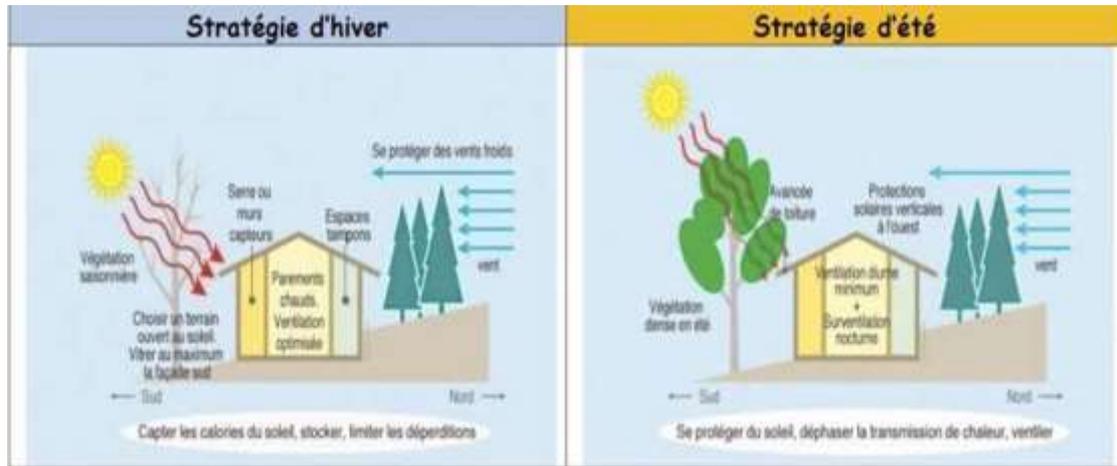


Figure I.9 : Orientation des bâtiments

- **Le volume de la maison** : une forme compacte est à préférer pour éviter les déperditions thermiques (en été comme en hiver).
- **La disposition des pièces de vie** : Au Sud, peut accueillir une serre non chauffée (séjour ; pièce de vie). Au côté Nord, on place les pièces nécessitant peu de chauffage (garage ; buanderie...) pour jouer le rôle de 'zone tampon' entre l'extérieur et l'habitation. C'est le principe de la « double enveloppe ».

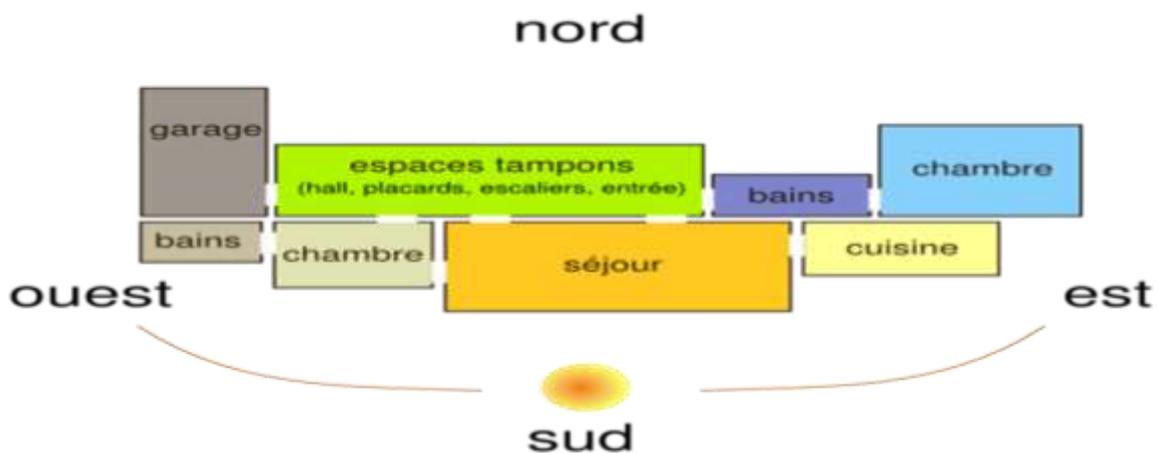


Figure I.10 : Orientation des pièces de vie

- **Des parois performantes** : permettant des gains en chaleur passive et en lumière naturelle.

• **La ventilation naturelle** : la ventilation naturelle est utilisée pour rafraîchir le bâtiment en été sans avoir recours à la climatisation. La ventilation naturelle peut être passive, lorsque le vent et les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment créent un flux d'air, ou active, lorsque des systèmes mécaniques sont utilisés pour créer un flux d'air.

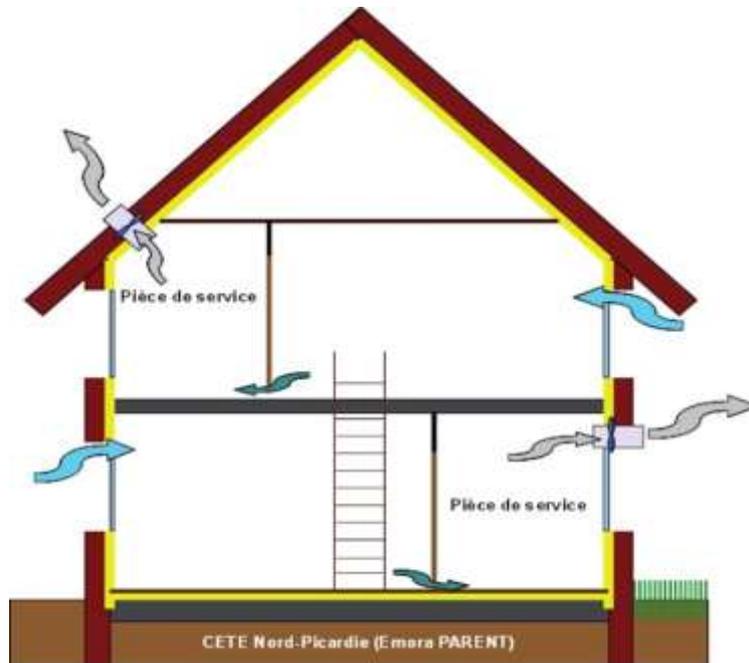


Figure I.11 : Ventilation naturelle

- **Inertie thermique** : utilisation de matériaux lourds à l'intérieur ayant la capacité de stocker les calories (exemple : un sol en pierre sombre isolé dans une serre bien exposée), permettant un déphasage jour/nuit.
- **Isolation** : performante et de préférence posée par l'extérieur pour réduire les ponts thermiques.

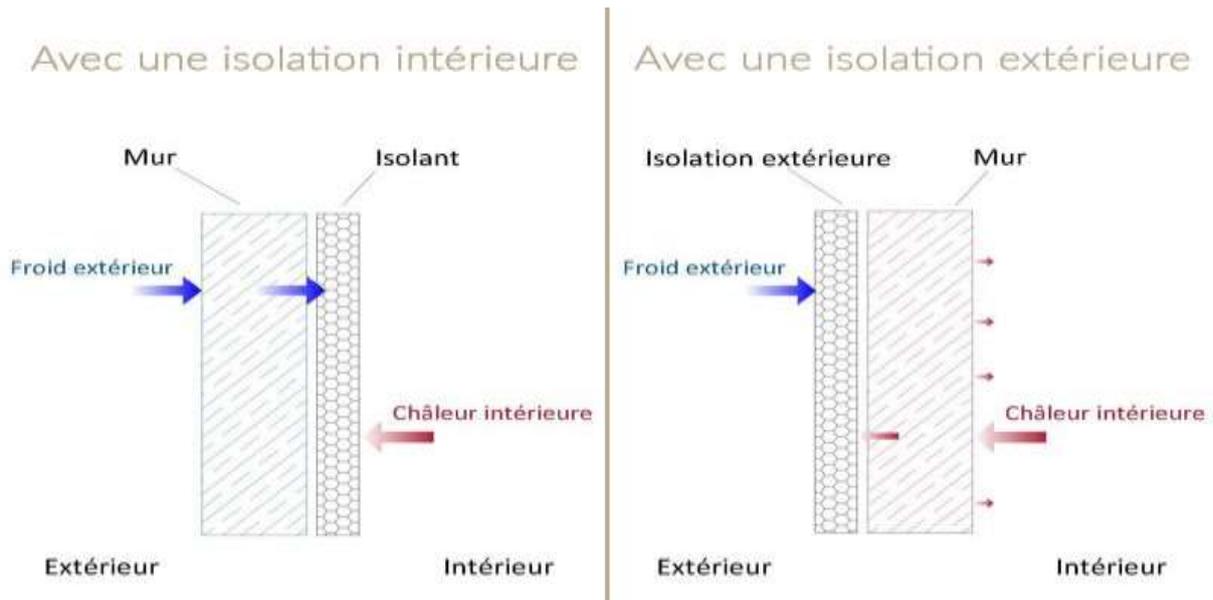


Figure I.12 : Isolation thermique

- **Le vitrage** : à placer de préférence au sud pour profiter des apports caloriques du soleil et de la lumière.
- **Les matériaux** : l'utilisation de matériaux 'bio', respirant et hygroscopiques permet une régulation naturelle de l'humidité ambiante. Afin d'augmenter le confort thermique, des matériaux tels que la dalle massive, l'argile, ...seront utilisés pour leurs propriétés d'inertie thermique et ainsi créer des accumulations de chaleur ou de fraîcheur.
- **Les murs** : les murs exposés au soleil doivent être plutôt sombres (les couleurs sombres accumulent le rayonnement solaire tandis que les couleurs claires le réfléchissent), l'entrée principale doit être protégée par un sas pour limiter l'entrée/sortie de l'air chaud ou froid. [5]
- **Les énergies renouvelables** : les énergies renouvelables, telles que le solaire, l'éolien ou la géothermie, doivent être utilisées pour produire l'énergie nécessaire au bâtiment.



Figure I.13 : L'intégration des énergies renouvelables dans un bâtiment.

I.8. Démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique

En matière d'efficacité énergétique, il faut principalement jouer sur deux leviers : diminuer les besoins qui sont relatifs au bâti proprement dit et améliorer les équipements techniques du bâtiment et leur gestion. Un troisième levier très difficile à quantifier et qui est le comportement de l'utilisateur être inclus.

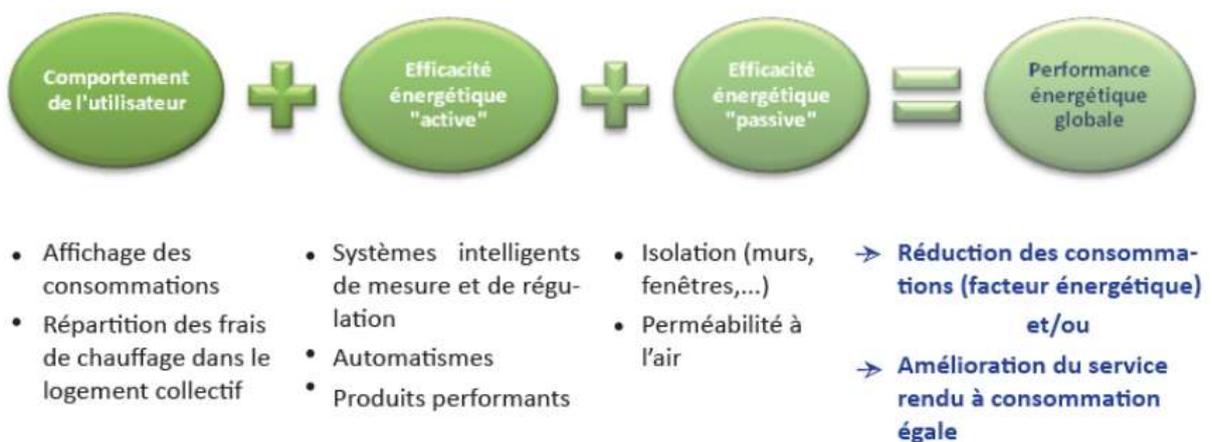


Figure I.14: Démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique

○ **Diminuer les besoins : efficacité énergétique « passive »**

L'efficacité énergétique passive résulte d'une part de l'isolation du logement et sa perméabilité à l'air, en utilisant par exemple des matériaux performants d'isolation thermique ou des menuiseries à triple vitrage, d'autre part, du choix d'équipements les plus performants c'est à dire des produits qui rendront le même service en consommant moins.

○ **Superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment : efficacité énergétique « active »**

Basée sur une offre de produits performants et de systèmes intelligents de régulation, d'automatismes et de mesure, l'efficacité énergétique active permet de :

- Réduire les consommations d'énergie, donc la facture énergétique ;
- Améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire.

I.9. Astuces pour une meilleure utilisation du bâtiment

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste le plus souvent à :

- augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante ;
- économiser l'énergie à service rendu égal ;
- réaliser les deux simultanément.

Un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment comporte plusieurs étapes qui vont, à travers des actions cohérentes, permettre des gains énergétiques en agissant les différents paramètres humains et matériels suivants :

- ✓ **L'utilisation de produits performants** : il est indispensable de choisir des équipements possédant le meilleur rendement énergétique possible.
- ✓ **L'intégration des énergies renouvelables** : Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire) de façon renouvelable
- ✓ **Mesure des consommations** : La gestion de l'énergie d'un bâtiment consiste en premier lieu à compter/mesurer les consommations.

- ✓ **L'affichage des consommations** : Un afficheur permet une visualisation pour les différents usages de la consommation ou des coûts instantanés, horaires, journaliers, ou mensuels, l'historique des consommations voire les économies réalisées, ...
- ✓ **Les systèmes intelligents de régulation et gestion** : La régulation est gérée par des automates qui permettent de traiter les informations de mesure (température, humidité...) et d'état (marche/arrêt...) des équipements de chauffage, de climatisation et d'éclairage pour les régler, les optimiser, les sécuriser et compter l'énergie consommée.
- ✓ **Le maintien de la performance** : La conception efficace ne se suffit pas à elle-même. Elle doit être appuyée à chaque instant par une gestion rationnelle de l'énergie.

Chapitre II : Climatisation et chauffage

II.1. Rappel sur le transfert de chaleur

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'existe entre eux une différence de température et cela quel que soit le milieu, même vide, qui les sépare.

Il existe trois modes de transfert de la chaleur :

1. Conduction
2. Convection
3. Rayonnement

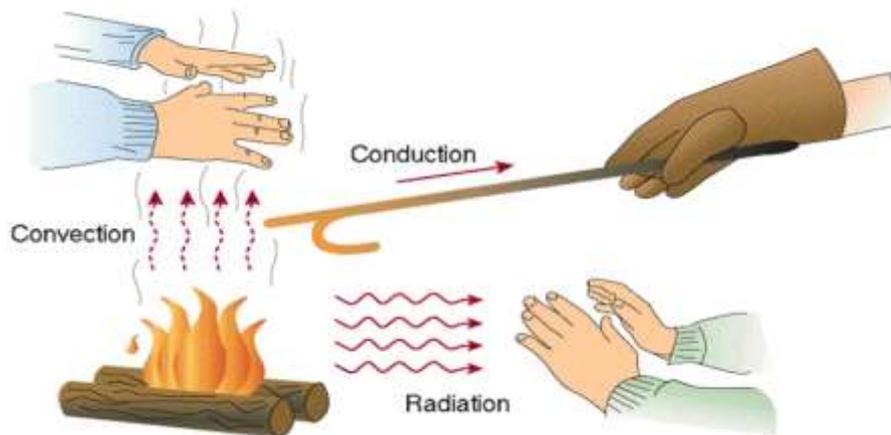


Figure II.1. Modes du transfert de chaleur

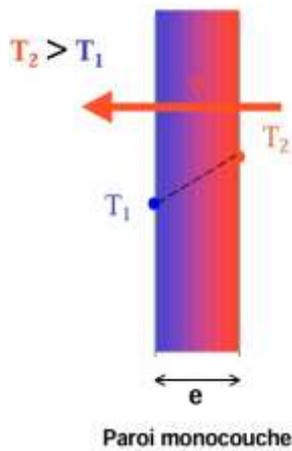
1. Conduction

Mode de transmission provoqué par la différence de température entre deux régions d'un solide, liquide ou gazeux à condition qu'il soit immobile.

Le transfert de chaleur résulte d'un transfert d'énergie cinétique d'une molécule à une autre molécule adjacente. Ce mode de transfert est le seul à exister dans un solide opaque.

➤ **En régime permanent paroi monocouche :**

ΔT entre les deux faces, avec une densité de flux ϕ . On observe alors l'évolution de température suivante :



La densité de flux et le flux qui traverse la paroi s'écrit sous la forme :

$$\varphi = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{e} \quad (\text{II.1})$$

$$\Phi = \frac{\lambda \cdot \Delta T \cdot S}{e} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

λ : conductivité thermique du matériau (W /m.K)

e : épaisseur de la paroi (m)

ΔT : différence de température entre les deux faces de la paroi (K)

S : surface de la paroi (m²)

➤ Si on considère une surface de paroi de 1 m² :

$$\varphi = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{e} \quad (\text{II.3})$$

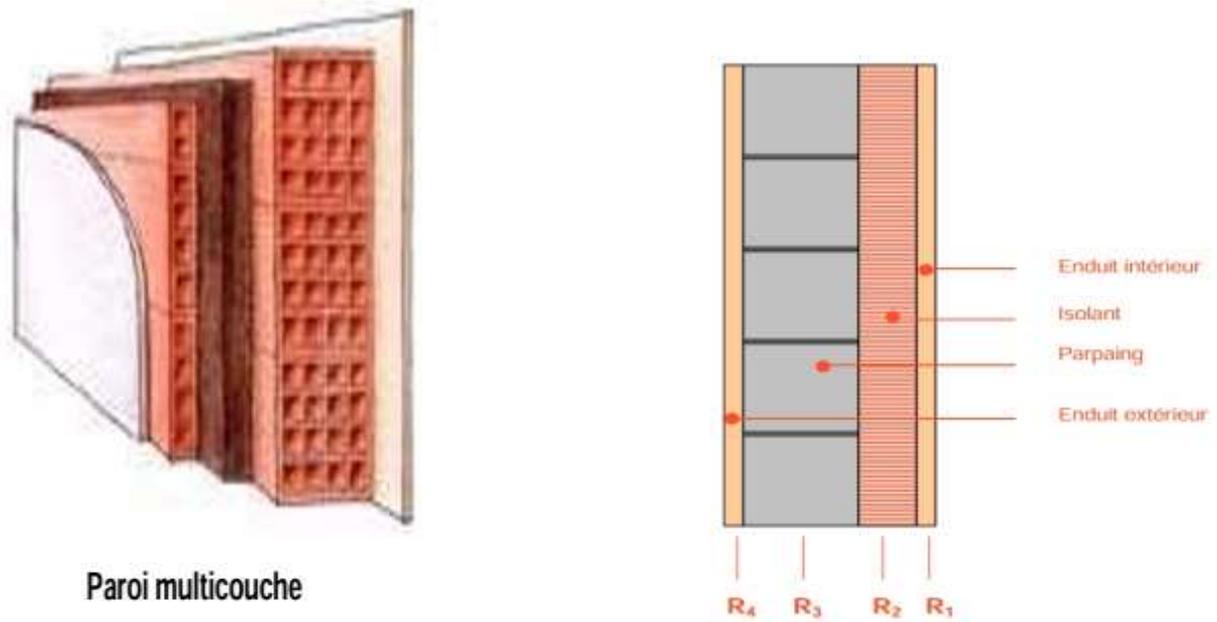
La **conductance** d'un ensemble solide est : $U = \frac{\lambda}{e}$ en (W / m².K) (II.4)

La **résistance thermique** de la paroi est : $R = \frac{e}{\lambda}$ en (K. m² / W) (II.5)

$$\varphi = U \cdot \Delta T \quad \text{où} \quad \varphi = \frac{\Delta T}{R} \quad \text{Avec} \quad U = \frac{1}{R}$$

➤ **En régime permanent Paroi multicouche :**

Lorsque les éléments sont **en série** :



Paroi multicouche

Figure II.2. Paroi multicouche en série

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (\text{II.6})$$

On additionne les résistances : $R_{\text{total}} = \sum R_p$ (II.7)

Lorsque les éléments sont **en parallèle** :

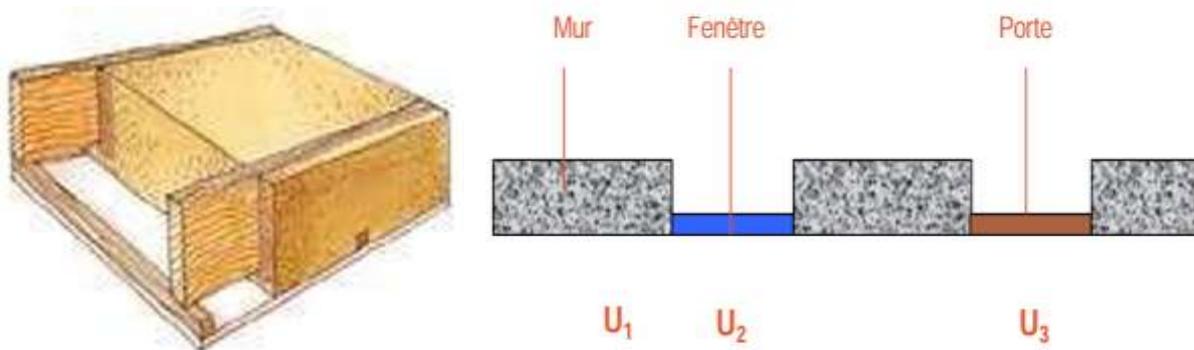


Figure II.3. Paroi multicouche en parallèle

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (\text{II.8})$$

$$U_{\text{total}} = \frac{U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2 + U_3 \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \quad (\text{II.9})$$

On additionne les conductances : $U_{total} = \sum U_i \cdot S_i / \sum S_i$ (II.10)

La conductance est égale à l'inverse de la résistance, par conséquent, on a : $U = 1/R$

2. Convection

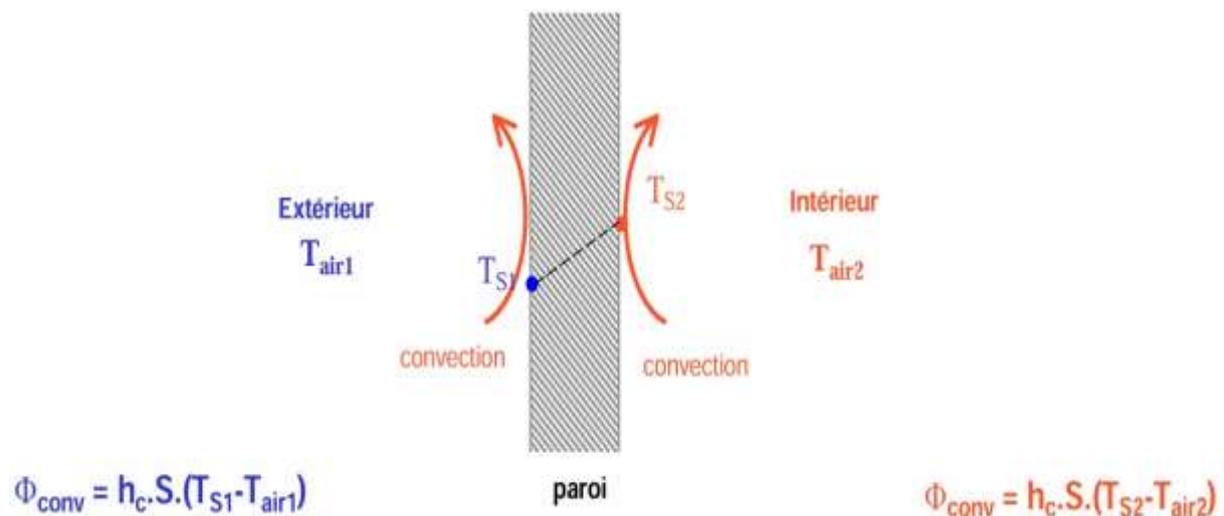
C'est le mode de transmission de la chaleur provoqué par la différence de température entre une surface d'un solide à température T_s et un fluide (liquide ou gaz) à température T_f . La chaleur étant emportée par le fluide en mouvement. On distingue deux sortes de convection :

- Convection naturelle
- Convection forcée

Convection naturelle : le mouvement du fluide est créé par différence de densités due à la différence de température dans le fluide.

Convection forcée : le mouvement du fluide est provoqué par une action externe (pompe, ventilateur ...)

- Le flux de chaleur échangé par convection s'exprime par :



Avec :

h_c : coefficient d'échange par convection ($W/m^2.K$)

S : surface d'échange (m^2)

T_{s1} : température de surface

T_{air} : température de l'air

Le coefficient h_c est très variable et dépend de la vitesse de l'air au voisinage de la paroi.

A l'extérieur la paroi est soumise au vent, à l'intérieur les mouvements d'air sont plutôt calmes. On distingue donc deux types de coefficients d'échanges convectifs h_c : **Extérieur** et **Intérieur**

$$\Phi_{\text{conv}} = h_c \cdot S \cdot (T_{S1} - T_{\text{air}1}) \longrightarrow (T_{S1} - T_{\text{air}1}) = \Phi_{\text{conv}} / h_c \cdot S \quad (\text{II.11})$$

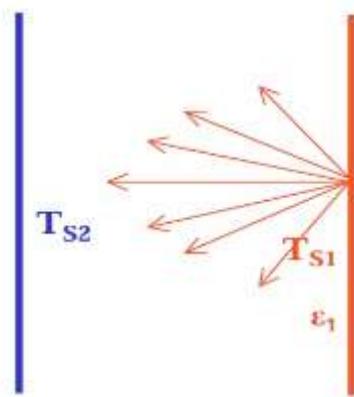
$1/h_c$: résistance de convection

3. Rayonnement

Le flux de chaleur échangé par rayonnement est donné par la relation :

$$\Phi_{\text{ray1-2}} = \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot S_1 \cdot (T_{S1}^4 - T_{S2}^4) \quad (\text{II.12})$$

Où :



ε : Facteur d'émission de la surface

σ : Constante de Stefan-Boltzman

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$

T_s : Température radiante de l'environnement

T_{S2} : Température de surface

II.2. Systèmes de chauffage

L'objectif du chauffage est d'améliorer le confort thermique des êtres vivants pendant la saison froide. Le chauffage des locaux, des volumes de vie ou de l'eau des piscines implique la conception d'un système de chauffage avec ses quatre composants principaux :

- la production de chaleur
- la distribution de chaleur
- l'émission de chaleur
- la régulation.

II.2.1. Bilan thermique du bâtiment

Le bilan thermique est le bilan des flux de chaleur qui entrent et sortent du bâtiment. La différence entre ce qui entre et ce qui sort sert à augmenter (ou diminuer) la température de la masse du bâtiment.

Le bilan énergétique considère toutes les formes d'énergie, pas seulement la chaleur. Il décompte donc aussi l'électricité servant à l'éclairage et à la climatisation, et toutes les formes d'énergie (gaz, mazout, bois) qui sert non seulement à chauffer mais aussi à compenser les pertes des installations et à d'autres utilisations comme la cuisine ou la lessive !

Le bilan instantané le jour le plus froid (ou le plus chaud) permet de dimensionner la puissance du chauffage (ou de refroidissement). Le bilan annuel (somme des besoins de toutes les heures ou de tous les jours ou de tous les mois) permet de prédire la consommation et donc de voir l'effet de diverses mesures d'économie d'énergie.

II.2.1.1. Calcul des déperditions thermiques

Un système de chauffage fonctionne en utilisant une énergie primaire, qui peut être d'origine fossile (fuel, gaz naturel, GPL, charbon, etc.) ou renouvelable (le soleil, le bois énergie, la géothermie, la pompe à chaleur, etc.), pour la transformer en énergie finale, c'est-à-dire en chaleur. Il existe plusieurs systèmes de chauffage. La conception et le choix du système doit se faire en fonction :

- des besoins en confort
- des déperditions par transmission (surfaciques, linéaires et ponctuelles)
- des déperditions par renouvellement d'air
- des apports calorifiques intérieurs.

Faire un bilan thermique d'hiver signifie trouver la puissance calorifique nécessaire de l'installation de chauffage capable d'assurer les besoins en confort.

a). Calcul des déperditions d'un logement

- **Règles de calcul des déperditions calorifiques ' chauffage 'selon le document DTR C3-2 :**

Le document DTR C3-2 a pour objectif de :

- Déterminer des déperditions calorifiques des bâtiments ;
- Vérifier la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Dimensionner des installations de chauffage des bâtiments ; on introduit alors la notion de déperditions calorifiques de “base” ;
- Améliorer la conception thermique des bâtiments.

➤ **Etapes de calcul**

DTR C3-2 repose essentiellement sur quatre étapes :

- Définir les volumes thermiques,
- Calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmission et les pertes par renouvellement d’air,
- Vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence,
- Calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage. Volume thermique : est un volume d’air supposé homogène en température, susceptible d’être chauffé par un corps de chauffe dimensionné à cet effet.

Déperditions totales d’un logement :

Les déperditions totales D pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par :

$$D = \sum Di \quad [W/^\circ C] \quad (\text{II.13})$$

Di : déperditions totales du volume i

Déperditions totales d’un volume :

Les déperditions totales Di d’un volume i sont données par :

$$Di = (DT)i + (DR)i \quad [W/^\circ C] \quad (\text{II.14})$$

DT : déperditions thermiques par Transmission

DR : déperditions thermiques par renouvellement d’air.

Déperditions par transmission d’un volume (i) :

Les déperditions par transmission $(DT) i$ d’un volume i à travers son enveloppe sont données par:

$$(DT)i = (Ds)i + (Dli)i + (Dsol)i + (Dlnc)i \quad [W/^\circ C] \quad (\text{II.15})$$

$(Ds)_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur ;

$(Dli)_i$ en $W/^\circ C$) représente les déperditions à travers les liaisons ;

$(Dsol)_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ;

$(Dlnc)_i$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de $1^\circ C$ entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule :

$$Ds = KxA \quad (\text{II.16})$$

Où

K (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission surfacique (appelé aussi conductance) ;

A (en m^2) est la surface intérieure de la paroi.

Coefficient K des parois opaques :

Si la paroi est hétérogène le coefficient K est donné par la formule :

$$K_{moy} = \frac{\sum Ki Ai}{\sum Ai} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (\text{II.17})$$

Ai : est la surface de paroi dont le coefficient de transmission est égal Ki en m^2

$\sum Ai$: est la surface intérieure totale de la paroi en m^2

Le coefficient K est donné par la formule suivante :

$$1/K = \sum R + \frac{1}{he} + \frac{1}{hi} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (\text{II.18})$$

$\sum R$: est la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. Elle est donnée par la formule suivante pour une couche homogène :

$$Ri = ei/\lambda i \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad (\text{II.19})$$

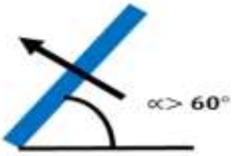
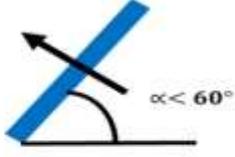
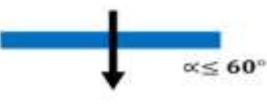
ei : épaisseur de la couche du matériaux

λi : conductivité thermique du matériaux

- Une paroi échange de la chaleur avec deux milieux séparés par la convection et le rayonnement, s'exprime par un coefficient d'échange superficiel ($W/m \cdot ^\circ C$).

- La convection de la chaleur entre une surface et l'air se manifeste par l'équation de la résistance d'échange superficiel ri ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), est mentionné sur le tableau ci-dessous:

Tableau.II.1. Coefficient d'échange superficiel intérieur & extérieur (DTR C3-2).

$1/h$ en ($m^2 \cdot C/W$)		Pari en contact avec :			Pari en contact avec :		
		$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Mur (Latéral)		0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Toiture (Ascendant)		0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
Plancher (Descendant)		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Déperditions à travers les ponts thermiques :

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique, D_{li} , pour une différence de température de $1^\circ C$, sont données par la formule :

$$D_{li} = k \cdot l \cdot L \quad [W^\circ C] \quad (II.20)$$

D_{li} : coefficient de transmission linéique de la liaison en $W/m \cdot ^\circ C$

L : longueur intérieure de la liaison en m

Les déperditions par ponts thermiques pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement, soit :

$$\sum(k \cdot l \cdot L) = 0.20 \sum(K \cdot A) \quad [W/m^\circ C] \quad (II.21)$$

Dans le cas d'un calcul pièce par pièce, les pertes calorifiques par transmission affectées à chaque volume doivent être majorées de 20%.

Déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol :

On distingue les planchers bas enterrés, les murs enterrés et les planchers hauts enterrés.

- Les déperditions D_{sol} pour un **plancher haut enterré** sont données par la formule :

$$D_{sol} = KxA \quad [W/°C] \quad (II.22)$$

K : le coefficient K du plancher haut enterré [$W/m^2.°C$] est donné par la formule :

$$\frac{1}{K} = 0.14 + R_p + \frac{e}{1.9} \quad [m^2.°C/W] \quad (II.23)$$

R_p est la résistance du plancher, résistances superficielles non comprises ; [$m^2°C/W$]

e est l'épaisseur de la couverture de sol

A : la surface intérieure du plancher [m^2]

- Les déperditions D_{sol} , pour **un plancher bas** ou un **mur enterré**, sont données par la formule :

$$D_{sol} = k_sxp \quad [W/°C] \quad (II.24)$$

k_s est le coefficient de transmission linéique du plancher bas ou du mur [$W/m.°C$]

p : longueur de la paroi

Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés :

Un local non chauffé est un local où le chauffage n'existe pas ou risque d'être interrompu pendant de longues périodes, ainsi que tout local chauffé par intermittence. Dans le cas du logement, les locaux non chauffés sont généralement les combles, les vides sanitaires, les caves, les greniers, les celliers, les garages et les circulations communes. Les déperditions D_{lnc} par transmission par degré d'écart à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont données par la formule suivante :

$$D_{lnc} = Tau[\sum(KxA)\sum(kixL)] \quad [W/°C] \quad (II.25)$$

où :

K : coefficient de transmission surfacique de chaque partie ;

A : surface intérieure de chaque partie surfacique ;

k_l : coefficient de transmission linéique de chaque liaison ;

L : longueur intérieure de chaque liaison ;

\mathbf{Tau} est le coefficient de réduction de température ; il est soit :

* calculé dans le cas général
$$\mathbf{Tau} = (t_i - t_n) / (t_i - t_e) = \frac{d_e}{d_e + a_c}$$

t_i : température intérieure, [°C]

t_n : température de l'espace non chauffé, [°C]

t_e : température extérieure, [°C]

a_c : les apports de chaleur des divers locaux chauffés vers le local non chauffé [W/°C]

d_e : les déperditions du local non chauffé vers l'extérieur [W/°C]

$$d_e = \sum[(Kx A) + \sum(klx L)] + d_r \quad (\text{II.26})$$

$\sum[(Kx A) + \sum(klx L)]$: déperditions par transmission vers l'extérieur, en considérant que les fenêtres des locaux non chauffés sont à vitrages nus sans protections.

d_r : déperditions par renouvellement d'air du local non chauffé. La méthode de détermination de d_r est donnée ci-après.

*Soit il est déterminé par une valeur fictive.

II.2.1.2. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte :

- Des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation ; on associe à ces déperditions le débit spécifique de ventilation ;
- Des déperditions supplémentaires par infiltrations dues à l'effet du vent et du tirage thermique (effet de cheminée).

Les déperditions par renouvellement d'air D_R d'un logement ont pour expression :

$$D_R = 0.34x q_{vi} \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (\text{II.27})$$

où :

0,34 (en Wh/m³. °C) est la chaleur volumique de l'air ;

q_{vi} débit volumique d'air dans l'espace chauffé (i) [m^3/s ou m^3/h]

b). Vérification et déperditions de référence

- **Vérification réglementaire**

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier :

$$D_T \leq 1.05 \times D_{ref} \quad [W/^\circ C] \quad (II.28)$$

Où :

D_T : déperditions par transmission du logement ;

D_{ref} : déperditions de référence

- **Calcul des déperditions de référence**

Les déperditions de référence D_{ref} sont calculées par la formule suivante :

$$D_{ref} = a.S_1 + b.S_2 + c.S_3 + d.S_4 + e.S_5 \quad [W/^\circ C] \quad (II.29)$$

Où :

Les S_i : les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. [m^2].

Elles concernent respectivement :

S_1 la toiture,

S_2 le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés,

S_3 les murs,

S_4 les portes,

S_5 les fenêtres et les portes-fenêtres.

S_1, S_2, S_3 sont comptées de l'intérieur des locaux, S_4 et S_5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur.

Les coefficients a, b, c, d et e, (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$), sont donnés dans le tableau II.2. Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

Tableau II.2: valeurs des coefficients a, b,c, d et e dans la formule des déperditions de références

Zone	Logement individuel					Logement collectif				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
A	1,1	2,40	1,4	3,5	4,5	1,1	2,4	1,2	3,5	4,5
B	1,1	2,40	1,2	3,5	4,5	0,9	2,4	1,2	3,5	4,5
B'	1,1	2,40	1,2	3,5	4,5	0,9	2,4	1,2	3,5	4,5
C	1,1	2,40	1,2	3,5	4,5	0,85	2,4	1,2	3,5	4,5
D	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5
D'	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5	2,4	3,4	1,4	3,5	4,5

II.2.2. Estimer les besoins en chauffage

La détermination de la puissance de chauffage à installer dans les locaux en fonction des pertes thermiques d'un bâtiment.

Les besoins en chauffage notés C sont calculés par :

$$C = \frac{G \times V \times DJU \times H}{PCI \times RG} \quad (II.30)$$

G [W/m³.°C] coefficient de déperditions volumiques avec : $G = \frac{DT + DR}{V}$ (II.31)

$$\Phi_i = G \times V \times \Delta\theta \quad (II.32)$$

V [m³] volume du local chauffé

DJU [°C] degrés jours unifiés

H [h] nombre d'heures de maintien à la température de consigne

PCI [Wh/m³pour le gaz ou Wh/litre pour le fioul] pouvoir calorifique inférieur du combustible

RG rendement global du système de chauffage

$\Delta\theta$ différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Chapitre III : Techniques de Production d'eau chaude domestique

Introduction

Le chauffe-eau est un système de production d'eau chaude sanitaire (ECS) dans les logements. Cet équipement représente le deuxième poste de consommation en énergie juste derrière le chauffage, d'où la nécessité de bien connaître les différents types de chauffe-eaux existants.

III.1. Définition d'un chauffe-eau

Les chauffe-eaux sont des installations de production d'eau chaude avec différents types d'énergie utilisés dans la production d'eau chaude, notamment, le gaz, l'électricité et le soleil. Le chauffe-eau doit être choisi selon la consommation régulière d'eau, les caractéristiques de la maison et le nombre des personnes.

III.2. Types d'appareils de chauffage de l'eau

Il peut être compliqué de savoir quel chauffe-eau choisir pour un logement, en fonction des besoins en ECS. Voici les différents types de chauffe-eaux :

- Le chauffe-eau **électrique** ;
- Le chauffe-eau **gaz** ;
- Le chauffe-eau **thermodynamique** ;
- Le chauffe-eau **solaire**.

a). Chauffe-eau électrique

Tout d'abord, vous devez savoir qu'il existe deux types de chauffe-eaux électriques : l'**instantané** ou à **accumulation**.

▪ Chauffe-eau électrique instantané

L'installation d'un chauffe-eau électrique instantané permet d'obtenir de l'eau chaude seulement à la demande, elle n'est donc pas stockée. Pour ce faire, une résistance va faire monter la température de l'eau lors de son passage dans l'équipement. Une alimentation électrique dédiée est d'ailleurs obligatoire puisque la puissance nécessaire pour chauffer l'eau directement est importante.

Ce type de chauffe-eau peut s'avérer idéal pour les petits logements où vivent une ou deux personnes avec de faibles besoins en eau chaude. Il n'est donc pas conseillé aux familles (3-4 personnes) puisqu'il n'est pas adapté à délivrer de l'ECS en très grandes quantités.



Figure III.1: Chauffe-eau électrique instantané

▪ **Chauffe-eau électrique à accumulation**

De son côté, le chauffe-eau à accumulation – appelé également « ballon » ou « cumulus » – dispose d'une cuve où l'eau est stockée et reste toujours chaude grâce à une résistance, pour alimenter le logement en ECS. Il équipe la majorité des grandes maisons.

Le cumulus permet notamment d'alimenter rapidement les besoins en eau chaude des habitations de grande taille, sans avoir à solliciter de façon importante le réseau électrique.

L'installation d'un chauffe-eau électrique à accumulation peut être encombrant vu son volume. D'autre part, un entretien régulier est nécessaire pour éviter un entartrage ou un percement de la cuve.



Figure III.2 : Chauffe-eau électrique à accumulation

b). Chauffe-eau à gaz :

Comme pour les chauffe-eaux électriques, il existe également deux types de chauffe-eaux gaz l'instantané mais aussi à accumulation.

▪ Chauffe-eau à gaz instantané

Comme son homologue fonctionnant à l'électricité, le chauffe-eau gaz instantané permet de profiter rapidement d'une ECS, en cas de besoin. Il s'agit d'une solution plutôt bon marché puisque le prix du gaz est inférieur à celui de l'électricité.

L'installation au gaz s'avère beaucoup plus complexe puisqu'il est obligatoirement raccordé au gaz naturel ou stocker dans une bouteille de butane/propane. Il faut également prévoir un conduit de fumée extérieur pour évacuer les gaz brûlés. Un entretien annuel est donc obligatoire pour ce type d'installation.



Figure III.3 : Chauffe-eau gaz instantané

▪ Chauffe-eau gaz à accumulation

Avec un chauffe-eau gaz à accumulation, il est certain d'obtenir rapidement une eau chaude en grande quantité, ce qui est très intéressant pour les logements de grande superficie. Ce type de chauffe-eau reste très encombrant et demande une installation au gaz spécifique.



Figure III.4 : Chauffe-eau gaz à accumulation

c). Chauffe-eau thermodynamique :

Le chauffe-eau thermodynamique combine une pompe à chaleur et un ballon d'eau chaude. L'énergie présente dans l'air est récupérée par la pompe pour chauffer l'eau contenue dans le ballon. Ce système fonctionne au-dessus de 5°C dans la pièce où il est installé. En-dessous de cette température, une résistance électrique prend alors le relais pour alimenter le ballon d'eau chaude.

Ce type de chauffe-eau permet de réduire de 3 à 4 fois la consommation d'énergie nécessaire pour obtenir de l'ECS, par rapport au chauffe-eau électrique.

En effet, l'inconvénient principal de ce type d'équipement réside dans son prix élevé, l'installation complexe et le bruit du compresseur.

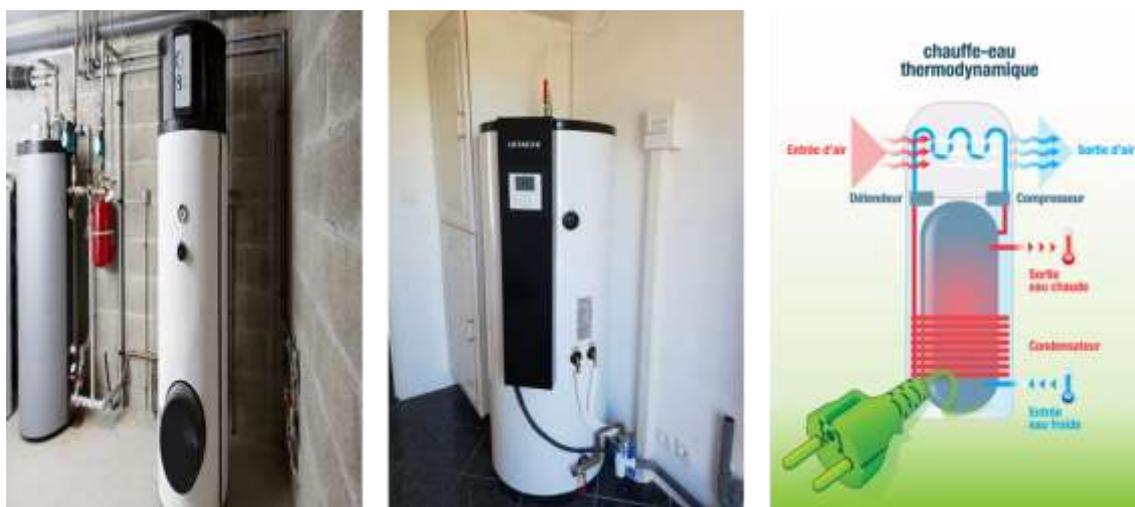


Figure III.5 : Chauffe-eau thermodynamique

III.3. Chauffe-eau solaire

a). Définition

Un chauffe-eau solaire est un système qui permet une production d'eau chaude par conversion de l'énergie solaire. Il est utilisé à des fins domestique (vaisselle, lessive, toilette...), pour des consommations réduites, ou pour des usages collectifs ou commerciaux tel que les hôpitaux, les hôtels ... et pour les consommations importantes.

b). Principe de fonctionnement d'un CES

Production solaire d'eau chaude sanitaire-principe de base :

- L'absorption du rayonnement solaire libère de la chaleur sur la surface de l'objet.
- Un piège énergétique de rayonnements. Ce piège constitue ce qu'on appelle «l'effet de serre».
- L'effet de serre n'est possible qu'avec les matériaux transparents laissant passer les rayonnements.
- L'absorbeur commence à perdre une partie importante de sa chaleur sous forme de rayonnements infra-rouge invisibles.

Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan

- Un captage et transformation du rayonnement incident en énergie thermique,
- Un stockage de cette énergie thermique,
- Un circuit hydraulique constitué par des conduites, des pompes, des vannes, etc..
- Un système de régulation et de contrôle qui permet d'optimiser le fonctionnement du CES.
- Un système d'énergie d'appoint utilisé

Fonctionnement élémentaire d'un CES

Dans les installations solaires thermiques, on distingue :

- Un circuit primaire formé par des capteurs et des conduites reliés directement au réservoir ou grâce à un échangeur de chaleur.
- Un circuit secondaire correspond à la partie de consommation de l'eau chaude sanitaire.

c). Composants principaux du CES

Un CES est essentiellement composé des éléments suivants :

1. Un capteur solaire thermique
2. Un réservoir de stockage
3. Un circuit primaire
4. Un échangeur de chaleur
5. D'accessoires (circulateur ou pompe, régulation)
6. Un système d'appoint

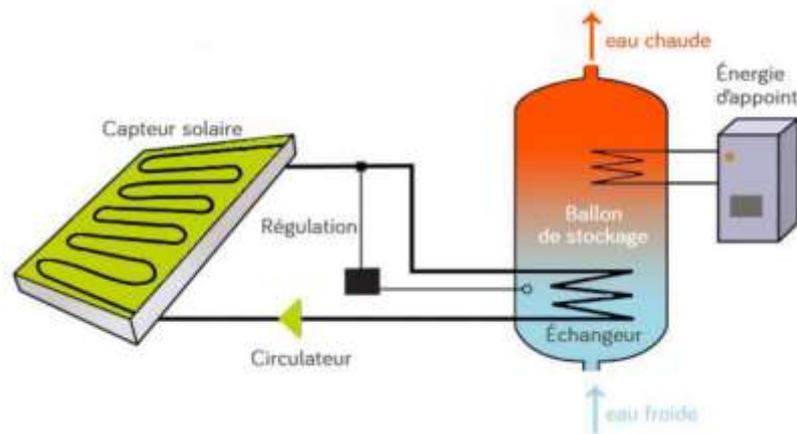


Figure III.6 : Composants d'un chauffe-eau solaire

d). Types des CES :

Il existe quatre grandes familles de chauffe-eau solaire :

- Les chauffe-eaux **monoblocs**.
- Les chauffe-eaux à **thermosiphon**.
- Les chauffe-eaux à **circulation forcée**.
- Les chauffe-eaux à **auto-vidange**.

✓ Les chauffe-eau monoblocs :

Ce sont les chauffe-eaux les plus simples : le ballon et le panneau solaire forme un seul ensemble compact. En général, le ballon est fixé en haut du panneau solaire.

L'inconvénient principal réside dans sa lourdeur et peut être difficile à installer sur une toiture légère.



Figure III.7 : Chauffe-eau monoblocs

✓ Le chauffe-eau à thermosiphon

Pour éviter les inconvénients du système monobloc, tout en conservant l'avantage d'un système simple, on peut séparer les panneaux du ballon d'eau chaude. Dans les chauffe-eaux à thermosiphon, le fluide de travail circule par convection libre. Le mouvement du fluide de travail est produit uniquement par des variations de la densité du fluide comme conséquence de variations de la température. Tant que les panneaux restent plus bas que le ballon de stockage, l'eau peut circuler naturellement par effet « thermosiphon ». Dans ce cas les échangeurs sont des tubes sous vide. L'inconvénient vient du fait que le liquide est l'eau sanitaire directe, qui est sensible au gel.



Figure III.8 : Chauffe-eau à thermosiphon

✓ Le chauffe-eau à circulation forcée

Dans ce type, une pompe assure le transfert du fluide entre les panneaux et l'échangeur (convection forcée). Le liquide qui circule dans les panneaux solaires est un fluide qui ne craint pas le gel (en général de l'eau glycolée). Ce liquide, est appelé fluide caloporteur (qui transporte la chaleur), est impropre à la consommation et ne doit pas être mélangé à l'eau chaude

sanitaire. La chaleur est récupérée dans le ballon à travers un échangeur. L'échangeur est un serpentin, à l'intérieur du ballon qui isole le fluide caloporteur de l'eau sanitaire. Dans ce système, la position du ballon par rapport aux panneaux n'a pas d'importance.



Figure III.9 : Chauffe-eau à circulation forcée

✓ **Le chauffe-eau auto-vidange**

C'est une autre alternative pour éviter le risque de gel. Elle consiste à vider les panneaux solaires en période de non utilisation. Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires. Dès que le soleil ne réchauffe plus, la circulation entre les panneaux et le ballon s'arrête et le circuit se vidange automatiquement. Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route. Dans ce cas, on utilise directement l'eau sanitaire dans le circuit.

Chapitre IV : Régulation de la consommation énergétique

Introduction

Pour optimiser les besoins en énergie des bâtiments, la Gestion Technique du Bâtiment (GTB) ou la Gestion Technique Centralisée (GTC) font partie des smart buildings. Ces deux systèmes ont déjà prouvé leur efficacité, alors qu'ils sont encore peu connus de tous.

VI.1. Gestions techniques

Le smart building pousse les bâtiments à devenir de plus en plus intelligents, cela nécessite des installations plus techniques qui sont devenus indispensables pour faciliter le smart building dans les bâtiments.

La réduction des consommations énergétiques des bâtiments dépend de la bonne gestion des fonctions techniques, de l'ensemble des équipements, de l'alimentation électrique, de la commande de l'éclairage, etc. En effet, la façon dont les bâtiments sont gérés influe directement sur la performance énergétique de ces derniers et le confort des occupants. Pour se faire, les smart buildings font appel à deux systèmes :

- Système de **GTB : Gestion Technique du Bâtiment**
- Système de **GTC : Gestion Technique Centralisée**

VI.1.1. Gestion technique des bâtiments (GTB)

La Gestion Technique des Bâtiments (GTB –ou BMS Building Management System) est le système de supervision de l'ensemble des systèmes d'informations provenant d'un même site. On peut le définir ainsi : ensemble de services assurés dans les bâtiments du tertiaire et de l'industrie par des systèmes réalisant plusieurs fonctions, pouvant être connectés entre eux et à des réseaux internes ou externes de communication. Elle peut ainsi commander les autorisations d'accès aux bâtiments, remonter les alarmes déclenchées en cas d'anomalies et permet de faire le suivi des consommations d'énergie et d'eau.



a). Objectifs principaux d'une GTB :

Les objectifs principaux de la GTB sont utilisés pour :

- Assurer la sécurité du bâtiment et de ses occupants (Surveiller 24h/24 7j/7) ;
- Gérer le fonctionnement des installations techniques ;
- Maîtriser les consommations d'énergie et d'eau ;
- Diminuer les coûts énergétiques
- Assurer le maintien de la température et du confort
- Garantir la fiabilité des installations avec un fonctionnement continu
- Minimiser les déplacements et permettre des interventions rapides à distance
- Optimiser la gestion énergétique du bâtiment

b). Principe de fonctionnement de la GTB

La GTB assure l'automatisation des bâtiments en pilotant l'ensemble ou une partie des équipements techniques. L'interface entre le système et l'utilisateur est assuré par un logiciel de supervision. Il permet généralement une gestion et un suivi à distance via une connexion internet.

Sur place, des automates pilotent les installations (via des actionneurs) en fonction des informations transmises par les capteurs et des instructions reçues du superviseur. Grace à la détection des anomalies (fonctionnement, consommation, panne, incendie, intrusion), un suivi en temps réel est assuré ce qui favorise des interventions rapides de maintenance et apporte une aide au diagnostic.

L'ensemble des compteurs de consommation (énergie et eau) sont reliés à la GTB et permettent d'effectuer facilement des relevés à distance. Ainsi, les calculs de la consommation annuelle et d'autres valeurs caractéristiques sont réalisables.

Toutes les informations proposées par la GTB (mesures, états, défauts, comptages, puissances) peuvent être analysées et servies à des actions d'amélioration des performances énergétiques.

c). Domaines d'application de la GTB



Figure IV.1. Domaines d'application de la GTB

✓ Dans **les chauffages**, une GTB intervient dans :

- **Gestion des chaudières** : pilotage, exploitation et suivi des performances
- **Contrôle des circuits** pour un fonctionnement optimal
- **Optimisation des durées de fonctionnement** afin d'ajuster la consommation d'énergie au plus juste
- **Régulation de la température** pièce par pièce en fonction de l'occupation des espaces.

✓ Pour **la climatisation**, une GTB intervient dans :

- La régulation de la climatisation avec l'installation de sondes de température intérieures et extérieures ;
- Gestion de production de froid ;
- Régulation des circuits de Centrales de Traitement d'Air (CTA) ;
- Régulation des circuits de ventilo-convecteur ;
- Régulation personnalisée des espaces d'un bâtiment en fonction de leur occupation.

✓ Dans **les équipements de sûreté**, une GTB intervient dans :

- La surveillance des équipements et l'alerte sur le superviseur lors d'un défaut de fonctionnement, le superviseur le plus proche peut recevoir les alertes retransmises par mail, par fax ou par SMS ;

- L'interconnexion des équipements et des dispositifs d'incendie.

Liste des alarmes possibles : intrusion pannes ascenseurs fuites d'eau incendie, anomalie de fonctionnement chauffage/climatisation, groupe électrogène, électricité.

✓ Dans **les compteurs**, une GTB intervient dans :

- Les compteurs de tout type (eau, calorifique, électrique) du bâtiment sont reliés à la GTB pour effectuer des relevés à distance ;
- Possibilité d'établir des historiques, l'analyse de surconsommation, fuite, etc... ;
- Le relevé des compteurs à distance permet de supprimer certains déplacements et donc de gagner du temps.

✓ Pour **l'électricité**, une GTB intervient dans :

- Le pilotage des éclairages, ou d'autres appareils électriques ;
- Le délestage de certains équipements électriques ;
- L'allumage ou la coupure des éclairages à certaines heures définies.

La GTB peut également intervenir dans les systèmes d'accès aux bâtiments ; dans la commande des prises ou stores selon des plages horaires ou autres. Elle peut aussi gérer la connexion avec un hyperviseur pour la gestion de plusieurs sites.

- Accès aux bâtiments ;
- Les accès au bâtiment sont également gérés par la GTB ;
- Gestion des accès par lecture de badge, reconnaissance vocale ou biométrie ;
- Permet de détecter l'intrusion d'une personne ;
- Synchronisation avec le chauffage : lorsqu'une personne est signalée dans son bureau ou sa chambre d'hôtel, le chauffage est automatiquement autorisé.

d). Types de bâtiments adaptés pour la GTB

- La GTB est adaptée à tous les types de bâtiments.



Figure IV.2. Types de bâtiments adaptés pour la GTB

e). Principaux composants de la GTB :

Un système de GTB est constitué :

- d'un poste informatique de gestion équipé d'un logiciel de Supervision (SCADA) ;
- d'un réseau reliant les « concentrateurs » au poste de gestion ;
- de plusieurs automates concentrateurs recueillant les informations des équipements au plus près du bâtiment.

Dans son architecture GTB, l'ensemble des fonctions de la régulation est reparti sur des composants comprenant :

- **Des capteurs** : pour l'acquisition d'une information destinée à un système de traitement des informations ;
- **Des actionneurs** : pour traduire en action un ordre de commande et des automatismes programmés ;
- **Un ordinateur central** ;
- **Un ou des interfaces** avec les superviseurs et les services de dépannage et de maintenance.



f). Principaux avantages de la GTB

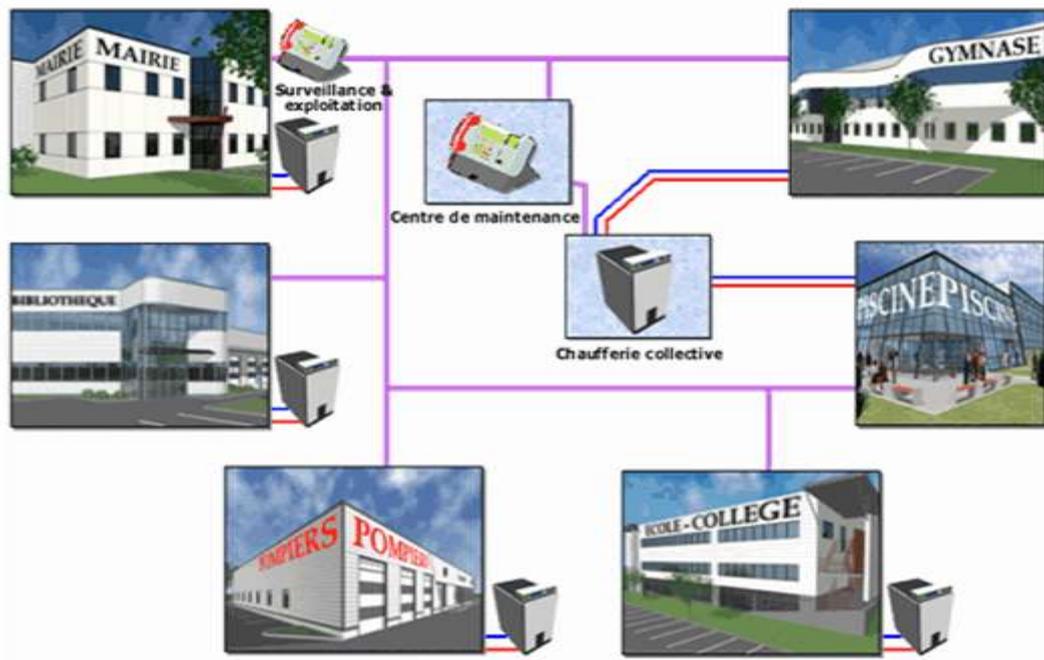


Figure IV.3. Avantages de la GTB

1. Réduction de la consommation d'énergie

La GTB permet de surveiller et d'optimiser la consommation d'énergie en temps réel, ce qui contribue à réduire les coûts énergétiques. Elle assure une **meilleure gestion des systèmes CVC (chauffage, ventilation et climatisation)**, de l'éclairage et des autres équipements énergivores en adaptant leur fonctionnement aux besoins réels.

- **Optimisation automatique** des réglages en fonction de l'occupation des espaces.
- **Suivi des consommations** : les gestionnaires peuvent repérer et corriger rapidement les gaspillages.
- **Analyse de données historiques** pour identifier les pics de consommation et les zones d'inefficacité.

2. Amélioration du confort des occupants

La GTB ajuste automatiquement les paramètres du bâtiment (température, éclairage, qualité de l'air) en fonction de l'occupation et des préférences des utilisateurs, contribuant ainsi à un **environnement intérieur confortable et agréable**.

- **Contrôle précis de la température** dans chaque zone.
- **Régulation de la qualité de l'air** : la ventilation est optimisée pour assurer un renouvellement d'air adéquat.

- **Éclairage intelligent** : réglage de l'intensité lumineuse en fonction de la lumière naturelle et de la présence des occupants.

3. Maintenance préventive et réduction des coûts d'entretien

La GTB aide à surveiller l'état des équipements en temps réel, permettant ainsi d'identifier les pannes potentielles avant qu'elles ne surviennent. Cela facilite une **maintenance préventive**, réduisant les coûts d'entretien et prolongeant la durée de vie des installations.

- **Alertes de dysfonctionnement** : notification en cas d'anomalies, permettant une intervention rapide.
- **Suivi des performances des équipements** : prévision des pannes et planification des interventions de maintenance.
- **Réduction des temps d'arrêt** et des coûts de réparation.

4. Centralisation et simplification de la gestion des installations

La GTB centralise le contrôle de tous les systèmes techniques du bâtiment sur une interface unique. Cela facilite la gestion des installations pour les équipes de maintenance et les gestionnaires de bâtiment.

- **Contrôle centralisé** de l'ensemble des systèmes (CVC, éclairage, sécurité, etc.).
- **Surveillance à distance** des installations via une interface en ligne, permettant une gestion même à distance.
- **Historique des données** : accès à toutes les informations relatives au fonctionnement et à l'efficacité des équipements.

5. Renforcement de la sécurité du bâtiment

La GTB intègre souvent des systèmes de sécurité, comme les alarmes incendie, la vidéosurveillance, le contrôle d'accès, permettant une surveillance et une gestion efficaces des risques.

- **Surveillance en temps réel** des systèmes de sécurité.
- **Contrôle d'accès** pour limiter l'accès aux zones restreintes.
- **Détection rapide** des anomalies et des incidents de sécurité.

En 1 mot : GAINS !

Par exemple : chauffage, éclairage, climatisation, etc.) provenant d'un même site utilisant un réseau de communication propriétaire (propre au constructeur).

La GTC est plus utilisée dans le secteur industriel pour gérer un processus choisi (air comprimé). Cette fonction est prise par un hyperviseur qui peut piloter plusieurs GTC.

✓ **Les avantages des systèmes de gestion :**

-Mieux maîtriser la performance énergétique du bâtiment : Lorsque les capteurs détectent la présence d'une personne, le système de température s'active ;

-Fiabiliser les équipements avec un fonctionnement sans discontinuité ;

-Une meilleure surveillance des équipements 24h/24 et 7j/7 grâce à des capteurs ;

-Un meilleur confort pour les exploitants et les occupants tout en améliorant l'environnement intérieur ;

-Réduire les déplacements et intervenir rapidement à distance. Cela permet également la réduction des coûts d'exploitation.

IV.2. Domotique

a) - Définition

La domotique est une appellation réservée aux maisons d'habitation individuelles. Elle traite les mêmes domaines que la GTB à une plus petite échelle. Elle regroupe des techniques d'automatisme, d'informatique, de télécommunication servant à travailler à domicile, à gérer les tâches domestiques, à contrôler l'espace de sécurité, et de communiquer dans l'espace interne et externe, etc.

Les appareils et systèmes les plus variés peuvent être raccordés à un système domotique par :

- Commande d'éclairage automatique en fonction du temps ;
- Régulation individuelle de la température ambiante associée à des servomoteurs pour les robinets des corps de chauffe, régulation du chauffage ;
- Distribution d'eau chaude sanitaire et production d'eau chaude sanitaire au moyen de capteurs solaires ;
- Aération et ventilation d'appartement ;

- Surveillance intérieure et extérieure de la maison, système d'alarme, avertisseurs optiques et acoustiques ;
- Consultation à distance, télé pilotage et avertissement des perturbations ;
- Appareils électroménagers tels que cuisinière, réfrigérateur, congélateur, lave-vaisselle, lave-linge, sèche-linge TV, PC ...
- Système électronique de fermeture.

b)- Enjeux de la domotique appliquée au chauffage

L'objectif final relatif à la gestion du chauffage dans le bâtiment par la domotique est celui d'arriver à une automatisation totale visant à satisfaire les besoins de chaque habitant en fonction de leur mode de vie et de leurs habitudes tout en cherchant une utilisation efficace de l'énergie et de l'eau.

Cela implique donc les points suivants :

- Offrir un confort thermique automatisé ;
- Optimiser les consommations énergétiques et réduire les dépenses.

IV.3. Télégestion

La **télégestion** désigne la gestion à distance des équipements et installations techniques, permettant le suivi, le contrôle et l'optimisation de leur fonctionnement via des systèmes de communication (internet, réseaux sans fil, etc.). Ce système permet de surveiller en temps réel les performances, d'effectuer des ajustements à distance, et d'intervenir rapidement en cas de dysfonctionnement, sans nécessiter de présence physique sur le site.

Elle est couramment utilisée dans la gestion technique des bâtiments, les réseaux d'eau, les systèmes d'éclairage public, les réseaux de chauffage urbain, et les installations industrielles. La télégestion permet ainsi d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire les coûts de maintenance, et de garantir un fonctionnement continu des installations.



Figure IV.5. Télégestion

La télégestion permet donc, le contrôle continu et automatisé du fonctionnement d'une installation en assurant les fonctions suivantes :

- Collecte, traitement et mesure des données
- Détection et enregistrement des événements et changements d'état
- Synthèse et affichage des informations
- Automatisation des actions locales ou à distance
- Contrôle et réglage à distance via télécommande

IV.4. Différence entre domotique & gestions techniques

La **domotique** est destinée à l'automatisation et à l'optimisation des systèmes dans les maisons individuelles.



Les systèmes de **GTC**, **GTB** et de **télégestion** sont employés pour la gestion de bâtiments individuels ou de groupes de bâtiments.



Chapitre V : Gestion de l'énergie et Audit Énergétique

V.1. Bases de l'audit énergétique



V.1.1. Définition

L'audit énergétique est un outil d'identification des possibilités d'optimisation des dépenses énergétiques. Il a pour finalité d'améliorer l'efficacité énergétique à partir de l'analyse de l'ensemble des flux énergétiques d'un système et permet de repérer les gisements d'économies d'énergie.

V.1.2. Objectifs d'un audit énergétique

- ✓ Établir le bilan énergétique d'une installation pour déterminer le degré de consommation et le profil de la demande.
- ✓ Vérifier la performance énergétique d'un investissement existant.
- ✓ Réaliser une identification préliminaire des possibilités d'économies d'énergie pour la poursuite des études et des investissements.
- ✓ Faire une étude détaillée pour démontrer la faisabilité et justifier l'investissement dans une ou plusieurs mesures d'efficacité énergétique.

V.1.3. Différents types de l'audit énergétique

a. Audit énergétique de premier niveau (Audit de base ou pré-audit)

Objectif :

L'audit énergétique de premier niveau a pour objectif de réaliser un premier diagnostic rapide de la consommation énergétique d'un bâtiment ou d'une installation. Il s'agit d'une analyse simplifiée qui permet d'identifier les principaux domaines de gaspillage d'énergie et de fournir un aperçu des possibles économies.

Caractéristiques :

- **Évaluation globale** de la consommation d'énergie.
- **Identification des sources évidentes** de gaspillage énergétique.
- **Évaluation préliminaire** de la performance énergétique sans entrer dans les détails techniques.
- **Analyse des factures d'énergie** pour comprendre la consommation globale.
- Recommandations générales pour une meilleure gestion énergétique, comme l'optimisation de l'éclairage, l'isolation thermique, et les contrôles des systèmes de chauffage.

Méthodologie :

- Recueillir les factures d'énergie et analyser les tendances de consommation.
- Examen visuel de l'installation pour identifier les zones de pertes d'énergie évidentes (fenêtres mal isolées, équipements vétustes, etc.).
- Comparaison de la consommation avec celle d'autres bâtiments similaires, dans la mesure du possible.
- Proposer des recommandations générales pour réduire la consommation (utilisation d'énergies renouvelables, amélioration de l'isolation, etc.).

Utilisation :

Ce type d'audit est souvent utilisé par les petites entreprises ou les bâtiments ayant un budget limité pour l'audit énergétique, ou comme première étape avant d'effectuer un audit plus détaillé.

b. Audit énergétique de deuxième niveau (Audit détaillé)

Objectif :

Un audit énergétique de deuxième niveau est plus approfondi que le premier et vise à fournir une analyse détaillée de la consommation d'énergie, avec des mesures précises et un examen approfondi des systèmes énergétiques.

Caractéristiques :

- **Évaluation détaillée** de la consommation d'énergie dans le bâtiment ou l'installation.
- Mesure des **dépensements thermiques** et de la performance des équipements (chauffage, ventilation, climatisation).
- Identification des **opportunités spécifiques** pour améliorer l'efficacité énergétique.
- Calcul des **économies d'énergie potentielles** et des coûts associés à chaque amélioration.

Méthodologie :

- Mesures directes sur site à l'aide de capteurs et d'analyseurs de consommation d'énergie.
- **Audits thermographiques** pour localiser les pertes de chaleur (caméras thermiques, tests d'infiltrométrie pour mesurer les fuites d'air).
- Analyse détaillée de la performance des systèmes énergétiques : chauffage, CVC, éclairage, appareils électriques, etc.
- Modélisation de la consommation énergétique et calcul des gains énergétiques potentiels.

- Élaboration d'un plan d'action avec des solutions adaptées, qui peut inclure des recommandations pour remplacer des équipements inefficaces, installer des systèmes de gestion de l'énergie, etc.

Utilisation :

Il est souvent effectué pour des bâtiments commerciaux, industriels ou des installations publiques de grande taille qui souhaitent réduire considérablement leurs coûts énergétiques et améliorer leur efficacité énergétique.

c. Audit énergétique de troisième niveau (Audit approfondi ou audit global)

Objectif :

L'audit énergétique de troisième niveau est le type d'audit le plus détaillé et le plus complet. Il fournit une analyse exhaustive de la consommation d'énergie d'un bâtiment ou d'une installation, intégrant des simulations et des modélisations avancées pour optimiser les solutions d'efficacité énergétique.

Caractéristiques :

- **Analyse complète et approfondie** de toutes les facettes de la consommation d'énergie dans le bâtiment ou l'installation.
- Simulation de différents scénarios énergétiques pour évaluer les économies possibles selon les différentes stratégies proposées.
- **Plan d'action détaillé** et personnalisé avec des recommandations pour chaque composant du système énergétique.
- Élaboration de solutions d'amélioration spécifiques et très ciblées, prenant en compte les besoins particuliers du site et les priorités du gestionnaire.

Méthodologie :

- **Modélisation énergétique** : Utilisation de logiciels avancés pour simuler la consommation énergétique sous différentes conditions (par exemple, logiciels de simulation thermique dynamique, modélisation de l'efficacité des équipements et de leur interaction).

- **Analyse détaillée de chaque système** : Chaque système énergétique (chauffage, refroidissement, ventilation, éclairage, etc.) est analysé en profondeur pour optimiser son rendement.
- Recommandations sur l'installation de technologies avancées comme les systèmes de gestion de l'énergie (SGE), les solutions de stockage d'énergie, ou l'intégration d'énergies renouvelables.
- Élaboration d'une stratégie à long terme de réduction des coûts et d'amélioration de l'efficacité énergétique, souvent accompagnée d'une analyse de rentabilité (calcul du retour sur investissement, estimation des économies potentielles).

Utilisation :

Il s'agit d'un audit destiné aux grands complexes industriels, aux bâtiments publics ou aux infrastructures critiques (hôpitaux, écoles, grandes surfaces commerciales), où une approche stratégique à long terme de l'efficacité énergétique est nécessaire.

d. Audit énergétique pour les systèmes industriels spécifiques

Objectif :

Ce type d'audit est spécifiquement conçu pour les industries et les installations de production. Il vise à analyser la consommation d'énergie des équipements industriels, des processus de fabrication et des systèmes associés.

Caractéristiques :

- **Focalisation sur les processus industriels** : Analyse détaillée des équipements énergivores dans les chaînes de production (machines, moteurs, compresseurs, chaudières, etc.).
- **Examen des systèmes de production de chaleur et de froid** dans l'industrie (chauffage, refroidissement, systèmes de réfrigération).
- **Propositions de solutions d'optimisation** des procédés industriels pour réduire les pertes d'énergie.

- **Étude des flux énergétiques** dans les processus de production, et identification des possibilités d'amélioration, comme la récupération de chaleur perdue, l'automatisation, l'utilisation de l'énergie résiduelle, etc.

Méthodologie :

- Mesure des flux de chaleur et d'énergie dans l'usine.
- Analyser la consommation d'énergie des machines et des équipements de production.
- Proposer des améliorations dans les procédés de production pour réduire la consommation d'énergie (échangeurs de chaleur, optimisation des moteurs, etc.).
- Développement de solutions pour la gestion de l'énergie à l'échelle industrielle (systèmes de gestion de l'énergie, optimisation des horaires de production).

Utilisation :

Ce type d'audit est réalisé dans des secteurs industriels spécifiques, tels que la métallurgie, l'industrie chimique, les usines de transformation alimentaire, ou d'autres industries énergivores.

e. Audit énergétique des bâtiments tertiaires

Objectif :

Cet audit est destiné aux bâtiments commerciaux et de bureaux. Il se concentre sur l'efficacité énergétique des installations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage et sur l'isolation des bâtiments.

Caractéristiques :

- **Evaluation des systèmes CVC** (chauffage, ventilation et climatisation) et des systèmes d'éclairage.
- **Mesure des performances thermiques** du bâtiment, identification des zones de pertes de chaleur.
- **Propositions pour réduire la consommation d'énergie** par la mise à niveau des équipements ou l'amélioration de l'isolation.

- Solutions adaptées aux bureaux et aux espaces commerciaux, tels que l'installation de contrôles d'éclairage automatiques ou de solutions de gestion de la température.

Méthodologie :

- Mesures sur place des consommations d'énergie des systèmes CVC, d'éclairage et d'autres équipements.
- Utilisation de la thermographie pour localiser les fuites d'air ou de chaleur.
- Recommandations pour des améliorations dans l'architecture du bâtiment (fenêtres à faible émissivité, isolation, etc.).
- Propositions d'améliorations pour l'éclairage, comme le passage à des éclairages LED ou des systèmes d'éclairage intelligent.

Utilisation :

Ce type d'audit est principalement destiné aux entreprises, bureaux et bâtiments commerciaux qui souhaitent réduire leur consommation énergétique, améliorer le confort de leurs occupants et réduire leurs coûts d'exploitation.

V.1.4. Procédure générale pour un audit énergétique détaillé

Un audit énergétique est généralement composé de plusieurs étapes clés :

Étape 1 : Collecte des données

Avant de commencer l'analyse, il est nécessaire de rassembler toutes les données relatives à la consommation d'énergie du bâtiment ou de l'entreprise. Cela inclut :

- Les factures d'énergie (électricité, gaz, fioul, etc.).
- Les historiques de consommation d'énergie sur une période donnée (souvent 12 mois ou plus).
- Les informations sur les équipements de consommation d'énergie (chauffage, ventilation, climatisation, etc.).
- Les données sur la structure du bâtiment (matériaux, isolation, orientation, etc.).

Étape 2 : Analyse des données

Une fois les données collectées, l'auditeur énergétique procède à une analyse des usages énergétiques du bâtiment. Il effectue un diagnostic pour identifier les zones de gaspillage énergétique et évalue les performances de chaque équipement.

- **Bilan énergétique** : Une analyse globale de la consommation énergétique du bâtiment, identifiant les principales sources de perte d'énergie.
- **Inspection visuelle** : Un contrôle sur site pour évaluer les systèmes de chauffage, d'éclairage, de climatisation et d'isolation.

Étape 3 : Identification des Opportunités d'Amélioration

Après avoir compris les flux énergétiques, l'auditeur recherche les opportunités de réduction de la consommation d'énergie. Cela peut inclure :

- **Amélioration de l'isolation thermique** des bâtiments.
- **Optimisation des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC).**
- **Utilisation d'énergies renouvelables** (panneaux solaires, géothermie, etc.).
- **Modernisation des équipements** (par exemple, remplacer les anciens moteurs par des modèles plus efficaces).
- **Réduction des pertes liées à l'éclairage** (installation d'éclairages LED et automatisation des systèmes d'éclairage).

Étape 4 : Proposition de Solutions et Calcul de Rentabilité

Sur la base des observations, des solutions concrètes sont proposées pour améliorer l'efficacité énergétique. Ces solutions sont généralement accompagnées d'une estimation des économies d'énergie et de la rentabilité des investissements nécessaires. L'auditeur peut aussi proposer des solutions pour :

- Suivi des consommations.
- Installation de systèmes de contrôle pour gérer les usages d'énergie (par exemple, des thermostats intelligents ou des compteurs d'énergie).

Étape 5 : Rapport d'Audit

À la fin de l'audit, un rapport détaillé est remis au propriétaire ou au gestionnaire. Ce rapport inclut :

- Un résumé des observations.
- Les recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique.
- Les estimations des économies d'énergie et des coûts associés.
- Des conseils sur les démarches à suivre (choix d'équipements, subventions disponibles, etc.).

V.2. Comptabilité et évaluation des mesures d'économie d'énergie

Dans un audit énergétique, il est essentiel non seulement d'identifier les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique, mais aussi d'évaluer l'impact économique des mesures proposées. Cela inclut la **comptabilité de l'énergie** (calculs de la consommation, des économies potentielles, etc.) et l'évaluation de la rentabilité des investissements nécessaires pour mettre en œuvre ces mesures d'économie d'énergie. Voici un aperçu détaillé de la comptabilité et de l'évaluation des mesures d'économie d'énergie dans un audit énergétique.

1. Comptabilité de l'énergie

La comptabilité de l'énergie dans un audit énergétique est la première étape de l'évaluation. Elle consiste à mesurer et à enregistrer la consommation d'énergie actuelle dans un bâtiment ou une installation. Ces données serviront de base pour évaluer les économies d'énergie potentielles et justifier les investissements nécessaires.

A. Collecte des données de consommation

Avant d'évaluer l'impact des mesures d'économie d'énergie, il est nécessaire de collecter et d'analyser toutes les données de consommation d'énergie, telles que :

- **Factures d'énergie** (électricité, gaz, fioul, eau chaude, etc.) des 12 derniers mois (ou plus selon la période souhaitée).
- **Historique des consommations** d'énergie par type de source (chauffage, éclairage, ventilation, production d'eau chaude sanitaire, etc.).
- **Systèmes de gestion de l'énergie** (si disponible), qui permettent de suivre en temps réel la consommation d'énergie dans le bâtiment ou l'installation.

- **Mesures physiques** sur site à l'aide de capteurs et d'appareils de mesure (analyseurs de puissance, compteurs d'énergie, thermomètres, etc.).

B. Identification des domaines de consommation énergétique

L'audit doit identifier les principaux **postes de consommation d'énergie** :

- Chauffage, climatisation et ventilation (systèmes CVC).
- Éclairage.
- Equipements électroniques et électriques (ordinateurs, machines industrielles, etc.).
- Systèmes de production d'eau chaude sanitaire.
- Equipements de production industrielle ou de transformation, le cas échéant.

C. Bilan énergétique

Une fois les données collectées, un **bilan énergétique** est réalisé pour évaluer la performance énergétique du site. Ce bilan peut être sous forme de :

- **Analyse des tendances de consommation** : comparer la consommation d'énergie aux moyennes historiques, aux données des bâtiments similaires, ou aux valeurs de référence.
- **Identification des pertes d'énergie** : localiser les zones où l'énergie est gaspillée, comme l'isolation insuffisante, les systèmes inefficaces, les équipements obsolètes, etc

2. Identification des mesures d'économie d'énergie

Une fois les pertes d'énergie identifiées, l'auditeur propose une série de mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique. Ces mesures peuvent varier en fonction du type de bâtiment ou d'installation, mais elles incluent généralement :

A. Amélioration de l'efficacité des équipements

- **Mise à jour des équipements** : Remplacer des équipements énergivores par des modèles plus efficaces (exemple : remplacer les anciennes chaudières par d'autres nouvelles à haute performance, ou des moteurs électriques inefficaces par des moteurs à haute efficacité énergétique).

- **Automatisation des systèmes** : Installer des systèmes de gestion de l'énergie, des thermostats intelligents pour réguler la température, des détecteurs de présence pour l'éclairage, etc.
- **Optimisation des systèmes CVC** : Améliorer l'isolation des canalisations, ajouter des récupérateurs de chaleur, installer des systèmes de ventilation plus efficaces.

B. Amélioration de l'isolation et de l'enveloppe du bâtiment

- **Isolation thermique des murs, toits et sols** : L'isolation des bâtiments permet de réduire la consommation de chauffage et de climatisation.
- **Remplacement des fenêtres** : Installer des fenêtres à double vitrage ou à faible émissivité pour réduire les pertes de chaleur.
- **Amélioration de l'étanchéité à l'air** : Utilisation de matériaux et de techniques pour minimiser les fuites d'air qui entraînent des pertes d'énergie.

C. Mise en place d'énergies renouvelables

- **Panneaux solaires** : Installer des panneaux photovoltaïques ou thermiques pour la production d'électricité ou de chaleur.
- **Pompes à chaleur** : Utiliser des pompes à chaleur géothermiques ou aérothermiques pour le chauffage ou le refroidissement.
- **Systèmes de production d'énergie renouvelable** : Comme l'éolien ou la biomasse dans certains contextes industriels ou commerciaux.

3. Évaluation des économies d'énergie

Une fois les mesures d'économie d'énergie identifiées, il est nécessaire d'évaluer les **économies d'énergie potentielles** qu'elles peuvent générer. Cette évaluation doit être basée sur des calculs précis et des estimations réalistes.

A. Calcul des économies d'énergie

Les économies d'énergie peuvent être évaluées en estimant la consommation d'énergie avant et après la mise en œuvre des mesures proposées. Les étapes suivantes peuvent être utilisées pour ces calculs :

- **Calcul de la consommation d'énergie après les améliorations** : Utiliser des coefficients de performance pour les nouveaux équipements (par exemple, rendement d'une nouvelle chaudière ou efficacité d'un éclairage LED) pour estimer la réduction de la consommation.
- **Analyse thermique** : Par exemple, pour l'isolation, calculer les économies d'énergie en fonction des améliorations apportées à l'enveloppe du bâtiment.
- **Estimation des économies de chauffage/climatisation** : Calculer les économies liées à la réduction des besoins de chauffage et de climatisation en raison de l'amélioration de l'isolation et de l'efficacité des systèmes CVC.

B. Outils de simulation énergétique

Il existe des outils et des logiciels permettant de **simuler** les économies d'énergie :

- **Logiciels de simulation thermique** (comme TRNSYS ou Design Builder) pour prédire les économies d'énergie liées aux améliorations de l'enveloppe du bâtiment.
- **Outils de simulation de consommation d'énergie** pour les systèmes CVC, qui permettent d'estimer l'impact des changements dans les paramètres des systèmes de chauffage et de ventilation.

C. Estimation des économies financières

Une fois les économies d'énergie calculées, l'impact financier est estimé à l'aide du prix de l'énergie. Cela permet de convertir les économies d'énergie en **économies financières** :

- **Calcul des économies annuelles** : En multipliant les économies d'énergie (en kWh) par le prix de l'énergie (en DA/kWh ou en €/kWh).
- **Prise en compte des coûts énergétiques** : Les économies doivent être comparées aux coûts énergétiques réels pour mesurer l'impact global.

4. Évaluation de la rentabilité des investissements

L'évaluation de la rentabilité des investissements nécessaires pour mettre en œuvre les mesures d'économie d'énergie est une étape clé de l'audit énergétique. Cette analyse permet de déterminer si les économies réalisées justifient les dépenses d'investissement.

V.3. Analyse de la facturation d'énergie

Contexte

La fourniture d'électricité et de gaz est un service public : elle doit être faite sur tout le territoire national, dans les meilleures conditions de sécurité, de prix et de respect des règles techniques et d'environnement.

V.3.1. S'abonner, se désabonner, obtenir un branchement

S'adresser à l'agence Sonelgaz (SDO, filiale de Sonelgaz) du lieu où effectuer le branchement. L'équipe de Sonelgaz mené sur les lieux , l'étude technique du raccordement et établit un devis : le coût du branchement est en fonction de la puissance ou du débit. Actuellement : Un branchement électrique se situe dans une fourchette de 1 000 DA TTC à 7 000 DA TTC ; Un branchement au gaz entre 15000 et 30000 DA TTC. C'est ensuite au client de faire les travaux d'installation à l'intérieur du logement ; en ce qui concerne le gaz, pour des raisons de sécurité, Sonelgaz exige un certificat de conformité délivré par l'installateur et procède aux essais.

Le compteur d'électricité ou de gaz est installé après paiement des travaux de branchement dès la mise en service du raccordement. Dans les immeubles récents, chaque logement possède son propre compteur. Un compteur collectif peut être installé en plus pour l'éclairage et le fonctionnement des parties communes (cage d'escaliers, minuterie, ascenseur, interphone ...) ; dans ce cas, il est géré par le représentant des copropriétaires, seul interlocuteur de Sonelgaz. Le compteur appartient à Sonelgaz qui doit l'entretenir et le changer en cas de défaillance. En revanche, en cas de détérioration ou vandalisme, les frais de remplacement sont à la charge de l'abonné.

Pour éviter les fraudes, le compteur est plombé.

V.3.2. Pourquoi et comment calculer votre consommation d'électricité ?

- Il permet de mieux prévoir le montant à réserver pour votre facture.
- Comparer deux appareils et déterminer leurs dimensions d'installation électrique.

Comment calculer la facture d'électricité en Algérie ?

Pour commencer, prenons deux appareils : le téléviseur et le climatiseur.

Estimer ensuite le temps d'utilisation des deux appareils. Une fois que toutes les informations recueillies, le calcul peut être effectué selon la formule suivante :

$$E (WH) = P (W) * T (H) \quad (V.I)$$

Pour une consommation annuelle, nous pouvons calculer le nombre d'heures d'utilisation tout au long de l'année, puis on le divise par 1000 pour obtenir des kWh.

Le kilowattheure est l'énergie nécessaire à faire tourner un appareil d'une puissance de 1000 Watts.

Exemple de calcul de la consommation annuelle d'électricité

Pour un téléviseur, dont la puissance est de 250 W et qui fonctionne en moyenne 3 heures par jour, 330 jours par an, la consommation est : $250 \times 3 \times 330 / 1000 = 247,50$ kWh.

Il appartient alors de rendre la consommation la plus raisonnable possible afin de réduire le montant à payer. Reste à savoir quel appareil consomme plus d'énergie.

La puissance de l'appareil est généralement affichée sur l'appareil lui-même ou sur sa notice.

V.3.3. Comment lire une facture d'électricité et gaz Sonelgaz ?

En lisant attentivement votre facture d'électricité, vous pouvez en savoir plus sur les éléments qui la composent :

- ***Date et n° de série de la facture*** : à ne pas confondre avec la date limite de paiement.
- ***Références et identité*** : Rappelez-les dans toute correspondance ou échange avec Sonelgaz pour une identification rapide et éviter des risques de confusion.
- ***Période facturée*** : la facture est celle du trimestre précédent.
- ***Tarifs*** : la consommation est calculée à partir du relevé du compteur.

Les tarifs sont fixés en fonction de la puissance pour l'électricité (PMD) ou du débit pour le gaz (DMD).

- ***Caractéristique de la puissance/ le débit souscrit***

Puissance mise à disposition (PMD) : Elle est choisie par le client en fonction de son besoin (4kW, 6kW, 12 kW, 20 kW, 40 kW, 60 kW, 80 kW). Pour les ménages, la puissance est limitée à 20 kW.

Débit mis à disposition (DMD) : il concerne la demande de branchement de gaz.

DMD : 5 m³/h, 16 m³/h, 25 m³/h, 40 m³/h, 16 m³/h dans le cas d'un réseau basse pression et 25 m³/h dans le cas d'un réseau moyenne pression type B.

- **Code tarifs** : Dans cette case on trouve deux codes :

On retrouve le premier code qui est **54 M**, ça concerne le code tarif d'**électricité** qui est identique pour les **clients ménage**.

Deuxième code qui est **23 M** pour le code tarif **gaz** et **client ménage**.

Cela veut dire que le propriétaire de cette facture utilise son énergie d'électricité et gaz pour une habitation et non-commercial.

- **N° compteur** : La première ligne est toujours pour l'électricité et la deuxième concerne le gaz.
- **Index ancien** : C'est l'index affiché par le compteur lors du précédent relevé du trimestre. La deuxième ligne est toujours pour le gaz.
- **Index nouveau** : Index affichés par le compteur le jour de la relève du trimestre de facturation de la nouvelle période.
- **Relevé du compteur** : La consommation facturée est égale à la différence entre le relevé précédent (index ancien) et le dernier relevé (index nouveau). Le relevé est établi par Sonelgaz qui laisse l'avis de passage. La facturation se fait au forfait en cas de non communication pas les relevés du compteur.
- **Coefficient** : Un coefficient est affecté à la consommation du trimestre, sa valeur pour l'électricité est de 1 et pour le gaz sa valeur est variable en fonction de l'altitude. Son utilité sert à calculer la valeur réelle de votre consommation d'énergie. C'est-à-dire qu'il faut multiplier la différence des index par ce coefficient pour avoir la consommation du gaz et de l'électricité. (kWh et TH).
- **Consommation/tranche**

La tarification progressive de l'électricité en Algérie :

Sonelgaz divise notre consommation en 4 tranches, pour les deux premières tranches elle est égale à 124 kWh pour la troisième tranche elle est égale à 750 kWh et la quatrième tranche est laissé pour ce qui reste, il faut que la distribution soit par ordre, c'est-à-dire qu'on ne peut pas passer à la deuxième tranche si les 125 kWh ne sont pas atteint et ainsi de suite.

Prix unitaire : il est différent pour chaque tranche :

Première tranche = 1,7787 DA

Deuxième tranche=4,1789 DA

Troisième tranche= 4,812 DA

Quatrième tranche= 5.4796DA

Donc le prix unitaire commence par 1,7787 DA et augmente au fur et à mesure que la consommation augmente, puisqu'elle passe à la deuxième tranche. Plus on consomme et plus on paye plus, c'est normal. Cette méthode est utilisée pour pousser le client à réduire sa consommation.

✓ **La tarification progressive du gaz en Algérie :**

Première tranche : 1125 TH

Deuxième tranche : 1375 TH

Troisième tranche : 5000 TH

La quatrième tranche est laissée pour ce qui reste

Le prix unitaire est de : 0.1682 DA pour la première tranche ;

0.3245 DA pour la deuxième tranche ;

0.4025 DA pour la troisième tranche ;

0.4599 DA pour la quatrième tranche.

- **Montant HT** : Multiplier le prix unitaire par la consommation de chaque tranche.
- **TVA (taxe sur la valeur ajoutée)** : Le taux de la TVA est pour la première et la deuxième tranche 9 %. Le taux de 19 % de TVA est applicable sur les tranches 3 et 4 pour les clients résidentiels et les tranches 2 et 3 pour les clients non-résidentiels.
- **Montant TTC** : On additionne le montant HT et la TVA pour avoir le montant en TTC.
- **Droits fixes** : – Vingt-cinq dinars (25 DA) lorsque la consommation de courant électrique facturée est supérieure à 70 kWh et inférieure ou égale à 190 kWh.

– Cinquante dinars (50 DA.) lorsque la consommation de courant électrique facturée est supérieure à 190 kWh et inférieure ou égale à 390 kWh.

– Cent dinars (100 DA.) lorsque la consommation de courant électrique facturée est supérieure à 390 kWh.

- **Taxe habitation** : 150 et 600 DA, respectivement pour les locaux à usage d'habitation et à usage professionnel situés dans toutes les communes.

- Le paiement de cet impôt sur le logement est inclus dans la facture de gaz et électricité : il est donc prélevé à la source et payé par trimestre.

La taxe d'habitation recouvre le prix des services des APC (ramassage des ordures, entretien des voiries, de l'assainissement, etc.).

- **Montant de la facture** : C'est le montant de la consommation gaz et électricité ; il est égal à l'ensemble des coûts + les taxes + la TVA.
- **Montant de consommation d'énergie moyenne par jour** : c'est le montant de la facture TTC divisé par 90 jours.

Prix du kWh en Algérie : Les prix du kWh d'électricité dans toutes les zones de distribution sont identiques, le prix du kWh varie selon deux conditions, du besoin du client fourni en simple, double ou triple tarif. Plus la consommation est élevée et plus le prix du kWh augmente.

- **Les périodes tarifaires en Algérie Périodes Horaires** :

Pour les heures creuses : 22h30-6h.

Heures pleines : 6h-17h et 21h-22h30.

Et les heures de pointes : 17h-21h.

- **Date limite de paiement** : Cette date est importante. En effet, si la facture n'est pas payée dans les délais prévus (15 jours), Sonelgaz a le droit de couper le gaz et électricité sans préavis. Une pénalité de 300 DA est demandée pour le rétablissement de l'alimentation. Cette pénalité correspond aux frais de coupure et de rétablissement.

En cas de fraude (trafic du compteur par exemple), Sonelgaz établit une facture de redressement. De façon générale, qu'il s'agisse d'une facture simple ou de redressement suite à une fraude, Sonelgaz saisira le tribunal en cas de non-paiement.

Exercices divers :

Exercice 01

Un double vitrage est constitué de deux plaques de verre séparées par une couche d'air sec immobile. L'épaisseur de chaque vitre est de 3.5 mm et celle de la couche d'air est de 12 mm. La conductivité thermique du verre est égale à $0.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et celle de l'air est de $0.024 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ sur le domaine de température étudié. Pour une chute de température de 5°C entre les deux faces extrêmes du double vitrage, calculer les pertes thermiques pour une vitre de 1 m^2 . Comparer ces pertes thermiques à celles qui seraient obtenues avec une seule vitre d'épaisseur égale à 3.5 mm.

Exercice 02

La densité du flux thermique à travers une paroi plane d'épaisseur 50mm est 70 W/m^2 . Calculer la différence de température aux surfaces de la paroi, si cette paroi est en:

1. Laiton ($\lambda=100 \text{ W/m.K}$),
2. Granit ($\lambda=2.5 \text{ W/m.K}$),
3. Bois ($\lambda=0.23 \text{ w/m.K}$).

Exercice 03

Calculer le flux traversant une vitre de 1 m^2 de surface et de 3.5 mm d'épaisseur. La température de la face interne de la vitre est égale à 10°C , celle de la face externe est égale à 5°C . En déduire la résistance thermique de la vitre.

Conductivité thermique du verre : $\lambda_v = 0.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

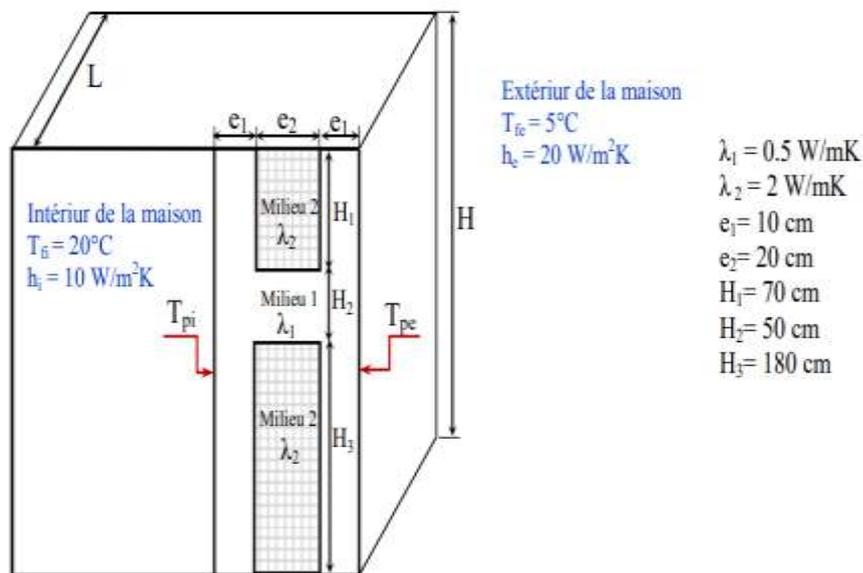
Pour les mêmes températures de paroi, calculer le flux traversant 1 m^2 de mur de briques de 26 cm d'épaisseur. En déduire la résistance thermique.

Conductivité thermique des briques : $\lambda_{\text{Briques}} = 0.52 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exercice 04

Le mur d'une maison, de largeur $L = 5 \text{ m}$ et de hauteur $H = 3 \text{ m}$, est constitué d'agglomérés creux. L'intérieur de la maison est maintenu à une température de 20 °C tandis qu'à l'extérieur la température est de 5 °C . Les coefficients de transfert convectifs sont : à l'intérieur $h_i = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ et à l'extérieur $h_e = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

- 1- Calculer les pertes de chaleur à travers le mur de cette maison.
- 2- Calculer les températures T_{pi} et T_{pe} des parois des murs interne et externe de la maison et les températures intérieures de la paroi T_1 et T_2 .



Exercice 05

Calculer le flux traversant une vitre de 1 m^2 de surface et de 3.5 mm d'épaisseur. La température de la face interne de la vitre est égale à 10°C , celle de la face externe est égale à 5°C . En déduire la résistance thermique de la vitre.

Conductivité thermique du verre : $\lambda_v = 0.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Pour les mêmes températures de paroi, calculer le flux traversant 1 m^2 de mur de briques de 26 cm d'épaisseur. En déduire la résistance thermique.

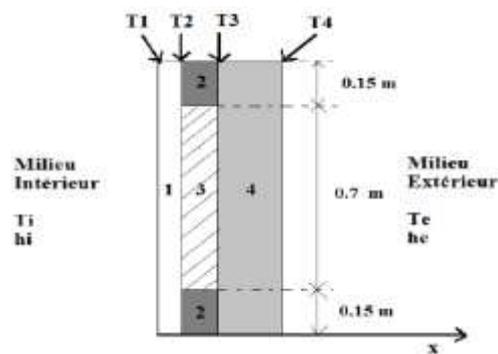
Conductivité thermique des briques : $\lambda_{Briques} = 0.52 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exercice 06

La figure ci-dessous représente la coupe transversale d'une paroi composite. Les températures intérieures et extérieures valent respectivement $T_i = 20^\circ\text{C}$ et $T_e = 5^\circ\text{C}$.

On note $h_i = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ et $h_e = 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ respectivement les coefficients d'échange par convection entre le milieu ambiant et la surface de la paroi intérieure et extérieure. Les caractéristiques des différents matériaux constituant la paroi sont les suivantes :

Indices	Conductivités thermiques en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Épaisseurs en cm
1	0.35	1
2	0.15	3
3	0.03	3
4	1.40	15



1. Calculer la résistance thermique totale R_T pour 1 m^2 de paroi.
2. Calculer le flux surfacique ϕ qui traverse la paroi.
3. Calculer les températures T_1 , T_2 , T_3 et T_4 .

Exercice 07

Un mur d'une pièce à 4m de long, 3m de haut et de 0,2 m d'épaisseur, est constitué de brique.

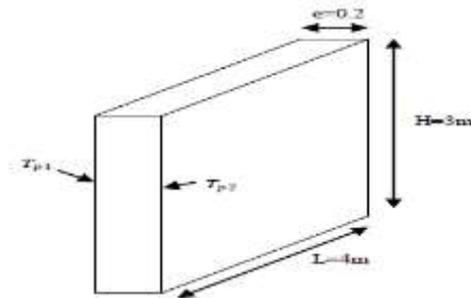
- Calculer le flux de chaleur à travers ce mur lorsque la température intérieure sur le mur est de $T_i = 20^\circ\text{C}$ et la température extérieure sur le mur est de $T_e = 0^\circ\text{C}$.

Pour diminuer les déperditions calorifiques à travers ce mur, on place contre lui une plaque de liège de 2 cm d'épaisseur.

- Calculer le nouveau flux de chaleur à travers ce mur : $\lambda_{\text{liège}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ Kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

Que devient le flux de chaleur si le mur est constitué de 2 parois en briques de 8cm d'épaisseur, chacune séparée par une couche d'air de 4 cm (on suppose que l'air reste immobile entre les deux parois).

$$\lambda_{\text{brique}} = 2.10^{-4} \text{ Kcal. m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}. \lambda_{\text{air}} = 6. 10^{-6} \text{ Kcal. m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}.$$



Exercice 08

Isolation thermique d'un mur simple

Le mur extérieur d'une maison est constitué de 100 mm de brique de coefficient de conduction thermique $\lambda = 0,7 \text{ W/m.K}$, et de 40 mm de plâtre de conductivité $\lambda = 0,48 \text{ W/m.K}$. Quelle doit être l'épaisseur de la laine de verre de conductivité $\lambda = 0,065 \text{ W/m.K}$ qu'il faut rajouter pour réduire les pertes thermiques de 80 % ?

Exercice 09

Un mur isolant en briques d'épaisseur e et de conductivité $\lambda_b = 0,04 \text{ W/m.K}$ est traversé par des tirants d'acier ($\lambda_a = 43 \text{ W/m.K}$), maintenant les différentes couches du mur et représentant 0,2 % de sa surface. On suppose que les faces extérieures sont respectivement aux températures T_1 et T_2 . Comparer les résistances thermiques et les flux thermiques du mur avec et sans tirants d'acier.

Exercice 10

Un studio de volume 45 m^3 est situé dans une petite habitation collective ; il est séparé de l'extérieur par une paroi de surface $7,5 \text{ m}^2$, constituée d'un mur et d'une baie vitrée.

La baie vitrée a un coefficient de transmission thermique de $4,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Le mur a une surface de $5,5 \text{ m}^2$ et il est formé de l'intérieur (à $T_i = 18^\circ\text{C}$ vers l'extérieur à $T_e = -5^\circ\text{C}$) des matériaux suivants :

- Un béton d'épaisseur $e_1 = 15$ cm à l'extérieur, conductivité thermique $\lambda_1 = 0,23$ W/ (m.K).
- Un espace $e_2 = 5$ cm rempli de polystyrène expansé, conductivité thermique $\lambda_2 = 0,035$ W/ (m.K).
- Des briques d'épaisseur $e_3 = 5$ cm à l'intérieur, conductivité thermique $\lambda_3 = 0,47$ W/ (m.K).

- 1) Calculer le coefficient de conductance global du mur K_m .
- 2) Calculer flux thermique Φ à travers cette façade.
- 3) Calculer la quantité de chaleur transmise par jour à travers un mètre carré de mur en (Kcal).
- 4) Calculer les températures des parois extérieure T_{pe} et intérieure T_{pi} et la température de l'isolant.

-Données : $1 / h_i = 0,11$ m².K/W $1 / h_e = 0,06$ m².K/W

Exercice 11 : Isolation d'un mur façade

Le mur extérieur d'une maison mesure 3 m de hauteur et 6 m de longueur est constitué de :

- Un mur en briques de 20 cm d'épaisseur, $\lambda_{br} = 0,67$ W.m⁻¹. K⁻¹, une couche d'enduit extérieur, (épaisseur = 1 cm ; conductivité $\lambda_{enduit} = 1,15$ W.m⁻¹.K⁻¹) et un enduit plâtre intérieur, (épaisseur = 1 cm ; conductivité $\lambda_{platre-int} = 0,5$ W.m⁻¹.K⁻¹).

-Une fenêtre de surface =1.5 m² en simple vitrage d'épaisseur de 5mm, $\lambda_{verre}=1,15$ W.m⁻¹.K⁻¹.

Données :

$R_{si}=0,13$ W⁻¹.m².K ; $R_{se}= 0,04$ W⁻¹.m².K.

- 1) Calculer la résistance thermique et le flux thermique, lorsque la température extérieure est de 2 °C, et celle de la maison étant maintenue à 20°C.
- 2) Pour diminuer les déperditions thermiques on fait poser sur le mur en briques 5 cm de polystyrène de conductivité thermique $\lambda_{pol}= 0,029$ W.m⁻¹. K⁻¹. Calculer le nouveau flux thermique.

3) Quel serait ce flux thermique, si le mur était constitué de deux parois en brique, de 8 cm d'épaisseur chacune, $\lambda_{br} = 0,67 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, séparées par une couche d'air de 4 cm ? La conductivité thermique de l'air est $\lambda_{air} = 0,025 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

4) Quelle est la température de la surface intérieure de ce mur après isolation ?

5) On considère que l'hiver dure 120 jours pendant lesquels la température extérieure $T_{ext} = 5^\circ\text{C}$. Déduire l'économie réalisée en hiver lorsqu'on rajoute la couche du polystyrène sur le mur, sachant que le prix du kilowattheure = 1,17 DA hors taxe et TVA = 18.60%

Exercice 12

Considérons une maison de briques chauffée électriquement ($k = 0.7 \text{ W/m.K}$) dont les murs ont une hauteur de 2,74 m et une épaisseur de 0,3048 m. Deux des murs de la maison ont 12 m de long et les autres ont 9m de long. La maison est maintenue à 21°C tout le temps tandis que la température de l'extérieur varie. Un certain jour, la température de la surface interne des murs est mesurée à 13°C tandis que la température moyenne de la surface extérieure est observée à 7°C pendant la journée pendant 10 h et à 2°C à nuit pendant 14 h.

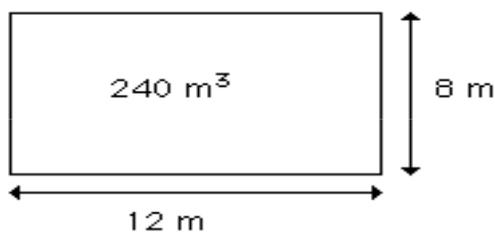
- 1) Déterminer la quantité de chaleur perdue par la maison ce jour-là.
- 2) Déterminer également le coût de cette perte de chaleur pour le propriétaire pour un prix de l'électricité de 4,17 DA / kWh.

Exercice : Bilan thermique d'une maison individuelle

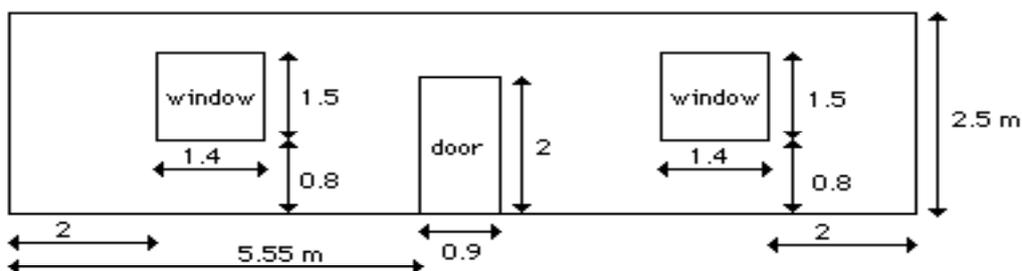
Il s'agit de calculer la consommation d'énergie primaire de la maison décrite ci-dessous.

Données, description du bâtiment

1. Plan

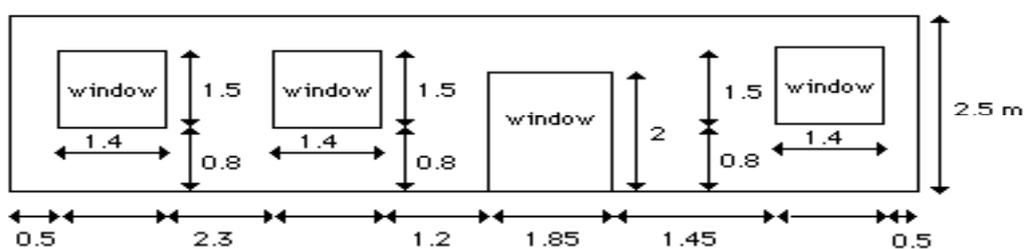


2. Façade est



Surface totale : 30 m²,

3. Façade ouest



Surface totale : 30 m²,

4. Façades nord et sud, plafond et sol (Pas de fenêtres ni de portes)

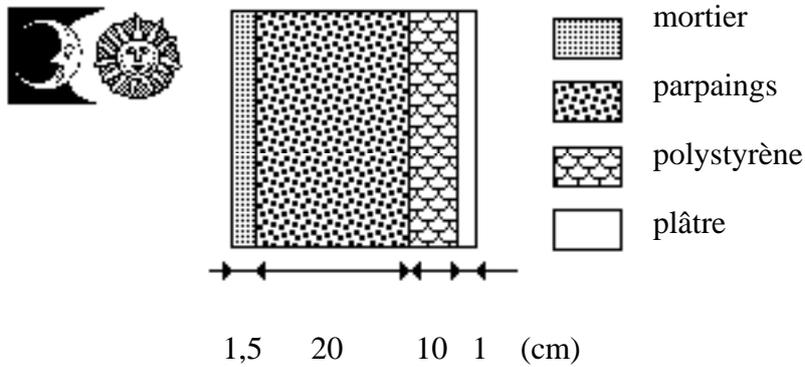
Surface des façades sud et nord : 20 m^2

Fenêtres : double vitrage, $k = 1,9 \text{ W/m}^2/\text{K}$,

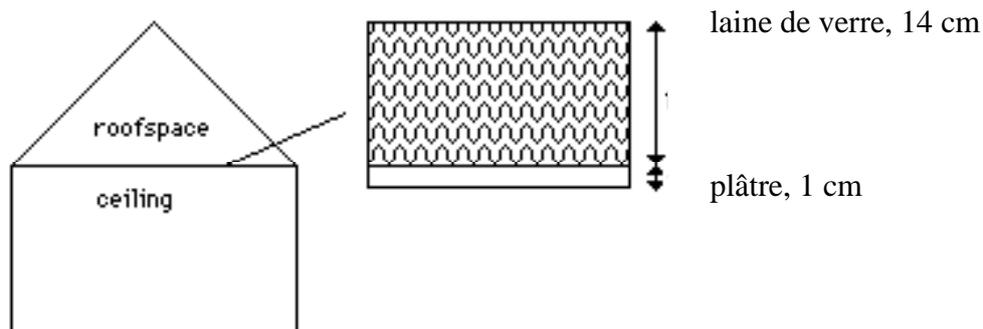
Portes: $k = 2.3 \text{ W/m}^2/\text{K}$

2. Construction

2.1 Murs extérieurs

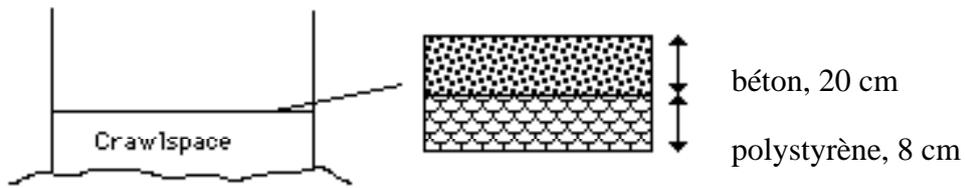


2.2 Plafond



Le coefficient de conductance global du plafond : $k = 0.56 \text{ W/m}^2/\text{K}$

2.3 Sol



Vide sanitaire fortement ventilé ($T = T_{ext}$)

2.4 Propriétés des matériaux

Matériau	λ (W/m/K)
Mortier	1.15
Béton	1.75
Parpaings	1.05
Polystyrène	0.039
Bois	0,14
Verre	1,05
Plâtre	0.35
laine de verre	0.041

3. Fonctionnement

3.1 Ventilation

Renouvellement d'air de 1 volume par heure constant

3.2 Chauffage

Température moyenne intérieure de 19°C, constante

La température extérieure de base est de 10°C.

- 1). Calculer le coefficient volumique de déperditions thermiques G . Déduire si la maison est bien isolée ou non.
- 2). Calculer le flux thermique ϕ .
- 3). Calculer le besoin en chauffage β pour le mois de Décembre et Février

Bibliographie

- [1] https://energyeducation.ca/Encyclopedie_Energie/index.php?title=Enveloppe_du_batiment
- [2] <http://conseils.xpair.com>
- [3] Thermique du bâtiment ; cours MOUFFOK Mostefa, Université de Djelfa.
- [4] Chauffage et climatisation ; cours Dr Bounoua et cours NAIFAZ.
- [5] Vitrierie Stéphanoise. Introduction à la thermique du bâtiment. Disponible sur : <https://www.vitrierie-stephanoise.fr>.
- [6] Cours en ligne, Université de Jijel. Chauffage et climatisation : concepts et dimensionnement. Disponible sur : <https://elearning.univ-jijel.dz>.
- [7] Xpair. Climatisation et chauffage par zonification. Disponible sur : <https://media.xpair.com>.
- [8] Sylvain Serra. Thermique du bâtiment (I). Disponible sur : <https://www.sylvain-serra.fr>.