الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج - البويرة

Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département de génie mécanique

Projet de fin d'étude
En vue d'obtention de diplôme Master en :
Génie Mécanique
Option : Energitique

Thème

Etude énergitique de chauffage d'une maison à Bouira

Réaliser Par :

- Merzouk Messaoud
- Mouloudj Abdelghani

Devent le jury composé de :

Président : M^{r} : M.Merzouk	Université de Bouira
Raporteur : M^{r} : S.Aberkane	Université de Bouira
Examinateurs : M^{r} : R.Lekhal	Université de Bouira
M^{r} : A.Laouari	Université de Bouira

Année universitaire 2017/2018

Remerciements

Toute gratitude, tout d'abord à ALLAH qui nous a donné le courage de terminer ce projet.

Nous tenons à remercier notre encadreur S.Abarkane pour sa disponibilité et ses orientations fructueuse.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants de génie mécanique pour leurs efforts dans le but de nous instruire.

En fin nous remercions tous les amis et les camarades pour leurs soutiens.

« On ne subit pas l'avenir mais on le fait »

Merzouk Messaoud - Mouloudj Abdelghani.

Dédicace

A MES PARENTS QUI M'ONT AIDÉS ET SOUTENUS

TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES

A MA GRAND-MÈRE QUE DIEU PROLONGE SA VIE

A MES SŒURS

A MES AMIS

ET À TOUS LES GENS QUI ME CONNAISSENT.

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

MERZOUK MESSAOUD

Dédicace

A MES PARENTS QUI M'ONT AIDÉ ET SOUTENU

TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES

A MA GRAND-MÈRE QUE DIEU PROLONGE SA VIE

A MES FRÈRES

A MES SŒURS

A MES AMIS

ET À TOUS LES GENS QUI ME CONNAISSENT.

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

MOULOUDJ ABDELGHANI

Sommaire

I.1 Introduction 3
I.1 Définitions 3
I.1.1 Efficacité énergétique 3
I.1.2 Bâtiment à Basse Consommation 3
I.1.3 Bâtiments passives 4
I.1.4 Bâtiments à Zéro énergie 4
I.1.5 Bâtiments à énergie positive 4
I.1.6 Bâtiments bioclimatiques 4
I.1.7 Construction durable 5
I.1.8 Maison écologique 5
I.2 Les solutions d'efficacité énergétique passives 5
I.2.1 Compacité du bâtiment 5
I.2.2 L'orientation 6
I.2.3 Répartition des pièces 7
I.2.4 Solaire passif 8
I.2.5 Surfaces vitrées 8
I.2.6 Protection solaire 10
I.2.7 Isolation 11
I.2.8 Étanchéité à l'air 13
I.2.9 Ventilation 13
I.3 Comportement des consommateurs 14
I.3.1 La performance des équipements 14
I.3.2 Système de chauffage 14
I.3.3 Faire sécher le linge à l'air libre 14
I.3.4 L'éclairage 14
I.4 Les solutions d'efficacité énergétique actives 15
I.4.1 Les différentes mesures 15
A. La mesure des consommations 15
I.4.2 Systèmes de régulation et d'automatisme 16
I.4.3 Gestion de la protection solaire 16
I.4.4 Energies solaires thermiques 17
I.5 Les coordonnées solaires par rapport à la terre 17
I.5.1 Les coordonnées géographiques terrestres 17

I.5.2 Le gisement solaire en Algérie 19
I.6 Conclusion 20
Chapitre II
II.1 Introduction 21
II.2 Présentation de l'habitation 21
II.3 Déperditions de la maison 22
II.3.1 Déperdition par transmission 23
II.5 Conclusion 32
Chapitre III
Introduction.……..33
III.2 Estimation des besoins de chauffage 33
III.2.1 Les apports internes 33
III.2.1.1 Stratégie d'occupations 33
III.2.1.2 Appareils électroménagers 33
III.2.2 Calcul du coefficient de déperdition thermique Gv [W/C°] 34
III.2.3 Calcul du coefficient de déperdition thermique Bv [W/C°] 34
III.3.3 Méthode des degrés de jours 35
Chapitre IV
IV.1 Introduction 37
IV.2 Les donnée Métronome 37
IV.2.1 Les températures ambiantes moyennes mensuelles à Bouira 37
IV.3 Calcul des besoins de chauffage 38
IV.3.1 Calcul du coefficient de déperditions thermique Gv 38
IV.3.2 Calcul des apports internes 40
IV.3.3 Calcul des degrés de jours 41
IV.3.4 Calcul des besoins de chauffage 42
Conclusion générale.....……..……47

Liste des figures

Figure I.1 : course du soleil l'hiver *6*
Figure I.2 : course du soleil l'été *6*
Figure I.3 : Ombrage végétal selon l'orientation *11*
Figure I.4: les coordonnées terrestres d'un milieu donné *17*
Figure I.5: la hauteur de l'Azimut du soleil *18*
Figure I 6. Intensité de rayonnement solaire en KWh/m2.an *19*
Figure IV. 1:Température mensuelle à Bouira *37*
Figure IV 2: Déperditions de la maison en % *40*
Figure IV 3: Nombre des degrés de jours (ndj) à Bouira *42*
Figure IV 4: Les besoins mensuels en chauffage à Bouira *43*
Figure IV 5: Nombre des degrés de jours des deux températures de confort20 C° et 23C° *44*
Figure IV 6: Besoin de chauffage pour les deux températures de confort 20C° et 23C° *45*
Figure IV 7: Besoin de chauffage avec et sans les apports internes *46*

Liste des tableaux

Tableau I.1: ensoleillement reçu en Algérie pat régions coutières *20*
Tableau II. 1 : les valeurs de débit extrait minimal de référence *29*
Tableau II 2: les valeurs de débit extrait maximal de référence *30*
Tableau II. 3: Les coefficients de déperditions de référence *31*
Tableau III.1 : les puissances dégagées par les appareils électroménagers……..*33*

Tableau IV. 1: Les températures ambiantes moyennes mensuelles à Bouira *37*
Tableau IV 2: résultats coefficients de transmission surfacique *38*
Tableau IV 3: Déperditions de la maison en % *39*
Tableau IV 4: Nombre des degrés de jours *41*
Tableau IV 5: les valeurs des besoins de chauffage à Bouira *42*
Tableau IV 6: Nombre des degrés de jours pour les températures de confort 20 C° et 23C° *43*
Tableau IV 7: Besoin de chauffage pour les deux températures de confort 20C° et 23C° *44*
Tableau IV 8: Besoin de chauffage avec et sans les apports internes *45*

Nomenclature générale

Symbole	Désignation	Unité
D_i	Les déperditions totales D_i	[W/°C]
D_T	déperditions par transmission	[W/°C]
D_R	déperditions par renouvellement d'air	[W/°C]
D_s	déperditions surfaciques à travers les parties	[W/°C]
D_{li}	déperditions à travers les liaisons	[W/°C]
D_{sol}	déperditions à travers les parois en contact avec le sol	[W/°C]
D_{lnc}	les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.	[W/°C]
D_m	Déperdition par le mur extérieur	[W/°C]
D_{po}	Déperditions par les portes	[W/°C]
D_f :	Déperditions par les fenêtres	[W/°C]
D_{ph} :	Déperditions par le plancher	[W/°C]
D_{pb} :	Déperditions par le toit	[W/°C]
$D_{réf}$	déperditions de référence	[W/°C]
R_{th}	les résistances thermiques	[m^2.C°/W]
λ	Conductivité thermique	[W/m.C°]
K_m	Coefficient de transmission surfacique de mur	[W/m².C°]
K_{po}	Coefficient de transmission surfacique de porte	[W/m².C°]
K_f	Coefficients de transmission surfacique des fenêtres	[W/m².C°]
K_{ph}	Coefficient de transmission surfacique de plancher haut	[W/m².C°]

K_{pb}	Coefficient de transmission surfacique de plancher bas	[W/m².C°]
S_m	La surface de mur extérieur	[m^2]
S_{po}	La surface de la porte	[m^2]
S_f	La surface de la fenêtre	[m^2]
S_{ph}	Surface du toit	[m^2]
S_{pb}	Surface du plancher bas	[m^2]
h_v	désigne le volume habitable	[m^3]
$Q_{vréf}$	Déperditions par référence	[m^3/h]
Q_{Vmax}	débit extrait maximal de référence	[m^3/h]
Q_{Vmin}	débit extrait minimal de référence	[m^3/h]
A,b,c,d,e	Coefficient de déperdition de référence	[W/m². C°]
Q_{th}	flux de déperdition thermique	[W]
GV	Coefficient de déperdition thermique	[W/C°]
Q_i	Les apports internes de la maison	[W]
Q_c	l'énergie à fournir pour le chauffage	[W]
BV	Le coefficient des besoins thermiques	[W/C°]
T_i	La température intérieure de base	[C°]
T_a	La température extérieure de base	[C°]
T_{sc}	La température sans chauffage	[C°]
ndj	degrés de jours	[C°]

RÉSUMÉ

Le bâtiment à haute efficacité énergétique est la seule solution afin de diminuer les dépenses énergétiques et les émissions des gaz à effet de serre.

Ce travail consiste à étudier le comportement énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction.

Une bonne isolation de l'enveloppe ainsi que le double vitrage sont appliqués sur l'habitat étudié.

La méthode des degrés jours sera utilisée pour l'analyse de la demande énergétique en chauffage. Les apports internes sont très influents sur la consommation énergétique, leur impact est analysé dans ce mémoire.

ABSTRACT

The energy-efficient building is the only way to reduce energy expenditure and greenhouse gas emissions.

This work consists of studying the energy behavior of a house built with local materials and according to Algerian construction standards.

A good insulation of the envelope as well as the double-glazing are applied on the studied habitat.

The degree-day method will be used to analyze the energy demand for heating. The internal contributions are very influential on the energy consumption; their impact will be analyzed in this memory.

ملخص:

يعد بناء كفاءة الطاقة هو الطريقة الوحيدة لتقليل نفقات الطاقة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

يتكون هذا العمل من دراسة السلوك الحراري والطاقة لمنزل مبني بمواد محلية ووفقًا لمعايير البناء الجزائرية.

يتم تطبيق العزل الجيد للمظروف وكذلك الزجاج المزدوج على المنزل المدروس.

سيتم استخدام طريقة درجة اليوم لتحليل الطلب على الطاقة للتدفئة. المساهمات الداخلية مؤثرة للغاية على استهلاك الطاقة، وسيتم تحليل تأثيرها في هذه الذاكرة.

Introduction générale

L’efficacité énergétique est rapidement devenue l’un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments sont les composantes majeures. Ils consomment plus d’énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique.

Le secteur du bâtiment représente de 30 à 40 % de la consommation totale d’énergie et une forte part des impacts environnementaux. De ce fait, il présente un fort potentiel d’amélioration à la fois sur les plans énergétiques et environnementaux. La consommation énergétique des bâtiments du secteur tertiaire est difficile à estimer du fait de l'importance des apports internes et solaires, de la complexité de la régulation du système de chauffage et de son intermittence.

La consommation d'énergie peut être considérablement réduite par l'adoption des stratégies d'efficacité d'énergie dans le bâtiment et cela en proposant des composants de l’enveloppe plus efficaces des améliorations respectives d'une énergie du point de vue de l'efficacité. Différents types de murs énergétiques efficaces, tels que les murs trombe(mures multi couches et plein exposé au nord), façades orientées, et des fenêtres et portes fenêtres vitrées sont envisageables, et dans ce domaine les solutions énergétiques sont divisées en trois catégories essentielles :

- Les solutions passives qui englobe : l’enveloppe et l’orientation du bâtiment, le solaire passif, la ventilation naturelle…etc.
- Les solutions actives tel que: la régulation, les énergies renouvelables et la ventilation assisté.
- Le comportement des usagers.

L’objectif des solutions énergétiques est de réduire la consommation énergétique et pour cela on a effectué une étude énergétique pour estimer le besoin en chauffage d’une maison type construite selon la réglementation algérienne de la thermique située à la ville de Bouira, la méthode des degrés jours est utilisée pour calculer les besoins de chauffages mensuels en tenant compte des comportements des occupants et les apports internes gratuits.

Dans ce document, nous avons structuré notre travail en quatre chapitres,

Le premier chapitre est consacré à l’efficacité énergétique qui comprend les solutions énergétiques qui nous permet de réduire la consommation énergétique.

Le deuxième chapitre présente la description de la maison et les calculs des déperditions thermiques.

Le chapitre trois expose la méthode des degrés de jours qui nous permet d'estimer le besoin de chauffage de la maison étudiée.

Dans le dernier chapitre on a présenté et interprété les résultats obtenus avec notre programme écrit en MATLAB.

Et enfin on conclue notre étude avec une conclusion et d'éventuelles perspectives dans le même thème.

I.1 Introduction

Dans ce chapitre on parle sur les définitions nécessaires à la maitrise du concept « d'efficacité énergétique » et d'observer de façon synthétique les solutions et les techniques mises en œuvre jusqu'à présent, ces solutions peuvent se diviser en trois entités :

- Les solutions passives qui englobe : l'enveloppe et l'orientation du bâtiment, le solaire passif, la ventilation naturelle…etc.
- Les solutions actives tel que: la régulation, les énergies renouvelables et la ventilation assistée.
- Le comportement des occupants.

I.1 Définition

I.1.1 Efficacité énergétique

Il existe plusieurs définitions de l'efficacité énergétique, nous ont 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) [01]

L'efficacité énergétique c'est réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, mieux utilisé l'énergie à qualité de vie constante. [02]

L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu. La notion d'efficacité énergétique est à distinguer de celle de l'intensité énergétique, qui représente la quantité d'énergie consommée pour produire une quantité de PIB (produit intérieur brut). Elle ne se confond pas non plus avec celle de sobriété énergétique (vise à réduire la consommation d'énergie on proposant des changements dans le mode de vie). Cette dernière est consensuelle si elle vise à éviter les gaspillages. [03]

De ces trois définitions se dégage un point commun, l'efficacité énergétique vise à réduire le rapport entre l'énergie utile et la consommation énergétique. On rajoutera le fait que la performance énergétique et aussi à distinguer de la notion d'efficacité énergétique.

I.1.2 Bâtiment à Basse Consommation

Le Bâtiment a basse consommation est un concept qui a été élaboré et mis en place sous forme de label par une association française, l'utilisation de la notion de Bâtiment à Basse Consommation est restrictive et n'est peut être employée que dans le cas où un bâtiment a obtenu le label français BBC. Il se définit comme suit :

C'est un bâtiment qui consomme, pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, les auxiliaires et la climatisation. [01]

Le label BBC peut être obtenu grâce à des combinaisons bâti/équipements qui permettent d'atteindre les seuils de performances indiqués. [04]

On ajoutera que ce label a disparu au profit de la réglementation thermique 2012 qui l'inclut, ainsi toute les constructions résidentielles neuves doivent être des bâtiments à basse consommation, par ailleurs les rénovations thermique sont aussi contrainte de ne pas dépasser le seuil de 80 $kWh_{ep}/m^2.an$.

I.1.3 Bâtiments passives

Le terme PassivHaus est un Label qui a été développé par l'institut de recherche Allemand PassivHaus, - est dont le label BBC s'est inspiré - dont les besoins de chauffage (en énergie utile) sont de l'ordre de 15 $kWh/m^2.an$ et la consommation en énergie primaire est inférieure à 120 $kWh/m^2.an$ pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité. Ce terme peut être employé pour : un bâtiment qui est quasiment autonome pour ses besoins en chauffage. Il utilise les apports gratuits (solaires, d'équipements) et présente une bonne isolation, le chauffage devenant un simple appoint. La référence allemande est appelée Passivas. [01]

I.1.4 Bâtiments à Zéro énergie

C'est une notion qui est apparu suite à la construction d'une maison sans consommation de chauffage, sa consommation peut être assurée par une installation solaire, ce qui ramène sa consommation à zéro.

I.1.5 Bâtiments à énergie positive

La définition d'une construction à énergie positive est la suivante:

Un ouvrage "passif" ou à très bas niveau de consommation d'énergie qui serait doté d'équipements de production d'énergie qui lui confèrent un bilan énergétique positif. En clair, ce type de construction produit plus d'énergie qu'il n'en consomme. [05]

C'est la maison dont le bilan énergétique est positif, elle produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme (via des capteurs photovoltaïques, chauffage à énergie renouvelable…).

Ce type d'habitation demande un investissement initial très important. [06]

I.1.6 Bâtiments bioclimatiques

La conception bioclimatique d'un bâtiment vise à optimiser l'utilisation des apports solaires et de la circulation naturelle de l'air, limitant ainsi le recours au chauffage et à la climatisation. Elle valorise les avantages du terrain (orientation du bâtiment), l'orientation des pièces, les surfaces vitrées, L'inertie du bâtiment... [01]

I.1.7 Construction durable

L'écoconception vise à produire des biens de consommation ou matériaux conçus.

Alors que, l'écoconstruction est utilisée pour toute construction qui, tout en assurant confort et santé des occupants, limite au mieux les impacts sur l'environnement, en cherchant à s'intégrer le plus respectueusement possible dans un milieu et en utilisant le plus possible les ressources naturelles et locales. [01]

I.1.8 Maison écologique

Les bâtiments écologiques diffèrent des bâtiments conventionnels en raison de l'intégration d'objectifs sociaux et économiques. [07]

I.1.8.1 Maisons solaires

Précurseurs des maisons bioclimatiques, elles n'utilisent que le soleil direct comme solution d'économie d'énergie. [06]

I.2 Les solutions d'efficacité énergétique passives

Ils existent trois catégories, ainsi la première catégorie dite passive regroupe toutes les solutions qui n'exigent pas une consommation énergétique pour leurs fonctionnements (conception, ventilation naturelle, solaire passif, vitrage, isolation) à l'inverse de la catégorie active où une source d'énergie est requise, la troisième catégorie celle du comportement humain concerne le choix et l'utilisation raisonnée des usages énergétiques dans le bâtiment.

I.2.1 Compacité du bâtiment

Le choix de la compacité du bâtiment est une source très importante d'économie aussi bien en énergie qu'en investissement. Les pertes de chaleur sont en fonction de la surface des parois en contact avec l'extérieur et avec le sol : pour un même volume et une même surface, une habitation plus compacte consomme moins d'énergie. [08]

I.2.2 L'orientation

Le soleil est souvent recherché l'hiver alors qu'on essaye de s'en protéger l'été ; les figures ci-desous (figure I.1 et figure I.2) montrent la course du soleil suivant la saison :

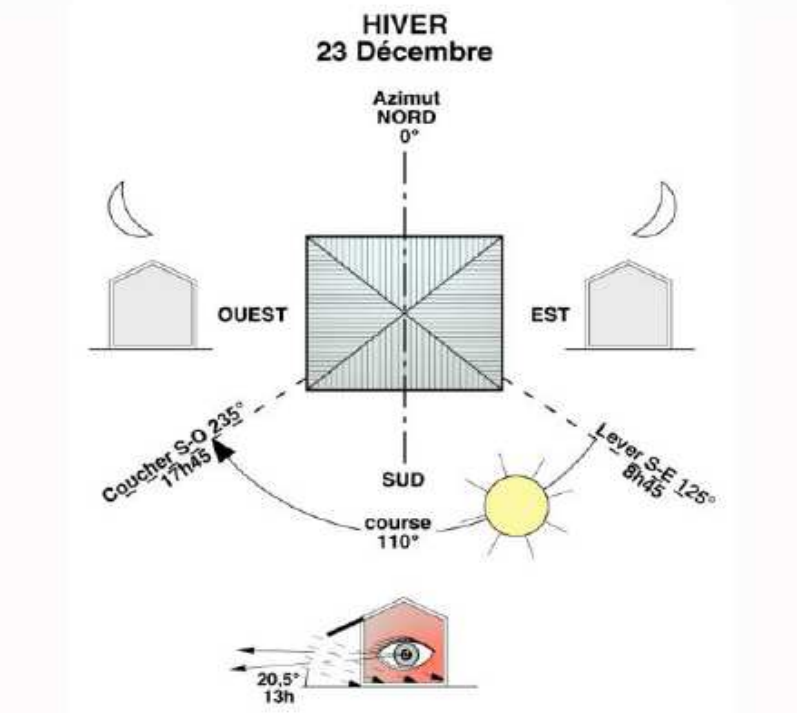

Figure I.1 : *course du soleil l'hiver*

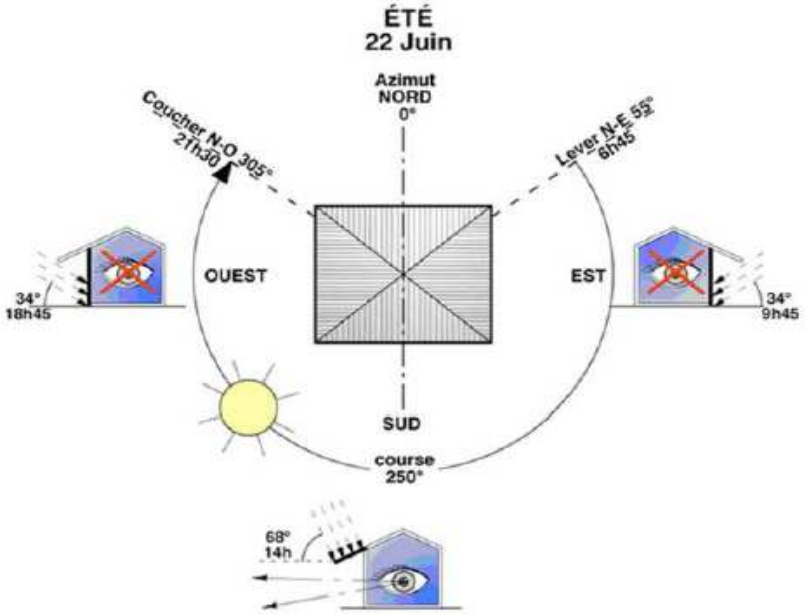

Figure I.2 : *course du soleil l'été*

- En hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage.
- L'été, la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection.

Les paramètres de l'orientation sont déterminants et liés à la destination des lieux :

- Les besoins en lumière.
- L'utilisation des rayons solaires pour chauffer.
- Le besoin de se protéger du soleil contre les surchauffes.
- La présence de vents dominants froids de l'hiver (on diminue ainsi la consommation de chauffage).

L'ensoleillement des pièces orientées au sud est le plus facile à maîtriser. L'ensoleillement d'hiver est maximal et l'ensoleillement d'été est minimal. [10]

I.2.3 Répartition des pièces

En matière d'orientation et d'architecture le travail du concepteur doit consister à combiner au mieux apports du soleil d'hiver et protections du soleil en été et en mi saison :

- Les pièces occupées en permanence durant la journée devraient de préférence être orientées au sud.
- Les chambres seront plutôt situées au sud et à l'est, profitant du lever du soleil. Elles garderont ainsi leur fraîcheur en fin de journée.
- Veiller à limiter dans la cuisine les apports solaires sur les vitrages sud-ouest, souvent générateurs de surchauffe.
- Une serre ou véranda placée au sud permet, tout en apportant de la chaleur en hiver, de créer un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur.
- Les espaces peu ou non chauffés (entrée, atelier, garage) seront plutôt disposés à l'ouest ou au nord. Si le vent est souvent violent, un sas d'entrée sera nécessaire pour éviter que l'air froid ne s'infiltre dans la maison. [08]
- regrouper les pièces qui sont moins chauffées en général.

- regrouper les points de puisage d'eau chaude sanitaire et les rapprocher de la production. [09]

I.2.4 Solaire passif

Le solaire passif fait appel à trois principes :

- le captage.
- le stockage.
- la distribution de l'énergie du soleil.

I.2.4.1 L'éclairage naturel

L'importance de l'éclairage naturel s'impose du fait qu'il permet une réduction significative de la consommation de l'énergie dans le bâtiment.

- L'éclairage par les fenêtres
- L'éclairage par le plafond

I.2.5 Surfaces vitrées

Autrefois, la taille des fenêtres était limitée pour éviter les déperditions en hiver. Aujourd'hui, avec des fenêtres performantes équipées de volets efficaces, cet aspect s'atténue considérablement.

Les caractéristiques nécessaires d'une fenêtre :

- Éclairage et occultation,
- Vue dehors (ouverture visuelle),
- Pénétration du soleil et protection solaire (gain solaire),
- Etanchéité et ventilation.

I.2.5.1 L'orientation des surfaces vitrées

L'heure et la date où l'énergie reçue est au maximum dépendent de la latitude et de l'orientation du mur. La terre effectue une rotation de 15° à l'heure; lorsque la fenêtre est orientée à 30° sud-est, les gains thermiques maximaux seront obtenus deux heures avant le midi solaire. Les façades est et ouest reçoivent le rayonnement maximal annuel en été, alors que la façade sud reçoit son maximum annuel vers la fin de l'automne et de l'hiver.

Les fenêtres orientées au nord fournissent un éclairage indirect constant assorti d'un gain thermique minime, mais peuvent également occasionner des déperditions de chaleur et de l'inconfort pendant la saison froide. Les fenêtres orientées au sud bénéficient d'un fort ensoleillement direct et indirect variable au cours de la journée. Limiter les gains calorifiques

peut poser problème pendant la saison de chauffage. Il est facile d'ombrager ces fenêtres en les surmontant de dispositifs horizontaux correspondants.

Les fenêtres orientées à l'est et à l'ouest entraînent davantage d'éblouissement et de gains thermiques, en plus d'être plus difficiles à ombrager, car le soleil est plus près de l'horizon.

I.2.5.1.1 Les règles générales à suivre pour l'orientation des fenêtres

- Déterminer la taille, la hauteur et la sorte de vitrage des fenêtres séparément pour chaque façade.
- Maximiser l'exposition au sud.
- Optimiser l'exposition au nord.
- Minimiser l'exposition à l'ouest lorsque le soleil est au plus bas, car elle risque d'occasionner la surchauffe. [11]

I.2.5.2 Typologies des fenêtres

Comme une vitre ne laisse pas passer 100% du rayonnement solaire reçu, il est aisé de comprendre que plus une fenêtre comportera de couches vitrées, plus elle bloquera le rayonnement. En pratique, cette constatation peut être utile pour bien choisir ses vitres :

- le simple vitrage
- le double vitrage
- le triple vitrage

Les fenêtres : Comme la performance des fenêtres dépendent de plusieurs critères à savoir les types des matériaux, la conception, l'étanchéité et l'isolation …etc. ces critères sont à prendre en considération pour déterminer le type des fenêtres:

- La fenêtre basse émissivité
- La fenêtre à isolation renforcée
- La fenêtre triple vitrage

En bio-climatisme chaque détail compte. Bien choisir ses fenêtres, les disposer au bon endroit et surtout les adapter en fonction de la pièce permet d'obtenir le meilleur rendement calorifique possible tout en participant au confort. [12]

Il y a trois grands moyens d'améliorer l'efficacité énergétique des fenêtres existantes:

- Réparer.
- Rénover.
- Ajouter du vitrage, en installant des contre-fenêtres extérieures ou intérieures; remplacer la fenêtre ou certaines parties de la fenêtre. Afin de modifier les fenêtres pour en accroître la performance on peut ajouter une deuxième ou une troisième couche de verre ce qui fait diminuer grandement la valeur U (et augmenter la valeur R) tout en conservant un important CARS. Cette caractéristique est très avantageuse du point de vue du chauffage solaire passif.

Le dormant constitue souvent le maillon thermique le plus faible de la fenêtre. Bien que le dormant (châssis et meneaux) n'occupe que de 10 à 25 % de l'aire du vitrage des bâtiments, il peut expliquer jusqu'à la moitié des déperditions de chaleur de la fenêtre et se prêter grandement à la formation de condensation. [11]

Des fenêtres à bon rendement énergétique vont :

- Augmenter le confort. De telles fenêtres réduisent les courants d'air froid et contribuent à accroître la sensation de chaleur à l'intérieur durant la saison de chauffage.
- Limiter la condensation. Les surfaces intérieures de fenêtres à bon rendement énergétique demeurent plus chaudes, ce qui signifie que le taux d'humidité relative peut être plus élevé à l'intérieur sans pour autant provoquer de condensation sur les fenêtres (n'oubliez pas qu'aucune fenêtre, même énergétique, n'empêchera la condensation si le taux d'humidité dans votre maison est trop élevé).
- Epargner de l'argent. En réduisant les fuites d'air et en améliorant le rendement thermique des fenêtres, par exemple par l'installation de contre-fenêtres
- Durer plus longtemps. La condensation peut causer une détérioration prématurée des fenêtres, de même que des murs et des finis, entraînant un entretien ou un remplacement coûteux.
- Réduire la consommation d'énergie et son incidence environnementale.

I.2.6 Protection solaire

De nombreux types de protections solaires existent : permanentes ou fixes (vitrages spéciaux, films autocollants, auvents, avancées architecturales), mobiles (stores extérieurs, volets). Le

choix d'une protection solaire doit se faire en fonction de l'orientation de la fenêtre. Si possible, elle maintiendra la possibilité de bénéficier d'une lumière naturelle suffisante.

- Les protections mobiles.
- Les protections permanentes.
- Protection végétal.
- Protection végétale des murs.

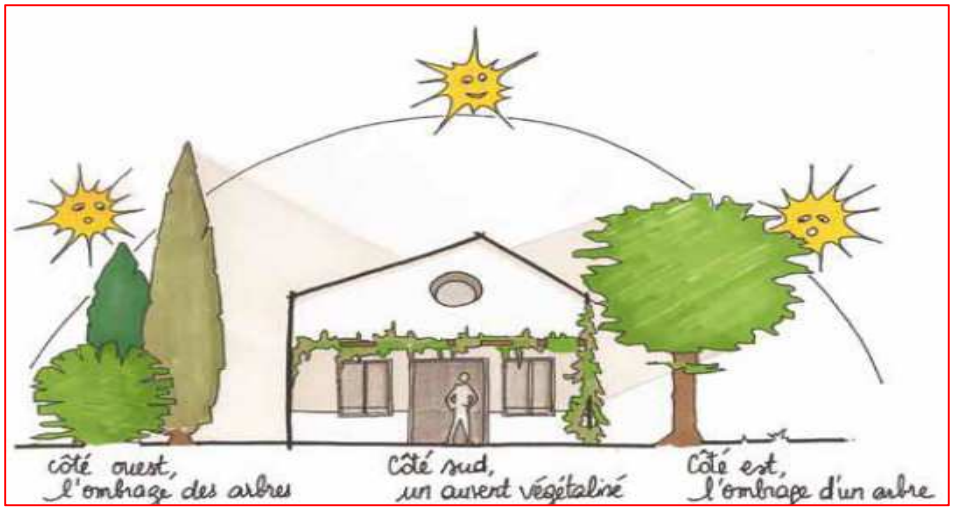

Figure I.3 : *Ombrage végétal selon l'orientation*

I.2.6.1 Réflexion et Absorption passive

Quand le rayonnement solaire frappe une surface, une partie est absorbée mais une autre est réfléchie. Selon les situations, il peut être intéressant de privilégier l'une par rapport à l'autre.

- Réfléchir pour ne pas s'échauffer.
- Absorber pour réduire l'échauffement.

I.2.7 Isolation

I.2.7.1 Critères de sélection d'un isolant

Choisir un isolant ou un système offrant le coefficient de conductivité thermique le plus faible possible (K).

Concevoir des systèmes constructifs de liaisons de parois minimisant les ponts thermiques structurels.

Choisir un isolant ayant la perméabilité à l'eau la plus faible possible. [13]

Solutions : Solution classique d'isolation extérieure ou intérieure. Sachant que dans le cas d'une isolation par l'intérieur, les ponts thermiques peuvent représenter une forte part des déperditions, cette solution sera plutôt réservée au cas de réhabilitation.

I.2.7.2 Système d'isolation rapportée par l'intérieur

Pour respecter les conditions de confort d'été, la masse des murs n'étant pas en contact avec les volumes intérieurs, il sera pertinent de composer avec des parois intérieures lourdes.

I.2.7.3 Système d'isolation rapportée par l'extérieur

L'isolation thermique par l'extérieur permet de supprimer les ponts thermiques au niveau des planchers intermédiaires et des refends. Elle permet également de tirer parti de l'inertie des murs pour récupérer les apports solaires en hiver et pour réduire l'inconfort en été. [09]

Placer l'isolation à l'extérieur permet d'optimiser principalement :

- Les performances thermiques du bâtiment dans son ensemble.
- Le coût global de l'opération.
- L'entretien.

I.2.7.4 Les types d'isolants

Plusieurs familles d'isolants coexistent sur le marché. Le classement peut se faire suivant le mode d'isolation:

- Isolation par emprisonnement d'air :
    - Minérales (laines de verre, laines de roche,…)
    - Animales (laines de mouton, plumes de canard,…)
    - Végétales (fibres de bois, lin,…)
- Isolation par gaz piégé
- Isolation par le vide (lame d'air).
- Isolants minces réfléchissants

I.2.7.5 Les éléments d'isolation

- Isolation des ponts thermique : Les principaux ponts thermiques à traiter :
    - les jonctions avec la toiture.
    - les jonctions avec les menuiseries.

- les jonctions avec les planchers intermédiaires et bas.
- les poutres.

- Isolation de la toiture
  - Isolation des combles perdus
  - Isolation en rampant sous toiture
  - Toiture terrasse
- Planchers bas

I.2.8 Étanchéité à l'air

Assurer un bon niveau d'étanchéité à l'air dans un bâtiment consiste à maîtriser les flux d'air qui circulent à travers les orifices volontaires (bouches de ventilation et entrées d'air) et à limiter les flux incontrôlés pouvant causer inconfort, et gaspillage d'énergie.

Les principaux enjeux liés à l'étanchéité à l'air sont :

- Le confort thermique.
- La facture énergétique.
- La conservation du bâtiment.
- Maintenir la performance des isolants thermiques tout au long de la vie du bâtiment.

I.2.9 Ventilation

Une meilleure isolation thermique, une meilleure étanchéité à l'air, une utilisation généralisée du chauffage, l'emploi du vitrage performant, réalisés sans une ventilation adéquate, aggravent considérablement les problèmes de condensation et de moisissures dans les habitations. [14]

Renouveler l'air a également pour fonction d'évacuer la vapeur d'eau et d'éviter ainsi des condensations et dégradations. Cela permet enfin un fonctionnement normal et sans danger des appareils de combustion.

La ventilation d'un logement est donc absolument impérative pour maintenir une ambiance intérieure confortable. Or en hiver, lorsque la température est basse, le réchauffement de l'air froid entrant dans le logement représente une part très importante des besoins de chauffage.

I.2.9.1 Les moyens de la ventilation naturelle

Les moyens de mettre « naturellement » l'air en mouvement sont connus depuis longtemps, ces moteurs sont :

- Le tirage thermique
- La pression éolienne

I.2.9.2 Les types de ventilation naturelle

- Ventilation d'un seul côté.
- Ventilation mono-exposée ouverture double.
- Ventilation transversale.
- Ventilation par cheminées.
- Ventilation par atrium

I.3 Comportement des consommateurs

Le rôle du consommateur se résume dans le choix des équipements, leurs gestions et enfin la maintenance. Voici à titre indicatif une série de mesures et prérogatives à suivre :

I.3.1 La performance des équipements

Pour réduire sa consommation électrodomestique, quatre types d'actions sont possibles

- Choisir impérativement un appareil très performant.
- Etudier le dimensionnement des appareils Supprimer toutes les veilles possibles dans le logement.
- Préférer les appareils séparés au lieu d'appareils combinés.
- S'arranger en cuisine pour rendre impossible la juxtaposition des appareils de production de froid et de cuisson (plaques, cuisinière ou four). [15]

I.3.2 Système de chauffage

- Surveiller les radiateurs.
- Entretenir la chaudière.
- Améliorer les radiateurs existants.

I.3.3 Faire sécher le linge à l'air libre

Le sèche-linge peut être un gros consommateur d'énergie. Profitez de l'air libre ou d'un local bien ventilé pour faire sécher votre linge. C'est la meilleure solution, car sinon le séchage du linge prend de l'énergie au système de chauffage

I.3.4 L'éclairage

- Profiter de la lumière naturelle.
- Éclairer efficacement**.**

I.4 Les solutions d'efficacité énergétique actives

L'efficacité énergétique dite « 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 la facture énergétique.
- réduire les consommations d'énergie.
- améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire.

L'efficacité énergétique active peut être mise en œuvre soit dans le cadre d'une approche globale, soit par application. Optimisées individuellement ou de manière combinée, les actions suivantes permettent de réaliser des économies d'énergie significatives :

- Mesure des consommations.
- Régulation.
- Gestion de la protection solaire.
- Production de l'énergie renouvelable.
- Installation des équipements performants.

I.4.1 Les différentes mesures

A. La mesure des consommations

La mesure constitue un élément-clé de la définition, de la réussite et de la pérennité d'une démarche par son usage important et croissant, l'électricité joue un rôle-clé dans ce processus car elle offre de nombreuses solutions d'efficacité énergétique active.

- La mise en place de systèmes électriques et de services associés peut générer directement jusqu'à 30 % d'économies d'énergie
  - Des systèmes de pilotage et d'automatisation des unités de production thermique (chaude et froide).
  - Une régulation de l'éclairage, des entraînements à vitesse variable appliquées aux pompes et ventilateurs.
  - Des Contrats de Performance Energétique (CPE).
- le comptage, le comptage intelligent,
- l'instrumentation,
- les centrales de mesure, ou l'EMS (Système de gestion de l'énergie).

B. La mesure électrique

C. La mesure du gaz naturel

I.4.2 Systèmes de régulation et d'automatisme

Pour les équipements de chauffage, de ventilation ou d'éclairage qui permettent d'adapter la consommation aux conditions extérieures et en fonction de la présence de personnes. En outre, ces systèmes fournissent l'information aux occupants sur leur propre consommation.

L'automatisme et la régulation sont nécessaires à la performance de toute installation.

Ces systèmes permettent ainsi de :

- Consommer ce qui est nécessaire, quand et où c'est nécessaire.
- Améliorer et modifier le comportement humain pour s'affranchir des mauvaises habitudes.

Quelques exemples de solutions :

Les systèmes motorisés performants, les automates, les systèmes de régulation, les automatismes, la détection de présence.

I.4.3 Gestion de la protection solaire

Des installations de protection solaire, de préférence variables, motorisées et automatisées, rendent dynamique le rayonnement solaire à travers les vitrages et régularisent le climat intérieur en fonction du climat extérieur.

Des installations de protection solaire variables et automatisées rendent le rayonnement solaire à travers les fenêtres dynamique et adaptable :

- Pendant les journées chaudes, les systèmes d'ombrage protègent de la surchauffe. Jusqu'à 90% du rayonnement thermique peut être stoppé à l'extérieur des vitrages, évitant ou réduisant ainsi l'énergie utilisée pour une climatisation inutile.
- En cas d'aération naturelle du bâtiment, les lamelles ouvertes de la protection solaire aident à une aération optimale et au refroidissement pendant la nuit.
- Pendant les journées froides, l'énergie solaire peut être utilisée comme appoint pour le chauffage.
- Pendant la nuit, la perte de chaleur vers l'extérieur est réduite

I.4.4 Energies solaires thermiques

Les installations solaires de production d'eau chaude domestique varient en complexité, en efficacité et en coût.

I.5 Les coordonnées solaires par rapport à la terre

Les ondes électromagnétiques provenant du soleil portent l'énergie, la projection de cette énergie dépend de l'orientation de la surface réceptrice. Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voûte céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur sur la terre. [16]

I.5.1 Les coordonnées géographiques terrestres

a) Latitude (ϕ) :

Une des coordonnées terrestres d'un point de notre planète. C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considéré. Sa valeur est positive dans l'hémisphère nord et négatif dans l'hémisphère sud.

b) Longitude (L) :

Une des coordonnées terrestres d'un point de notre planète. C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. Sa valeur est positive à l'ouest et négative à l'est de la méridienne origine.

c) Le méridien :

Grand cercle de la terre passant par les pôles. Tous les points d'un même méridien ont évidemment la même longitude, le méridien pris pour origine (0°) des longitudes est celui de Greenwich. Le plan méridien en un lieu est déterminé par ce lieu et par l'axe des pôles. Le temps solaire vrai est identique, à un instant donné, pour tous les points d'un même méridien.

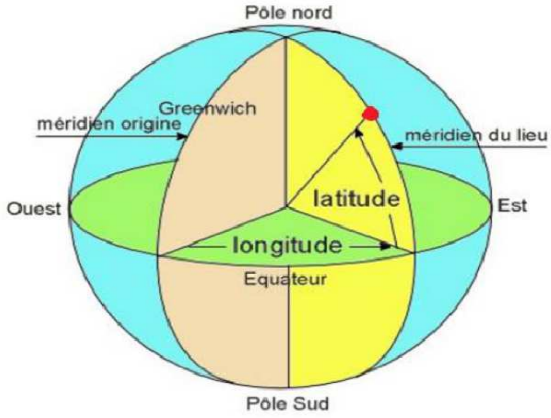

Figure I.4: *les coordonnées terrestres d'un milieu donné*

I.5.1.1 Les coordonnées équatoriales

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont la déclinaison et l'angle horaire ω. [17]

a) **La déclinaison :**

C'est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année comme, elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice d'été (±23°,27') et au solstice d'hiver.

b) **L'angle horaire :**

Correspond à l'angle compris entre la projection du soleil sur le plan équatorial et la méridienne origine du lieu considéré passant par le sud. Il est compté Positivement dans le sens rétrograde de **0°** à **360°**.

I.5.1.2 Les coordonnées horizontales

Le repère horizontal est un repère qui prend comme origine le lieu de situation de l'observateur et comme plan de référence le plan de l'horizon astronomique.

La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales, à savoir la hauteur du soleil et son azimut. [18]

a) L'azimut :

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde.

b) La hauteur du soleil :

Elle correspond à l'angle formé par le vecteur directionnel du soleil et sa projection sur le plan horizontal, elle vaut **0°** au lever et coucher du soleil et elle prend la valeur maximale à midi solaire.

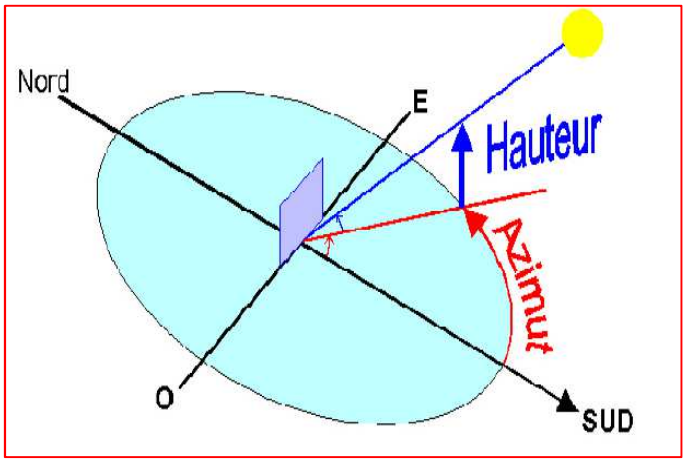

Figure I.5: *la hauteur de l'Azimut du soleil*

I.5.2 Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire.

Par sa situation géographique, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m2 est de l'ordre de 5KW/h sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 (KW/h/m2)/an au Nord et 2263 (KWh/m2)/an au Sud.

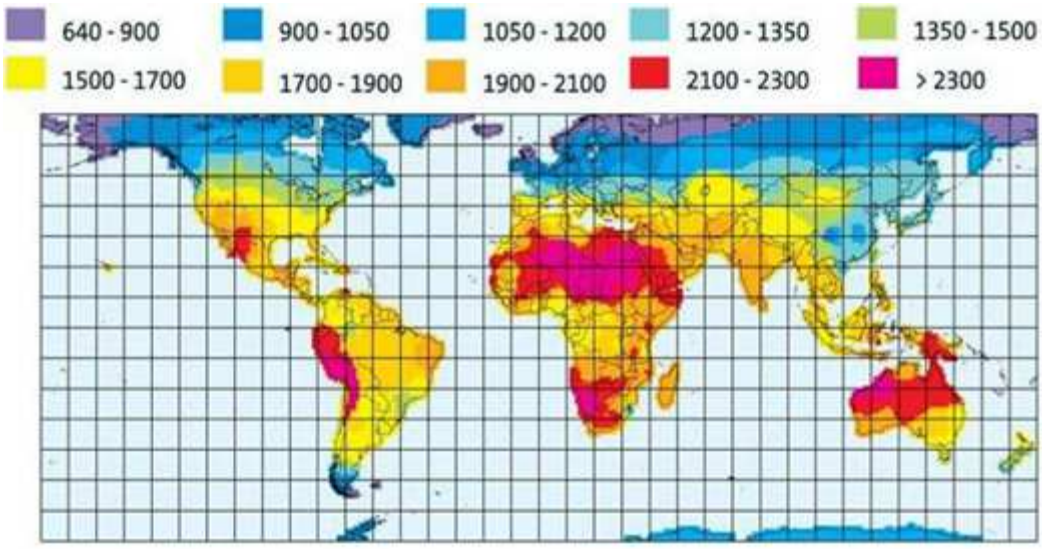

Figure I 6. *Intensité de rayonnement solaire en KWh/m2.an*

Le potentiel en énergie renouvelable le plus important, en Algérie, c'est le solaire. Il est le plus important de tout le bassin méditerranéen:

- 169 440 TWh/an [T] : Téra 10^{12}
- 5.000 fois la consommation algérienne en électricité
- 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an)

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau(I.1) selon l'ensoleillement reçu annuellement **:**

Régions	Régions coutières	Haut plateaux	Sahara
Superficie %	04	10	86
Duré moyenne d'ensoleillement h/an	2650	3000	3500
Energie moyenne reçues	1700	1900	2650

Tableau I.1: *ensoleillement reçu en Algérie pat régions coutières*

I.6 Conclusion

L'efficacité énergétique à travers les mesures soulignées auparavant, est bénéfique autant pour le consommateur à travers l'allègement de ces factures énergétiques, que pour l'environnement, car la maitrise de l'énergie atténue la pression sur l'impact environnemental. Sans oublier l'impact sur les aspects socio-économiques, qui se concrétise par le fait que les économies d'énergies se traduisent par un gain substantiel au niveau des ressources financières.

II.1 Introduction

Pour étudier le comportement thermique et énergétique du bâtiment, le modèle choisi est défini dans ce chapitre.

Afin de dimensionner une installation de chauffage il est nécessaire de connaitre avec une bonne approximation les besoins thermiques. Dans le cas d'une habitation, nous allons définir plusieurs grandeurs représentatives des échanges thermiques avec l'extérieur.

On notera **Ti** la température de confort (consigne que l'on veut maintenir à l'intérieur de l'habitation) et **Ta** la température de l'environnement. Les pertes thermiques ont plusieurs origines: les murs extérieurs et intérieurs, les vitrages, le plancher, la toiture et le renouvellement d'air

II.2 Présentation de l'habitation

Une maison d'une superficie de 100,84 m², construite avec des matériaux locaux (figure II.1), située à Bouira dont les coordonnées géographiques sont les suivantes: Latitude 36°23' N ; Longitude 3°54' E. [19]

Cette maison est composée de deux chambres, une cuisine, de sanitaire, salle de bain et d'une salle de séjour. Il est habité par cinq personnes, les besoins de cette habitation sont évalués en fonction de ces caractéristiques architecturales, du nombre d'occupants et du taux de renouvellement d'air.

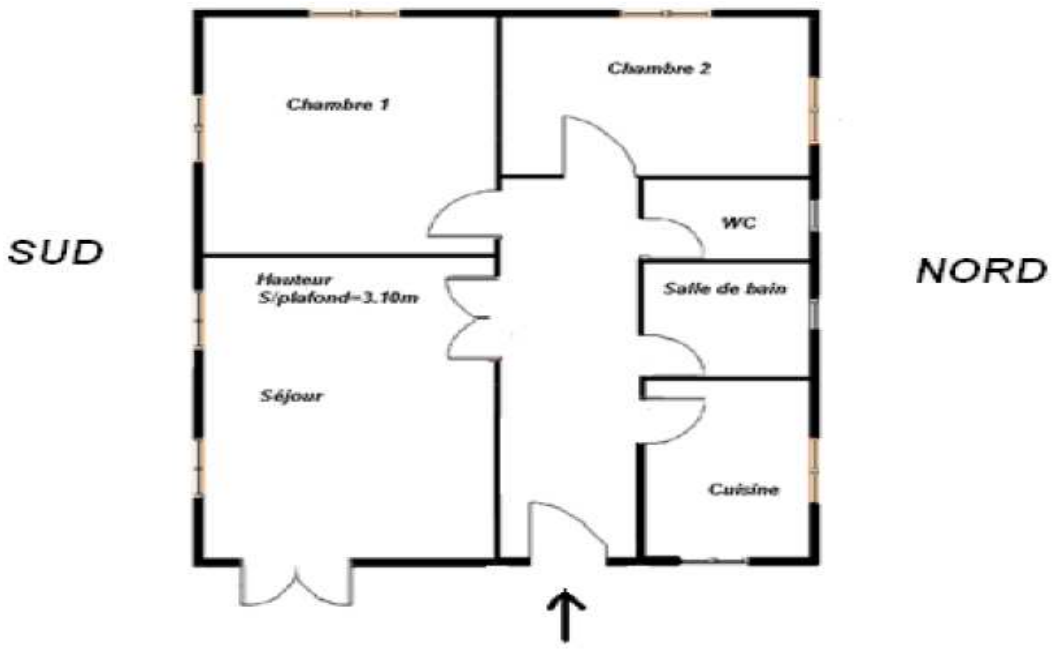

Figure II.1: *Plan de l'habitat étudié*

- **Données architecturales de la maison**

Hauteur de la maison	**3.10 m**
Surface de la maison	100,84 m^2
Volume de la maison	312.604 m^3

- **Données géographiques de la maison**

Latitude (ϕ)	**36°23' N**
Longitude (L)	3° 54'E
Altitude	635 m
Albédo	0.2

II.3 Déperditions de la maison

Le calcul des déperditions par l'enveloppe de la maison est fait par la réglementation thermique algérienne D.T.R C3.2. **[**19**]**

Les déperditions totales D_i pour un logement, sont données par :

$$D_i = D_T + D_R \qquad [W/°C] \qquad (II.1)$$

Où:

- D_T (en W/°C) représente les déperditions par transmission,

- D_R (en W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air.

II.3.1 Déperdition par transmission

Les déperditions par transmission $(D_T)_i$ d'un volume i sont données par :

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{lnc})_i \quad [W/°C] \qquad (II.2)$$

Où

- $(D_s)i$ (en W/°C) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur

- $(D_{li})_i$ (en W/°C) représente les déperditions à travers les liaisons ,

- $(D_{sol})_i$ (en W/°C) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol

- $(D_{lnc})_i$ (en W/°C) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

II.3.1.1 Déperditions surfaciques

Les déperditions surfaciques par l'enveloppe de la maison sont calculées comme suit :

$$D_s = D_{mur} + D_{po} + D_f + D_{ph} + D_{pb} \quad [W/°C] \qquad (II.3)$$

Où:

- D_m : Déperdition par le mur extérieur

- D_{po} : Déperditions par les portes

- D_f : Déperditions par les fenêtres

- D_{ph} : Déperditions par le plancher

- D_{pb} : Déperditions par le toit

➢ Calcul des résistances thermiques

a) **Mur extérieur de** A= 105.66 m^2

Il est constitué de cinq couches de l'intérieur vers l'extérieur comme suit :

Matériaux	Epaisseur (m)	λ(W/m.C°)	R_{th}(m^2.C°/W)
Plâtre	0.01	0.50	0.02
Mortier du ciment	0.02	1.4	0.014
Brique creuse	0.15	0.48	0.31
Air	0.05		0.16
Briques creuse	0.15	0.48	0.31
Mortier du ciment	0.02	1.4	0.014
			ΣR_{th}=0.8336

b) plancher bas

Il est constitué de cinq couches du haut vers le bas comme suit

Matériaux	Epaisseur (m)	λ [W/m.C°]	R_{th}[m^2.C°/W]
Carrelage	0.02	0.54	0.037
Sable + mortier	0.03	2	0.015
Béton	0.15	1.75	0.086
Polystyrène	0.06	0.046	1.3
Béton	0.10	1.75	0.057
			ΣR_{th} =1.4992

C) Plancher haut (Toit)

Elle est constituée de cinq couches du haut vers le bas comme suit :

Matériaux	Epaisseur (m)	λ [W/m.C°]	R_{th} [m².C°/W]
Plâtre	0.01	0.50	0.02
Béton hourdis allégé	0.12		0.19
Polystyrène	0.10	0.046	2.17
Bitume	0.02	0.23	0.087
			ΣR_{th} = 2.4709

➢ Calcul du coefficient de transmission surfacique de la maison

a) Calcul du coefficient de transmission surfacique de la maison :

Le coefficient K est donné par la formule suivante

$$\frac{1}{k} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2.\text{C°/W}] \qquad \text{(II.4)}$$

Donc:

$$\frac{1}{k_m} = \sum R_{mur} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \qquad \text{(II.5)}$$

Où :

ΣR_{mur} (en m². °C/W) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. La détermination de la résistance thermique d'une couche de matériau dépend de la nature du matériau, c'est à dire s'il est homogène ou non ;

- La somme $\frac{1}{h_e}+\frac{1}{h_i}$ en (m².C°/W) représente la somme des coefficients d'échange superficiel, prise conformément aux conventions adoptées.

D'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e}+\frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2\text{. C°/W}$$

Pour le mur extérieur de A = 105,66 m^2

$$\frac{1}{k_{mur}} = 0.17+ 0.8336= 1.0036 \text{ m}^2\text{. C°/W}$$

Donc :

$$K_{mur} = 0.9964 \text{ W/ m}^2\text{. C°}$$

b) coefficient de transmission surfacique des fenêtres (porte fenêtres) et les portes

Les valeurs du coefficient de transmission surfacique des portes et fenêtres sont:

Portes et fenêtres	**K [w/m².C°]**
Les portes opaques extérieures en bois	3.5
Les fenêtres (porte fenêtres) doubles vitrage extérieures	3

c) coefficient de transmission surfacique de plancher haut (toit)

$$\frac{1}{k_{ph}} = \sum R_{ph} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \qquad [m^2.\ C°/W] \qquad (II.6)$$

Donc :

$$\frac{1}{k_{ph}} = 0.14 + 2.4709 = 2.6109\ m^2.C°/W$$

$$K_{ph} = 0.3830\ W/m^2.C°$$

c) coefficient de transmission surfacique de plancher bas

$$\frac{1}{k_{pb}} = \sum R_{pb} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \qquad [m^2.C°/W] \qquad (II.7)$$

$$\frac{1}{k_{pb}} = 0.22 + 1.4992 = 1.7192\ m^2.C°/W$$

$$K_{pb} = 0.5817\ W/m^2.C°$$

Donc les déperditions surfaciques par l'enveloppe de la maison sont calculées comme suit :

$$D_s = D_{mur} + D_f + D_{po} + D_{ph} + D_{pb} = k_{mur}\ S_{mur} + k_f\ S_f + k_{po}\ S_{po} + K_{ph}\ S_{ph} + K_{pb}\ S_{pb} \qquad (II.8)$$

Avec :

- **K_{mur} , k_f, k_{ph} ,k_{pb} k_{po}** : sont les coefficients de transmission surfacique des murs extérieurs, des portes et des fenêtres.
- **S_{mur} , S_f , S_{po} , S_{ph} , S_{pb} :** sont les surfaces des murs extérieurs, des portes et des fenêtres.

II.3.1.2 Déperditions à travers les ponts thermiques

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 :

$$D_{li} = 0.20 \times D_s \qquad [W/°C] \qquad (II.9)$$

II.3.1.3 Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés

On considère que toutes les pièces dans la maison sont chauffées, donc les déperditions thermiques à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés sont nulles :

$$D_{lnc} = 0 \text{ W/C°} \qquad \text{(II.10)}$$

II.3.2 Déperditions par renouvellement d'air

La ventilation assure le renouvellement d'air nécessaire à la bonne santé de l'occupant. Les déperditions par renouvellement d'air d'une maison ont pour expression.

$$D_R = \mathbf{0,34 \times (}Q_V + Q_S\mathbf{)} \qquad [W/°C] \qquad \text{(II.11)}$$

Où :

- 0,34 (en $Wh/m^3.C°$) est la chaleur volumique de l'air.
- Q_v (en m^3/h) est le débit spécifique de ventilation.
- Q_s (en m^3/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

Le débit spécifique de ventilation Q_v pour un logement est donné par la formule suivante :

$$Q_v = \text{Max}\,[0.6 \times V_h ; Q_{vréf}] \qquad [m^3/h] \qquad \text{(II.12)}$$

Où :

- h_v (en m^3) désigne le volume habitable
- $Q_{vréf}$ (en m^3/h) désigne le débit extrait de référence

Le débit extrait de référence $Q_{vréf}$ est donné par la formule suivante :

$$Q_{Vréf} = \frac{5Q_{V\min} + Q_{V\max}}{6} \qquad [m^3/h] \qquad \text{(II.13)}$$

Où :

- Q_{Vmax} (en m^3/h) est le débit extrait maximal de référence.
- Q_{Vmin} (en m^3/h) est le débit extrait minimal de référence.
- Notre logement est composé 3 pièces principales.

Les valeurs du débit extrait minimal de référence Q_{Vmin}, en fonction du nombre de pièces principales du logement, sont données dans le tableau suivant :

Nombre de pièces Principales	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**> 5**
Q_{vmin} en m^3/h	25	50	75	100	110	On ajoute 10 m^3 par pièce supplémentaire

Tableau II. 1 : *les valeurs de débit extrait minimal de référence*

Donc :

$$Q_{vmin} = 75\ m^3/h$$

Le débit extrait maximal de référence Q_{vmin} est la somme des débits extraits de chaque pièce de service du logement, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Nombre de pièces principales par logement	Q_{vmax}			
	Cuisine	Salle de bain	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisance
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	15	30
5 et plus	135	30	15	30

Tableau II 2: *les valeurs de débit extrait maximal de référence*

Donc :

$$Q_v = 105 + 30 + 15 = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volume habitable :

$$V_h = 0.6 \times 312.604 = 187.56 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{réf} = \frac{5\times75+175}{6} = 91.66 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_v = \text{Max } (187.56 ; 91.66)$$

$$Q_v = 187.56 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dans notre cas on considère que la maison est bien isolée et étanche donc le débit par infiltration due au vent est négligeable $Q_s = 0$

II.4 Vérification des déperditions de référence

➢ Vérifications réglementaire

Les déperditions par transmission DV du logement doivent vérifier :

$$D_T \leq \mathbf{1,05 \times D_{réf}} \qquad \text{(II.14)}$$

Où :

- D_T (en W/°C) représente les déperditions par transmission du logement.
- $D_{réf}$ (en W/°C) représente les déperditions de référence.

➢ Calcul déperditions de référence

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

$$D_{réf} = a \times S_{ph} + b \times S_{pb} + c \times S_{mu} + d \times S_{po} + e \times S_f \quad [W/°C] \qquad (II.15)$$

Ou :

- a, b, c, d, e (en W/m². °C) sont des coefficients de déperditions de référence.
- S_{mur} ,S_f , S_{po} , S_{ph} ,S_{pb} **:** sont les surfaces des murs extérieurs, des portes et des fenêtres.

Zone	Logement individuel					Logement en immeuble collectif				
	a	b	b	d	e	a	b	c	D	e
A	1.10	2.40	1.40	3.5	4.50	1.10	2.40	1.20	3.50	4.50
B	1.10	2.40	1.20	3.50	4.50	0.90	2.40	1.20	3.50	4.50
B'	1.10	2.40	1.20	3.50	4.50	0.90	2.40	1.20	3.50	4.50
C	1.10	2.40	1.20	3.50	4.50	0.85	2.40	1.20	3.50	4.50
D	2.40	3.40	1.40	3.50	4.50	2.40	3.40	1.40	3.50	4.50
D'	2.40	3.40	1.40	3.50	4.50	2.40	3.40	1.40	3.50	4.50

Tableau II. 3: *Les coefficients de déperditions de référence*

Note :

- La ville de Bouira est classée dans la zone climatique C.
- Type de local : logement individuel.

Les coefficients de référence sont :

- a = 1.10
- b = 2.40
- c = 1.20
- d = 3.50
- e = 4.5

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a effectué les calculs des différent Déperditions de la maison en se basant sur le DTR C3.2 (document technique réglementaire).

III.1 Introduction

La méthode des degrés-jours est l'une des méthodes d'analyse d'énergie qui soit appropriée si l'utilisation du bâtiment et de l'efficacité des équipements de CVC (chauffage, climatisation et ventilation) sont constants. Où l'efficacité et les conditions d'utilisation varient en fonction de la température extérieure.

La consommation peut être calculée pour différentes valeurs de la température extérieure et multiplié par le nombre correspondant d'heures; cette approche est utilisée dans diverses méthodes, où la température intérieure est autorisé à fluctuer ou lorsque les gains intérieurs varient.

III.2 Estimation des besoins de chauffage

III.2.1 Les apports internes

III.2.1.1 Stratégie d'occupations

Nous avons supposé que l'appartement est habité par cinq personnes, ce qui représente la moyenne rencontrés dans notre région.la puissance dissipée par personne est estimé à 120 W. [20]

III.2.1.2 Appareils électroménagers

Ils sont à la fois liés à la présence et l'activité humaine. Le tableau ci-dessus présente les puissances dégagées par les appareils électroménagers [20].

Appareil	Zone	Temps d'utilisation	Puissance moyenne sur 24h [W]
Réfrigérateur	Cuisine	24/24	70
Téléviseur	Salon,cham1,cham2	12h	150
Appareil de cuisson	Cuisine	5h	200
Ordinateur	Cham2	7h	30

Tableau III.1 : les puissances dégagées par les appareils électroménagers.

III.2.2 Calcul du coefficient de déperdition thermique Gv [W/C°]

Ce coefficient est appelé le coefficient des déperditions thermiques, caractérise les déperditions thermiques Q_{th} du logement. Il est calculé à partir de l'équation suivante :

$$Q_{th} = (T_i - T_a) \times Gv = [D_T + (0.34 \times Qv)] (T_i - T_a) \quad [W] \qquad (III.1)$$

Ti : la température de confort égale à 20 C°

Ta : la température ambiante.

Par définition Gv est le coefficient de déperdition thermique.

D'où : $Gv = D_T + D_R$

$Gv = D_i$

III.2.3 Calcul du coefficient de déperdition thermique Bv [W/C°]

Le coefficient des besoins thermiques Bv se déduit du coefficient de déperdition thermique Gv en prenant compte les apports énergétiques dus aux occupants de l'habitation, aux appareils domestiques et aux apports solaires par les fenêtres. Il s'exprime en W/C°.

Soient Q_i les apports internes à la maison. On définit une température T_{SC} dite température sans chauffage, correspondante à la température extérieure à partir de laquelle il n'y a plus besoin de chauffage pour maintenir à la température intérieure de l'habitation T_i

$$Q_i = Gv (T_i - T_{sc}) \quad [W] \qquad (III.2)$$

Donc les besoins énergétiques réels sont donnés par :

$$Q_c = Q_{th} - Q_i = Bv (T_i - T_a) \quad [W] \qquad (III.3)$$

Ou encore :

$$Bv (T_i - T_a) = Gv (T_i - T_a) - Gv (T_i - T_{sc}) \quad [W] \qquad (III.4)$$

On obtient :

$$Bv = Gv\ (1 - F) \qquad [W/C°] \qquad (III.5)$$

Avec $F = \frac{Ti - Tsc}{Ti - Ta}$

F : facteur des apports gratuits

Ce dernier facteur dépend de nombreux paramètres tels que :

- Le nombre d'occupants dulogement.
- Le mode de vie (température de confort, éclairage, appareilsélectrique)
- La situation géographique (ensoleillement, températureextérieure)
- La construction de la maison (orientation par rapport au sud, dimensions,isolation)

III.3.3 Méthode des degrés de jours

Elle permet de calculer les besoins en chauffage d'une habitation, à un instant donné. La puissance thermique effective nécessaire pour maintenir à la température intérieure de l'habitation s'écrit : [21]

$$q_c = Gv\ (T_{sc} - T_a) \qquad [W] \qquad (III.6)$$

La détermination de l'énergie à fournit au logement durant une période Δt s'écrit :

$$Q_c = \int Gv\ (T_{sc} - T_a)\ dt \qquad [W] \qquad (III.7)$$

Appelons nombre de degré jour la quantité suivante :

$$ndj = \int (T_{sc} - T_a)\ dt \qquad [C°] \qquad (III.8)$$

Le terme dt de l'intégrale correspond au nombre de jours durant lesquels la température de l'air extérieure vaut T_a avec bien sur $T_a < T_{sc}$. La définition de ndj implique que T_{sc} et T_a représentent des températures moyennes calculées sur la journée. Le nombre degrés-jours correspond donc au nombre de jour de chauffage multiplié par l'écart de température (T_{sc}-T_a).

En considérant que le facteur Gv est constant sur la période étudiée, l'énergie à fournir pour le chauffage s'écrit:

$$q_c = Gv\ ndj \qquad [W] \qquad \text{(III.9)}$$

Pour obtenir Q_c en KWh, il faut diviser par 10^3 et multiplier par 24 le résultat, ce qui donne :

$$Q_c = 0.024 \times Gv \times ndj \qquad [KWh] \qquad \text{(III.10)}$$

IV.1 Introduction

Les résultats obtenus selon la méthode des degrés jours, pour le chauffage sont calculées en utilisant un programme de calcul en Matlab. Ces résultats sont analysés et interprétés dans ce chapitre.

IV.2 Les donnée Métronome

IV.2.1 Les températures ambiantes moyennes mensuelles à Bouira

Le calcul de la température ambiante (Ta) est fait à l'aide du logiciel METEONORM (logiciel sous licence). Les valeurs de Ta pour la ville de Bouira sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Octobre	Nov	Déc
T_a	8.7	10.0	13.5	15.6	20.6	26.6	29.9	29.1	23.9	20.0	13.1	9.8

***Tableau IV. 1**: Les températures ambiantes moyennes mensuelles à Bouira*

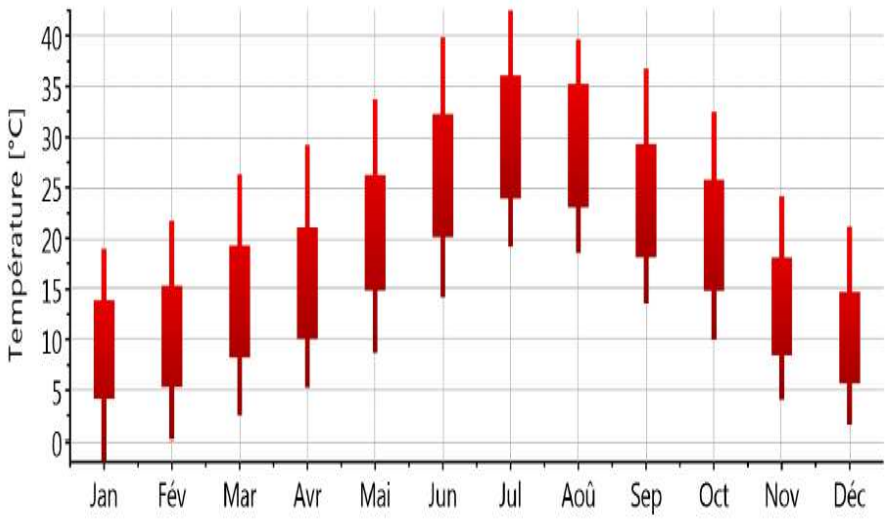

***Figure IV. 1**:Température mensuelle à Bouira*

IV.3 Calcul des besoins de chauffage

IV.3.1 Calcul du coefficient de déperditions thermique Gv

- **Calcul des coefficients de transmission surfacique K :**

A partir de l'équation (II.5) (II.6) (II.7) on va calculer le coefficient de déperdition thermique par l'enveloppe de la maison.

- La surface du mur extérieur égale 105.66 m²
- La surface des fenêtres et ports fenêtres cotées extérieures égale 15,244m²
- La surface des portes cotées extérieures égale 2,75 m²
- Le volume du la maison égal 312.604 m^3
- Surface du toit égale 100,84 m^2
- Surface du plancher bas égale 100,84 m^2

Coefficient de transmission K [W/ m².C°]	**K_{mur}**	**K_{ph}**	**K_{pb}**	**K_{po}**	**K_f**
résultats	0.9964	0.3830	0.5817	3.5	3

Tableau IV 2: *résultats coefficients de transmission surfacique*

- **Calcul des déperditions surfaciques :**

D'après l'équation (II.8) :

$$D_s = 257.9179 \text{ W/ C°}$$

- **Calcul les déperditions à travers les ponts thermiques :**

D'après l'équation (II.9) :

$$D_{li} = 51.5836 \text{ W/C°}$$

- **Calcul des déperditions par transmission:**

D'après l'équation (II.2) :

$$D_T = 309.5015 \text{ W/C°}$$

- **Calcul des déperditions par renouvellement d'air :**

D'après l'équation (II.10) :

$$D_R = 63.7704 \text{ W/C°}$$

- **Déperditions totales :**

D'après l'équation (II.1) :

$$\mathbf{D_i = 373.2719\ W/C°}$$

On aura :

$$\mathbf{Gv = 373.2719\ W/C°}$$

- **Vérification réglementaire et déperditions de référence :**

D'après les équations (II.13) et (II.14) on a trouvé :

$$\mathbf{D_{réf} = 557.9550\ [W/C°]}$$

Donc :

$$\mathbf{358.4040 < 585.85275}$$

La figure IV.2 et le tableau IV.2 donnent les déperditions thermiques de l'enveloppe par transmission surfacique et par ventilation :

Déperditions de la maison en %	
Murs	28.2 %
plancher bas	15.72 %
plancher haut (toit)	10.35 %
portes et fenêtres	14.83 %
déperdition par renouvellement d'air	17,08 %
les ponts thermiques	13.82 %

Tableau IV 3: *Déperditions de la maison en %*

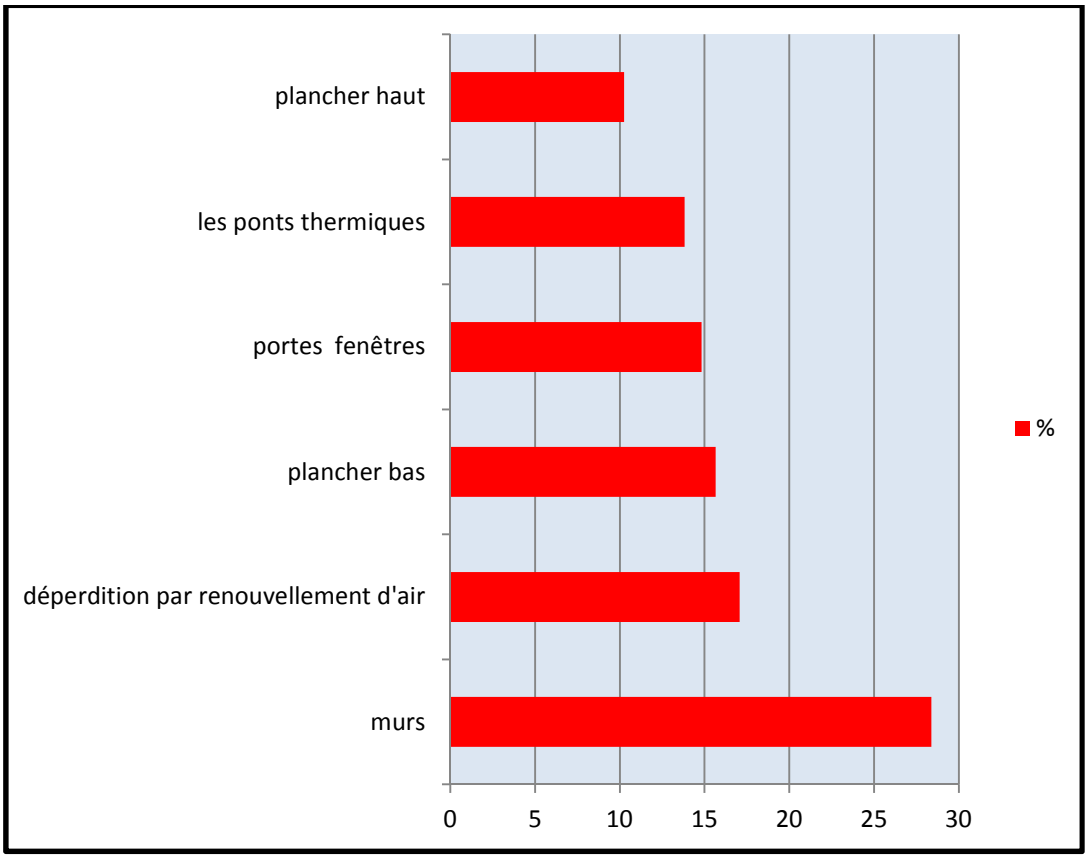

Figure IV 2: *Déperditions de la maison en %*

Les déperditions par les parois de l'enveloppe sont conformes aux normes sur l'isolation thermique du bâtiment, 10.35 % par le toit qui n'est pas très importants vu la composition de la paroi, 15.72 % par le plancher bas, 17,08 % par renouvellement de l'air, on remarque que les déperditions à travers les murs sont plus importante avec de 28.2 % qui peuvent être diminués en isolant plus.

IV.3.2 Calcul des apports internes

On a supposé que l'appartement abrite cinq personnes ce qui donne les valeurs suivantes :

$$Q_i = 120\times5+450 = 1050 \text{ [W]}$$

Et par suite on va calculer la température T_{sc} à partir de l'équation (III.2).

$$T_{sc} = T_i - \frac{Qi}{Gv} = 20 - \frac{1050}{373.2719} = 17.1870\ C°$$

IV.3.3 Calcul des degrés de jours

En replaçant la valeur T_{sc} dans l'équation (III.8) :

Mois	T_a	Nombre de jour	$T_{sc} - T_a$	ndj
Janvier	8.7	31	8.4870	263.0981
Février	10	28	7.1870	201.2370
Mars	13.5	31	3.6870	114.2981
Avril	15.6	30	1.5870	47.6111
Mai	20.6	31	-	0
Juin	26.6	30	-	0
Juillet	29.9	31	-	0
Aout	29.1	31	-	0
Septembre	23.9	30	-	0
Octobre	20	31	-	0
Novembre	13.1	30	4.0870	122.6111
Décembre	9.8	31	7.3870	228.9981

Tableau IV 4: *Nombre des degrés de jours*

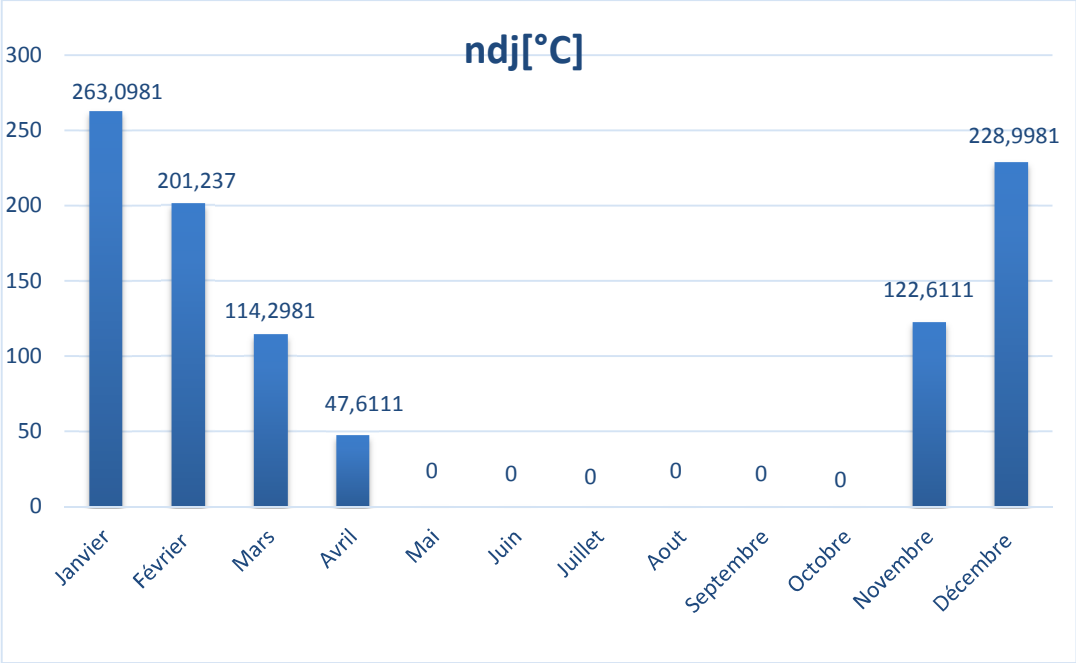

Figure IV 3: *Nombre des degrés de jours (ndj) à Bouira*

IV.3.4 Calcul des besoins de chauffage

À partir d'équation (III.10), on trouve les valeurs des besoins de chauffage Q_c :

Mois	jan	Fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	déc
Q_c[kWh]	2357.0	1802.8	1023.9	426.5	0	0	0	0	0	0	1098.4	2051.5

Tableau IV 5: *les valeurs des besoins de chauffage à Bouira*

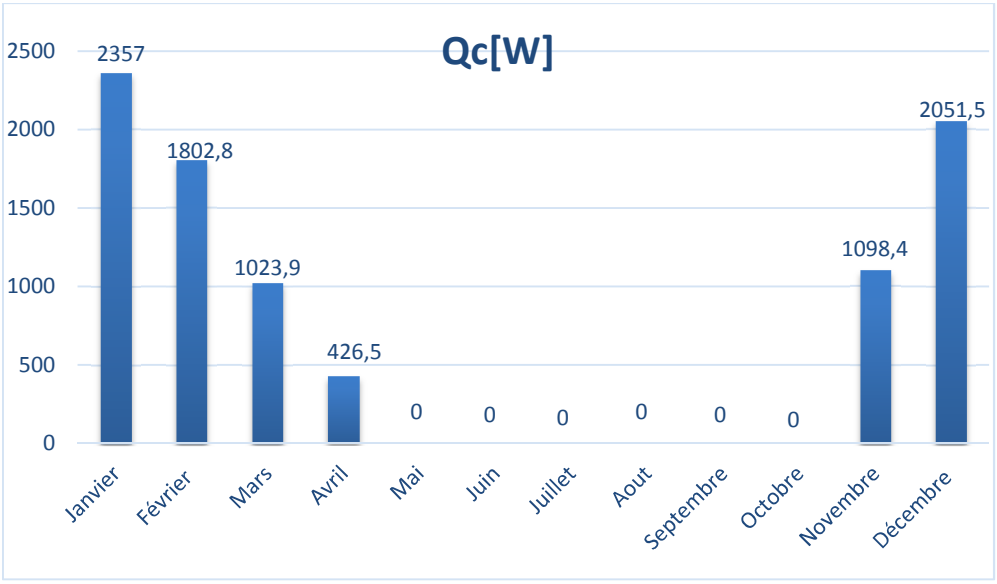

Figure IV 4: Les besoins mensuels en chauffage à Bouira

Les besoins énergétiques maximums pour le chauffage qui atteint la valeur de 2357.0 KWh durant le mois de Janvier où la température ambiante est basse Ta =8.7 C° par contre le besoin de chauffage est faible durant le mois d'Avril, il est de 426.5KWhoù la température ambiante est de Ta=15.6C° et pour les mois de Mai jusqu'à octobre le besoin de chauffage est nulle.

- **Influence de changement de température sur le nombre des degrés des jours :**

Mois	ndj à Ti= 23 C°	ndj à Ti= 20 C°
Janvier	356.0981	263.0981
Février	285.2370	201.2370
Mars	207.2981	114.2981
Avril	137.6111	47.6111
Mai	0	0
Juin	0	0
Juillet	0	0
Aout	0	0
Septembre	0	0
Octobre	5.7981	0
Novembre	212.6111	122.6111
Décembre	321.9981	228.9981

Tableau IV 6: *Nombre des degrés de jours pour les températures de confort 20 C° et 23C°*

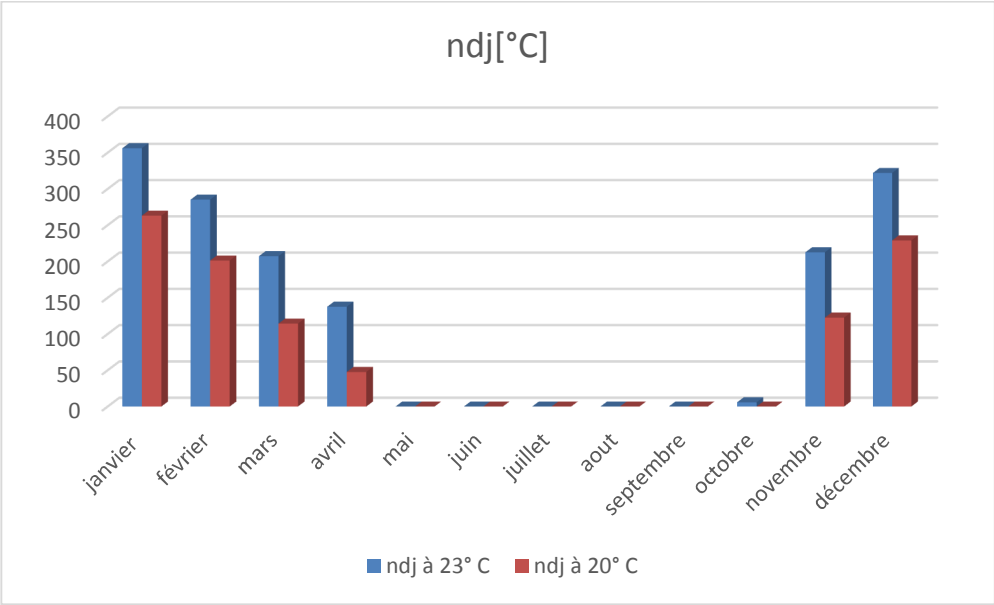

Figure IV 5: *Nombre des degrés de jours des deux températures de confort20 C° et 23C°*

Les degrés jours évoluent inversement à la température extérieure, vu qu'ils sont obtenus par la différence des températures entre l'air extérieur et la température de non chauffage.

Ils atteignent leur maximum en Janvier, 356.0981 ° jours sur base de 23°C et 263.0981° jours sur base de 20°C.

- **Influence de changement de température sur le besoin de chauffage :**

Mois	Qc à Ti= 23 C°	Qc à Ti= 20 C°
Janvier	3190.1	2357.0
Février	2555.3	1802.8
Mars	1857.1	1023.9
Avril	1232.8	426.5
Mai	0	0
Juin	0	0
Juillet	0	0
Aout	0	0
Septembre	0	0
Octobre	51.9	0
Novembre	1904.7	1098.4
Décembre	2884.6	2051.5

Tableau IV 7: *Besoin de chauffage pour les deux températures de confort 20C° et 23C°*

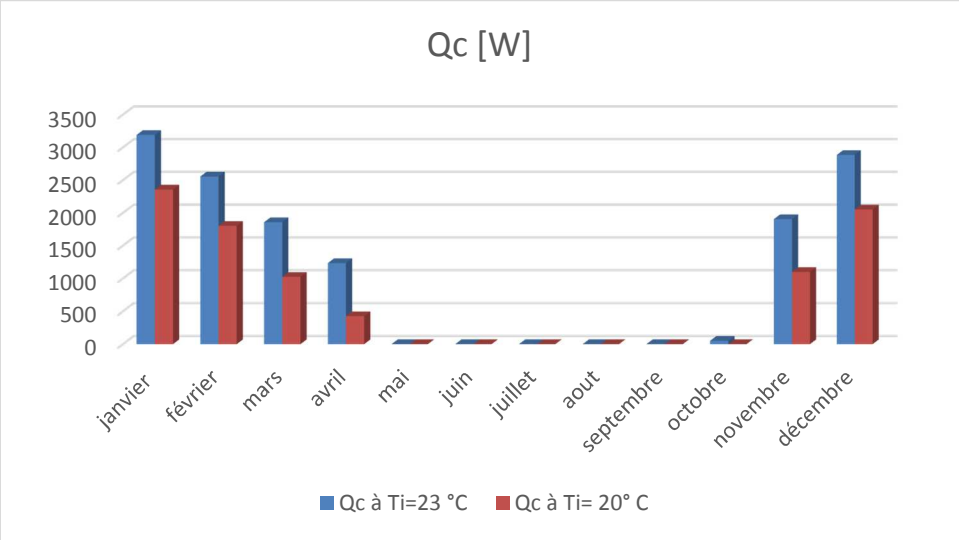

Figure IV 6: *Besoin de chauffage pour les deux températures de confort 20C° et 23C°*

La figure IV.6 montre la demande de chauffage pour sur base de 20°C et 23°C.

La demande de chauffage est plus importante dans le cas où la température de confort est de 23°C, elle atteint la valeur de 3190.1 KWh en Janvier, par contre celle calculée sur base de 20°C, elle est de 2357.0 KWh pour le même mois.

La demande de chauffage sur base de 23°C est très faible en mois d'octobre, elle est de 51.9kWh, Par contre sur base de 20°C, la demande de chauffage est nulle en ce même mois puisque la température extérieure est de 20 °C.

- **L'influence des apports interne sur le besoin de chauffage :**

Mois	Qc à Tsc =20C°	Qc à Tsc =17.1870 C°
Janvier	3138.2	2357.0
Février	2508.4	1802.8
Mars	1805.1	1023.9
Avril	1182.5	426.5
Mai	0	0
Juin	0	0
Juillet	0	0
Aout	0	0
Septembre	0	0
Octobre	0	0

Novembre	1854.4	1098.4
Décembre	2832.7	2051.5

Tableau IV 8: *Besoin de chauffage avec et sans les apports internes*

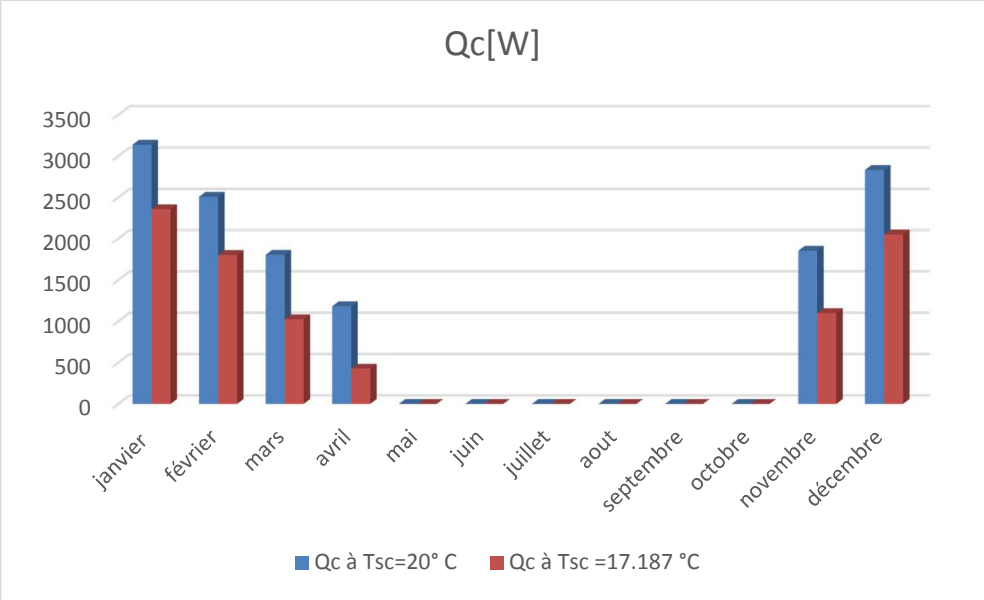

Figure IV 7: *Besoin de chauffage avec et sans les apports internes*

La figure IV.7 montre la demande de chauffage pendant une année, et cela dans le cas où on néglige les apports internes et dans le cas où on les inclut dans nos calculs.

Les apports internes ont un impact sur la consommation énergétique, le facteur d'utilisation des apports qui est le rapport entre les gains de chaleur et les déperditions thermiques de l'enveloppe, rentre dans le calcul de la demande nette de chauffage.

Les apports thermiques reçus par l'habitat diminuent clairement la demande de chauffage comme montrés sur la figure ci-dessus.

Sans les apports thermiques, la demande est de 3138.2 KWh en janvier, en incluant ces derniers la demande atteint 2357.0 KWh.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a pour ambition de faire une analyse énergétique de chauffage d'une maison dont le but de maintenir une température de confort. La présente étude se concentre sur le calcul des besoins de chauffages mensuels en utilisant la méthode de degrés des jours pour une maison implantée à BOUIRA, et qui a donné :

- Les besoins énergétiques maximums pour le chauffage qui atteint la valeur de 2357.0 KWh durant le mois de Janvier où la température ambiante est basseTa =8.7 C° par contre le besoin de chauffage est faible durant le mois d'Avril, il est de 426.5KWhoù la température ambiante est de Ta=15.6C° et pour les mois de Mai jusqu'à octobre le besoin de chauffage est nulle.
- La demande de chauffage est plus importante lorsqu'on augmente la température de confort.
- Les apports internes ont un impact sur la consommation énergétique, ils diminuent clairement la demande en chauffage.

Afin d'aboutir à des consommations mensuelles minimes, il sera intéressant d'introduire les solutions énergétiques passives et actives sur l'enveloppe de la maison etvoir le comportement des occupants.

Annexe 1

Programme de Calcul des besoins de chauffage Avec Matlab

```
!Les épaisseurs des différentes composantes de mur
emp=0.01;
emm=0.02;
emb=0.15;
!Les conductivités thermiques [λ] des différentes composantes de mur
!on prend [y] à la place de [λ] pour les calculs
ymp=0.5;
ymm=1.4;
ymb=0.48;
!résistance thermique de l'air
Rma=0.16;
!calcul de résistance thermique de mur
Rm=(emp/ymp)+(2*emm/ymm)+(2*emb/ymb)+Rma
!Les épaisseurs des différentes composantes de plancher bas
epc=0.02;
eps=0.03;
epb1=0.15;
epp=0.06;
epb2=0.1;
!Les conductivités thermiques [λ] des différentes composantes de plancher bas
ypc=0.54;
yps=2;
ypb=1.75;
ypp=0.046;
!calcul de résistance thermique de plancher bas
Rpb=(epc/ypc)+(eps/yps)+(epb1/ypb)+(epp/ypp)+(epb2/ypb)
!Les épaisseurs des différentes composantes de planchre haut(toit)
etp=0.01;
etpo=0.1;
etbi=0.02;
!Les conductivités thermiques [λ] des différentes composantes de plancher haut(toit)
ytp=0.5;
ytpo=0.046;
ytbi=0.23;
!résistance thermique de béton hourdis allégé
Rtb=0.19;
!calcul de résistance de plancher haut(toit)
Rph=(etp/ytp)+(etpo/ytpo)+(etbi/ytbi)+Rtb
!Les résistances thermiques d’échanges superficiels intérieur et extérieur A=1/he+1/hi
Am=0.17;
Aph=0.14;
Apb=0.22;
!calcul des coefficients de tranmission thermique [K]
```

```
Km=1/(Rm+Am)
Kph=1/(Rph+Aph)
Kpb=1/(Rpb+Apb)
Kpo=3.5;
Kf=3;
!les surfaces de l'enveloppe de la maison
Sm=105.66;
Sph=100.84;
Spb=100.84;
Spo=2.75;
Sf=15.244;
!calcul des déperditions surfaciques de la maison
Ds= (Km*Sm)+(Kpo*Spo)+(Kf*Sf)+(Spb*Kpb)+(Sph*Kph)
!calcul des déperditions des ponts thermiques
Dli=0.2*Ds
!les déperditions avec les locaux non chauffés sont nulles
Dlnc=0
!calcul des déperditions avec transmission
Dt=Ds+Dli+Dlnc
!le débit spécifique de ventilation
Qv=187.56;
!le débit supplémentaire par infiltration dues au vent est nul
Qs=0;
!calcul des déperditions par renouvellement de l'air
Dr=0.34*(Qv+Qs)
!calcul des déperditions totales de la maison
Di=Dt+Dr
!les coefficients des déperditions de référence
a=1.1;
b=2.4;
c=1.2;
d=3.5;
e=4.5;
!calcul des déperditions de référence
Dref=(a*Sph)+(b*Spb)+(c*Sm)+(d*Spo)+(e*Sf)
!on note [Gv]le coefficient des déperditions thermiques Gv=Di
Gv=Di
!Ti la température de confort
Ti=20;
!Pdprla puissance dissipé par personne
Pdpr=120;
!Npr nombre des occupants
Npr=5;
!la puissance des machines électroménagères
Pel=450;
!les températures ambiantes mensuelles à Bouira
Ta=[8.7,10,13.5,15.6,20.6,26.6,29.9,29.1,23.9,20,13.1,9.8];
!le nombre de jour de chaque mois
nj= [31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
!calcul des apports interne de la maison
```

```
Qi=(Pdpr*Npr)+Pel
!calcul de température sans chauffage Tsc
Tsc=Ti-(Qi/Gv)
!calcul de nombre des degrés des jours [ndj] et le besoin de chauffage [Qc] pour chaque mois
for   i= 1:12;
      if Tsc< Ta(i)
      dif(i)=0;
      ndj(i)=0;
else
     dif(i)=Tsc-Ta(i)
     ndj(i)=nj(i).*(Tsc-Ta(i))
end
    Qc(i)=0.024*Gv.*ndj(i)
end
```

Références bibliographiques

[01] FFB. 2010. *Les 100 mots de la construction durable.* [PDF] Paris : FFB, 2010.

[02] Salomon, Thierry et Bedel, Stéphane. 2004. *La maison des [néga]Watts: Le guide malin de l'énergie chez soi.* Mens : Terre vivante, 2004. 2-904082-77-8.

[03] De Béthencourt, Anne et Chorin, Jacky. 2013. *Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire.* Paris : Les éditions des JOURNAUX OFFICIELS, 2013. 978-2-11-120906-0/0767-4538.

[04] AITF. 2013. *Bâtiment Basse Consommation.* [PDF] Paris: AITF/EDF, 2013.

[05] EDIPA. Février 2010. Le mensuel du concepteur et de l'entreprise. *Chaud Froid Performance (CFP).* EDIPA, éd. parisiennes, Février 2010, 731.

[06] ÉCOCONSO. 2009. Les maisons bioclimatiques. *ÉCOCONSO.* ÉCOCONSO, 2009, 156.

[07] Lucuik, Mark, et al. 2005. *Analyse de rentabilité pour les bâtiments écologiques au Canada.* Ottawa : MORISON HERSHFIELD, 2005. 2052223.00.

[08] Salomon, Thierry. 2000. *Architecture solaire et conception climatique des bâtiments.* [PDF] Montpellier : l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME) et l'Ordre des Architectes, 2000.

[09] effinergie. 2008. *Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation.* Paris : TMG, 2008.

[10] DOMUS Matériaux Écologiques. *La maison bioclimatique.* [PDF] BRIVE : © DOMUS Matériaux Écologiques.

[11] Robertson, Keith et Athienitis, Andreas. 2012. *L'énergie solaire pour les bâtiments.* [PDF] CANADA : SCHL (Société canadienne d'hypothèques et de logement), 2012.

[12] Claude Altayrac & Aline Aublé. 2011. Le guide ultime de la fenêtre. *ma maison bioclimatique.* [En ligne] Claude Altayrac & Aline Aublé, 31 12 2011. [Citation : 19 07 2013.] http://www.mamaisonbioclimatique.fr/maison/le-guide-ultime-de-la-fenetre/.

[13] Dessons, Alix, Cambillau, Gilles et Dessons, David. 2011. *Vitrage et isolation des parois opaques.* [PDF] Paris : Raspail, 2011.

[14] Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie. 2003. *Guide pratique de la ventilation naturelle des habitations.* [PDF] Bruxelles : Fonds de Formation professionnelle de la Construction., 2003.

[15] Sidler, Olivier . Mai 2009. *Comment diviser par 2 sa consommation electrodomestique.* [PDF] FELINES sur RIMANDOULE : ENERTECH, Mai 2009. 090503.

[16] Boulkam Mourad, ≪Contribution à l'étude, la simulation et l'analyse des pompes à chaleur assistées par l'énergie solaire ≫Magister, Soutenu Le 02 /08./2008.

[17] R. Ben Habib, A. Aït-Mokhtar and F. Allard, 'Analyse Bioclimatique de l'Habitat Traditionnel des Régions Désertiques Nord Sahariennes', Conférence Européenne, Performance Energétique et Qualité des Ambiances dans le Bâtiment, Lyon, Novembre 1994.

[18] Document, 'Bonn, (AFP)', 04 juin 2004.

[19] Règlementation thermique des bâtiments d'habitation, Règles de calcul des déperditions calorifiques, Fascicule 1, D.T.R. C-32.

[20] J.Bernard, Energie solaire calculs et optimisation, édition ellipses, 2004.

[21] O.Buyukalaca, H.Bulut, T.Yilmaz, Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, Applied Energy 69 (2001) 269-283.