

Publique Algérienne Démocratique et Populaire.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme.

Laboratoire Architecture et Environnement.



Mémoire pour l'obtention du diplôme de
Master en Architecture

Option: Architecture et Environnement.

Intégration des systèmes d'économie d'énergie dans l'habitat en Algérie: « Cas des capteurs solaires thermiques »

Présenté et soutenu par :

Melle MOULAY Rym

Mémoire dirigé par:

Melle TIZOUIAR Ouahiba
(Maitre assistante à l'EPAU)
(- Doctorante-)

Devant le jury:

Présidente: Pr. N. Chabbi-Chemrouk, EPAU
Examineur: Dr. T. Baouni, EPAU
Examineur: Dr. H. Oubouchou, EPAU

Février 2016.

REMERCIEMENT

***Je remercie Dieu tout puissant, de m'avoir donner le courage pour accomplir ce
modeste travail***

Ce travail de recherche pour l'obtention du diplôme de Master en Architecture, dirigé par Madame TIZOUIAR Ouahiba, Doctorante, a été mené au laboratoire d'architecture et d'environnement à l'EPAU d'Alger.

Je remercie en premier lieu ma directrice du mémoire Mme TIZOUIAR , pour sa disponibilité, son suivi, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail de recherche.

Je tiens à remercier les membres de jury qui ont accepté de porter leur apport et leur intérêt à mon travail, j'espère que leurs remarques, critiques, orientations et conseils me seront très utiles pour la continuité dans le processus de recherche.

Un grand merci également à tous les enseignants et professeurs qui m'ont formé et légué tous les connaissances que j'ai acquis le long de mon parcours scolaire et universitaire.

Je remercie aussi Mr Taibi Hamza et Mr Bennoui Salah pour leur aides ainsi que toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A....

Mes chers parents pour leur sacrifices, leur amours, leur soutiens et leurs encouragements durant tous le processus de mes études et à accomplir ce travail, que dieu les protège pour moi et les procure une bonne santé et une longue vie . JE VOUS

AIME

Mes deux chères et adorables sœurs: Hayet , son mari Amine Sadi et leur petits anges

Mehdi et Lydia

Assia et son mari Mohamed Kheloufaoui

Aussi à un homme, une personnalité brillante, qui m'a toujours inspiré de ses qualités, son parcours, qui ne cesse de m'aider , me conseiller et m'encourager, il est pour moi un modèle et un deuxième père, il s'agit de mon cher oncle OUZZANI Fetah , sa femme

Kamila et ses deux filles Lyna et la petite Mayssa.

*À tous mes amis et plus particulièrement: ma chère copine et sœur Karima Nouasri
mes chers amis Mustapha Mougari , Tarek Cherfioui et Karim Frouhat .*

Je dédie aussi ce travail à mon ami Hamza Taibi de Constantine qui malgré la distance et les préoccupations n'a pas hésité de m'aider à utiliser le logiciel de simulation et à accomplir ma partie pratique du mémoire.

Table des matières :

Remerciement.....	i
Dédicace	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures, des tableaux et des graphes.....	viii
Résumé.....	xii
Abstract.....	xiii
ملخص.....	xiv

PREMIÈRE PARTIE: PARTIE INTRODUCTIVE

Introduction.....	1
I. Problématique	2
II. Hypothèses.....	3
III. Objectifs.....	3
IV. Méthodologie de la recherche.....	3
V. Structure du mémoire.....	4

**DEUXIÈME PARTIE : L'ÉNERGIE SOLAIRE ET SON UTILISATION DANS LE
BÂTIMENT**

**CHAPITRE (I): L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE FACE AU DÉVELOPPEMENT
DURABLE**

Introduction	8
I.1- Ressources énergétiques.....	9
I.1.1- L'énergie primaire.....	9
I.1.2- L'énergie finale.....	9

I.2- Consommation énergétique	10
I.2.1- Consommation énergétique mondiale.....	10
I.2.1.1- Contexte.....	10
I.2.1.2- Consommation énergétique mondiale par secteur.....	11
I.2.2- Consommation énergétique en Algérie.....	12
I.2.2.1- Consommation énergétique par type d'énergie.....	13
I.2.2.2- Consommation énergétique par secteur.....	14
I.3- L'énergie face au développement durable.....	15
I.4- La maîtrise de l'énergie et le contexte réglementaire en Algérie	17
Conclusion	21

CHAPITRE (II): ETAT DE L'ART DES SYSTÈMES SOLAIRES THERMIQUES

Introduction.....	23
II.1 - L'énergie solaire comme énergie renouvelable.....	24
II.2- Mode de calcul , installation et exigences techniques du solaire thermique.....	26
II.2.1-Les capteurs solaires.....	26
II.2.1.1- Principe de fonctionnement d'un capteur solaire.....	26
II.2.1.2- Principaux composants des capteurs solaires	27
II.2.1.3- Les types de capteurs solaires.....	28
II.2.1.4- Orientation et raccordement des capteurs.....	30
II.2.1.5- Rendement d'un capteur solaire.....	32
II.2.2- Le chauffe-eau solaire.....	34
II.2.2.1- Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.....	34
II.2.2.2- Les différents types de chauffe-eau solaire.....	35
II.2.2.3-Les différents systèmes de production d'ECS collective.....	37
II.2.3- le chauffage solaire.....	39
II.2.3.1-Les différents types de chauffage solaire.....	39
II.2.4.2- Les systèmes solaires combinés.....	41

II.3- L'intégration architecturale des capteurs solaires.....	42
II.3.1- Les capteurs en toiture inclinée.....	43
II.3.2- Les capteurs en toiture terrasse.....	44
II.3.3- Les capteurs sur paroi verticale (façade).....	44
Conclusion.....	45

CHAPITRE (III): *ETAT DE FABRICATION ET D'UTILISATION DES SYSTÈMES SOLAIRES THERMIQUES*

Introduction.....	48
III.1-Fabrication et utilisation des équipements solaires en Algérie.....	49
III.1.1- Programme Alsol.....	50
III.1.2- Programme Eco-Bat.....	51
III.2- Etude des exemples.....	52
III.2.1- Exemple international.....	53
III.2.1.1- Choix et présentation du projet.....	53
III.2.1.2- Concept « de la passivité à la positivité ».....	54
III.2.1.3- Répartition des consommations et apports du projet.....	56
III.2.2- Exemple national: la maison prototype à Suidania, Alger.....	56
III.2.2.1- Situation géographique du projet.....	56
III.2.2.2- Description du projet	57
III.2.2.3- plancher chauffant solaire et principe de fonctionnement.....	59
Conclusion.....	61

TROISIÈME PARTIE : *Effet de l'intégration des capteurs solaires dans un bâtiment existant*

CHAPITRE (IV): *PRÉSENTATION DU BATIMENT CHOISI ET MÉTHODOLOGIE DE LA SIMULATION THERMIQUE*

Introduction.....	63
IV.1- Présentation de cas pour étude.....	64
IV.2- Présentation de la ville Blida.....	65
IV.3- Le climat de la ville de Blida.....	65
IV.3.1- Les données climatiques de la ville de Blida.....	65
IV.3.1.1- Les températures.....	66
IV.3.1.2- Les précipitations	66
IV.3.1.3- L'humidité relative.....	67
IV.3.1.4-Le vent.....	68
IV.2.2-Conclusion de l'analyse climatique.....	68
IV.4- Organisation et composition de l'appartement étudié.....	69
IV.5- Environnement de simulation TRNSYS.....	72
IV.4.1- La simulation dynamique.....	72
IV.4.2- Le logiciel de simulation thermique TRNSYS.....	73
IV.4.3-Les démarches de la simulation thermique du cas pour étude.....	75
IV.6- Evaluation des besoins énergétiques en chauffage du cas pour étude.....	76
Conclusion.....	79

CHAPITRE (V): INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE LA SIMULATION THERMIQUE

Introduction	81
V.1 – Dimensionnement de la boucle solaire.....	82
V.1.1- Surface du capteur solaire	82
V.1.2- Calcul du volume du ballon du stockage	83
V.2- L'installation solaire thermique adaptée au cas pour étude	84
V.3- Résultats de simulation	86
V.3.1- Variation de température	86
V.3.2- Les besoins en chauffage.....	88

V.3.3- Comparaison des besoins énergétiques.....	89
V.3.4- L'impact sur l'environnement.....	89
V.4- L'intégration architecturale des capteurs solaires.....	90
Conclusion.....	92
Conclusion générale.....	93
Bibliographie	
Annexe	

LISTE DES FIGURES

Figure (1): Chaîne énergétique

Figure(2): Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, Période 1992 – 2002

Figure(3): Schéma explicative d'un capteur solaire

Figure (4): Coupe d'un capteur solaire type

Figure (5): Capteur solaire plan vitré

Figure (6): Capteur plan sous vide

Figure (7): Schéma de raccordement en série et en parallèle

Figure (8): Schéma de raccordement mixte

Figure (9): Schéma des apports solaires et des pertes thermiques

Figure (10): Schéma de fonctionnement d'un chauffe eau solaire.

Figure (11): Le chauffe- eau solaire à circulation naturelle sans échangeur de chaleur

Figure (12): Le chauffe-eau solaire en thermosiphon avec échangeur

Figure (13): Le chauffe eau avec circulateur avec échangeur à l'intérieure de réservoir de stockage

Figure (14): Le chauffe eau avec circulateur et échangeur à l'extérieur du réservoir stockage

Figure (15): Schéma de principe de la production centralisée

Figure (16): Schéma de principe de la production décentralisée avec appoint individuel

Figure (17): Schéma de principe de stockage individualisé avec appoint intégré

Figure (18): Plancher solaire

Figure (19): Schéma d'un chauffage central solaire

Figure (20): Schéma d'un chauffage solaire de l'air

Figure (21): Schéma de fonctionnement d'un système solaire combiné

Figure (22): Installation du capteur sur une toiture à forte inclinaison

Figure(23): Installation du capteur sur une toiture inclinée respectant l'axe de la fenêtre

Figure (24): Installation des capteurs solaires sur une toiture terrasse Solaire thermique dans le collectif

Figure (25): Installation des capteurs solaire sur façade

Figure (26): Chauffe-eau avec capteur sous vide importé de la Chine

Figure (27): Chauffe-eau avec capteur sous vide importé de France

Figure (28): Situation géographique du projet « résidence les Héliades »

Figure (29): L'orientation des deux bâtiments de la résidence « les Héliades ».

Figure (30): L'installation des capteurs solaires au niveau de la toiture

Figure (31): Schéma du chauffage et de production d'eau chaude sanitaire à travers les capteurs solaires.

Figure (32): Coupe transversale du projet montrant le comble

Figure (33): Situation géographique de la maison à l'intérieur du CNERIB

Figure (34): Vue du côté Sud et du côté Est de la maison prototype étudiée

Figure (35): Plan de la maison

Figure (36): Schéma descriptif de l'installation

Figure (37) : Pose du serpentin (chambre 1)

Figure (38): Pose du serpentin sur l'ensemble de la maison

Figure (39): coupe suivant l'axe Nord-sud

Figure(40): coupe suivant l'axe Est-ouest

Figure (41): Situation géographique du cas pour étude

Figure (42): L'aspect extérieur de l'immeuble

Figure (43): Situation géographique de la wilaya de Blida

Figure (44): Plan de l'appartement

Figure (45): l'interface du logiciel TRNSYS 16

Figure (46): Schéma d'installation avant l'intégration des capteurs solaires effectué par TRNSYS

Figure (47): Interface de TRNBUILD

Figure (48) : l'appartement étudié en tant qu'une seule zone thermique

Figure (49): Schéma de principe de stockage individualisé

Figure (50): Schéma de l'installation solaire thermique de l'appartement étudié

Figure (51): Schéma d'installation solaire thermique par TRNSYS

Figure (52): Plan terrasse du bâtiment avec l'installation des capteurs solaires

Figure (53): L'emplacement des capteurs solaires sur la terrasse du bâtiment

Figure (54): l'installation des capteurs solaires sur la façade et en auvent

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Potentiel solaire en Algérie

Tableau (2): Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison

Tableau (3) :Table climatique de Blida

Tableau (4): Les recommandations de construction selon le diagramme de Givoni

Tableau (5): l'orientation des différents espaces

Tableau (6): Matériaux constituant un mur extérieur orienté Est

Tableau (7): Matériaux constituant un mur extérieur orienté Sud

Tableau (8): Matériaux constituant un voile orienté Nord

Tableau (9): Matériaux constituant un plancher haut

Tableau (10): Matériaux constituant un plancher bas

LISTE DES GRAPHERS

Graphe (1): Le mix énergétique mondial de 1990 à 2035

Graphe (2): Prospective de l'évolution de la demande en énergie finale du secteur des bâtiments dans le monde

Graphe (3): Répartition de la consommation nationale par forme d'énergie

Graphe (4): Répartition de la consommation finale par secteur d'activité

Graphe (5): Situation énergétique prévisionnelle du projet des Héliades

Graphe(6) : Répartition des consommations et apport du projet

Graphe (7): Courbe de température moyenne de Blida

Graphe (8): Digramme climatique de Blida

Graphe (9): Taux d'humidité par rapport à la température

Graphe (10): La vitesse moyenne du vent durant la journée

Graphe (11): Diagramme de Givoni effectué par le logiciel climate consultant 5.3

Graphe (12): Variation des températures (intérieures et extérieures) annuelles sans chauffage ni climatisation

Graphe (13) : L'évolution mensuelle des besoins énergétiques en chauffage et climatisation

Graphe (14): variation de la fraction solaire selon l'augmentation de la surface de capteur

Graphe (15) : Variation de la température de stockage pour différents volumes

Graphe (16): variation de la température annuelle avant l'intégration d'un chauffage solaire

Graphe (17): variation de la température annuelle après l'intégration d'un chauffage solaire

Graphe (18): Variation saisonnière du bilan d'énergie solaire et d'auxiliaire

Graphe (19): Comparaison entre la consommation d'énergie avant et après l'intégration des capteurs solaires

Graphe (20): La quantité saisonnière de CO₂ dégagé en (Kg)

Résumé :

Le monde dans ces derniers décennies a reconnu une demande excessive d'énergie fossile suite à un développement technologique, industriel et démographique. Cependant, un danger de pollution apparait par l'émission du gaz carbonique dans l'atmosphère produisant le phénomène d'effet de serre et causant le réchauffement climatique. Ce qui conduit le monde en général et l'Algérie en particulier à chercher des sources énergétiques inépuisables et renouvelables notamment l'énergie solaire afin de résoudre le problème de maîtrise d'énergie dans les différents secteurs et précisément le secteur résidentiel qui est considéré comme le secteur le plus énergivore.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la réduction de la consommation d'énergie dans le bâtiment à partir d'une évaluation des besoins en chauffage d'un appartement de type (F3), qui fait parti d'un immeuble collectif situé dans la ville de Blida (Algérie) et occupé par une famille moyenne de cinq personnes.

Cette étude est basée sur une simulation dynamique thermique effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS, qui nous permet dans un premier temps d'évaluer les besoins mensuels de chauffages classique utilisé dans cet appartement. Dans un second temps, une intégration des capteurs solaires thermiques est effectué, qui servent à produire de la chaleur, la simulation thermique est refaite pour la deuxième fois afin de réévaluer les besoins énergétiques de chauffages et déduire la réduction de consommation d'énergie par rapport à la première simulation.

Mots clés: énergie fossile, effet de serre, énergie solaire, maîtrise d'énergie, secteur résidentiel, TRNSYS, capteurs solaires thermiques.

Abstract :

The world in recent decades recognized excessive demand for fossil energy following a technological development, industrial and demographic. However, a danger of pollution appears through the issue of carbon dioxide in the atmosphere that produce the greenhouse effect phenomenon and causing global warming. Which leads the world in general and Algeria in particular to look inexhaustible and renewable energy sources such as solar energy to solve the problem of mastery's energy in different sectors and specifically the residential sector, which is considered the most energy sector.

The objective of this study was to evaluate the reduction of energy consumption in building from a study of the heating requirements of an apartment type F3, which is a party of apartment building located in the city of Blida (Algeria) and occupied by an average family of five people.

This study is based on a dynamic thermal simulation performed using the TRNSYS software, which allows us initially to assess the monthly needs of conventional heaters used in this apartment. Secondly, the integration of solar thermal collectors was made, which are used to produce heat, thermal simulation was remade for the second time to re-evaluate the energy needs of heaters and deduce the energy consumption reduction compared to the first simulation.

Keywords: fossil fuel, greenhouse, solar energy, mastery of energy, residential sector, TRNSYS, solar thermal collectors.

ملخص :

لقد عرف العالم طلب مفرط على الطاقة الأحفورية في العقود الأخيرة وهذا يعود إلى التطور التكنولوجي، الصناعي والديموغرافي. إلا أن خطر التلوث قد ظهر من خلال إصدار ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي التي تنتج ظاهرة الاحتباس الحراري وتتسبب في ظاهرة الاحتباس الحراري. و هذا ما قاد العالم بشكل عام والجزائر بشكل خاص إلى البحث عن مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية لحل مشكلة ترشيد الطاقة في مختلف القطاعات وخاصة في القطاع السكني، الذي يعتبر القطاع الأكثر استهلاكاً للطاقة.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الحد من استهلاك الطاقة في المبنى من خلال دراسة متطلبات التدفئة للشقة من نوع F3، الموجودة في مبنى سكني يقع في مدينة البليدة (الجزائر) والتي تشغلها أسرة متوسطة متكونة من خمسة أشخاص.

تستند هذه الدراسة على المحاكاة الديناميكية الحرارية المنفذة باستخدام برنامج TRNSYS، والذي يسمح لنا في البداية بتقييم الاحتياجات الشهرية للتدفئة المعتمدة على الأسلوب التقليدي، المستخدمة في هذه الشقة. ثانياً، تزويد الشقة بخلايا حرارية شمسية، والتي تستخدم لإنتاج الحرارة، ونعيد المحاكاة الحرارية للمرة الثانية لإعادة تقييم احتياجات الطاقة للتدفئة واستنتاج انخفاض في استهلاك الطاقة مقارنة بالمحاكاة الأولى.

الكلمات الرئيسية: الطاقة الأحفورية، الاحتباس الحراري، الطاقة الشمسية، ترشيد الطاقة ، القطاع السكني،

TRNSYS، خلايا الطاقة الشمسية الحرارية.

Première partie :

Partie introductive

Introduction:

La consommation énergétique dans le monde entier a connu une augmentation appréciable causée principalement par l'augmentation de la population et l'industrialisation massive qui conduit à une consommation irrationnelle des énergies, et donc un épuisement inévitable des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon...). Cette crise énergétique touche récemment plusieurs pays notamment l'Algérie, qui souffre d'une échéance proche de l'épuisement des énergies fossiles plus précisément le pétrole.

Dans le cadre du développement durable, face au double enjeu posé par l'épuisement de ces énergies d'origine fossile et les problèmes posés vis-à-vis du respect et de la protection de l'environnement, poussant au développement d'autres sources d'énergie notamment le lancement d'un programme du développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (EnR)¹ par le gouvernement algérien dans le cadre d'un développement économique durable.

L'Algérie s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problèmes de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile. Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel en énergie solaire, qui constitue l'axe majeur du programme et qui est consacré au solaire thermique et au solaire photovoltaïque d'une part essentielle.

Ce programme va être consacré à plusieurs secteurs: l'industrie, le transport, l'éclairage public mais plus précisément le secteur du bâtiment. Dans le même objectif, une grande partie des travaux menés par le CNERIB (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment) dans le cadre d'un projet de recherche intitulé «Mise en place de procédures de contrôle de l'efficacité énergétique des bâtiments »²

¹ « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Mars 2011, portail algérien des énergies renouvelables

² Amirat. M et El Hassar. S.M.K (2005) , "Economies d'Energie dans le Secteur de l'Habitat Consommation Electrique des Ménages - Cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver – », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 27 – 37, p. 28

afin d'apprécier les niveaux réels de consommation énergétique des logements et d'identifier les meilleurs axes d'intervention qui permettront de diminuer la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment réputé être parmi les secteurs les plus gros consommateurs d'énergie.

C'est dans cette optique que notre travail s'inscrit en mettant en relief l'étude des besoins énergétiques du chauffage d'un appartement qui fait partie d'un immeuble collectif, et on intègre les capteurs solaires thermique afin d'évaluer la réduction de consommation énergétique tout en exploitant l'énergie solaire dans le bâtiment.

I. Problématique:

La diffusion de la crise énergétique dans le monde a favorisé l'utilisation des systèmes basés sur les énergies renouvelables davantage dans les bâtiments que dans les autres secteurs, en construisant des bâtiments à basse consommation énergétique voire bâtiment à énergie positive.

En Algérie, le secteur du bâtiment pose encore ce problème de consommation énergétique qui est de l'ordre de 47% de l'énergie produite, et est responsable de 25% des émissions de gaz à effet de serre ³. Face aux changements climatiques qui en découlent et aux problèmes environnementaux, il est aujourd'hui impératif et urgent de réduire les consommations d'énergie et de développer dans le bâtiment des solutions énergétiques tout en substituant aux énergies fossiles des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire. Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur la réduction de consommation d'énergie dans le bâtiment tout en exploitant les énergies renouvelables et plus précisément l'énergie solaire. A travers cette recherche nous allons essayer de répondre à la problématique suivante:

➤ L'intégration des capteurs solaires thermiques au niveau du bâtiment pourra-t-elle apporter une réduction de la consommation énergétique?

³ « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Mars 2011, portail algérien des énergies renouvelables

- Quelles sont les exigences architecturales et techniques des systèmes solaires thermiques afin de répondre aux besoins énergétiques du bâtiment en Algérie ?

II. Hypothèses :

Pour répondre à la problématique posée, on a construit les hypothèses suivantes :

- L'intégration des capteurs solaires thermiques peut apporter une réduction de la consommation d'énergie dans le bâtiment vu le grand potentiel solaire en Algérie.
- Les nouveaux systèmes basés sur le solaire thermique permettent de couvrir les demandes énergétiques des ménages en Algérie.
- Le choix de l'orientation, le raccordement ainsi que la surface de capteur et leur intégration au sein des bâtiments sont les principales exigences de l'utilisation des systèmes solaires.

III. Objectifs :

Afin de situer le problème de maîtrise d'énergie dans les bâtiments à caractère résidentiel et plus particulièrement notre cas pour étude. Notre recherche a pour objectif principal d'intégrer un nouveau système d'économie d'énergie basé essentiellement sur le solaire thermique afin de remplacer la production classique de la chaleur au sein des bâtiments résidentiels, d'évaluer et de vérifier leur rendement minimal, mais aussi de sensibiliser les acteurs responsables sur la réalisation des bâtiments à l'importance de la réduction de la consommation énergétique en utilisant des systèmes d'énergie solaire. Cette étude peut être également un guide pour les étudiants en architecture et les architectes afin de concevoir des bâtiments performants en terme énergétique et confortable sur le plan thermique

IV. Méthodologie de la recherche:

Notre recherche est structurée en deux phases:

- La 1ère concerne l'état de l'art: il s'agit d'introduire le thème de recherche à travers l'étude de l'efficacité énergétique dans le monde et en Algérie, de traiter l'intégration

architecturale des systèmes basés sur le solaire thermique mais aussi de définir le mode de calcul et d'installation ainsi que les exigences de chaque système.

➤ La 2ème étape pratique: elle s'appuie sur l'usage d'une simulation dynamique thermique à l'aide du logiciel TRNSYS sur une habitation existante qui répond à une architecture de climat méditerranéen, afin d'évaluer les besoins énergétiques de l'appartement avant et après l'intégration des capteurs solaires thermiques et faire la comparaison entre les résultats pour déduire la réduction de la consommation d'énergie après l'exploitation de l'énergie solaire.

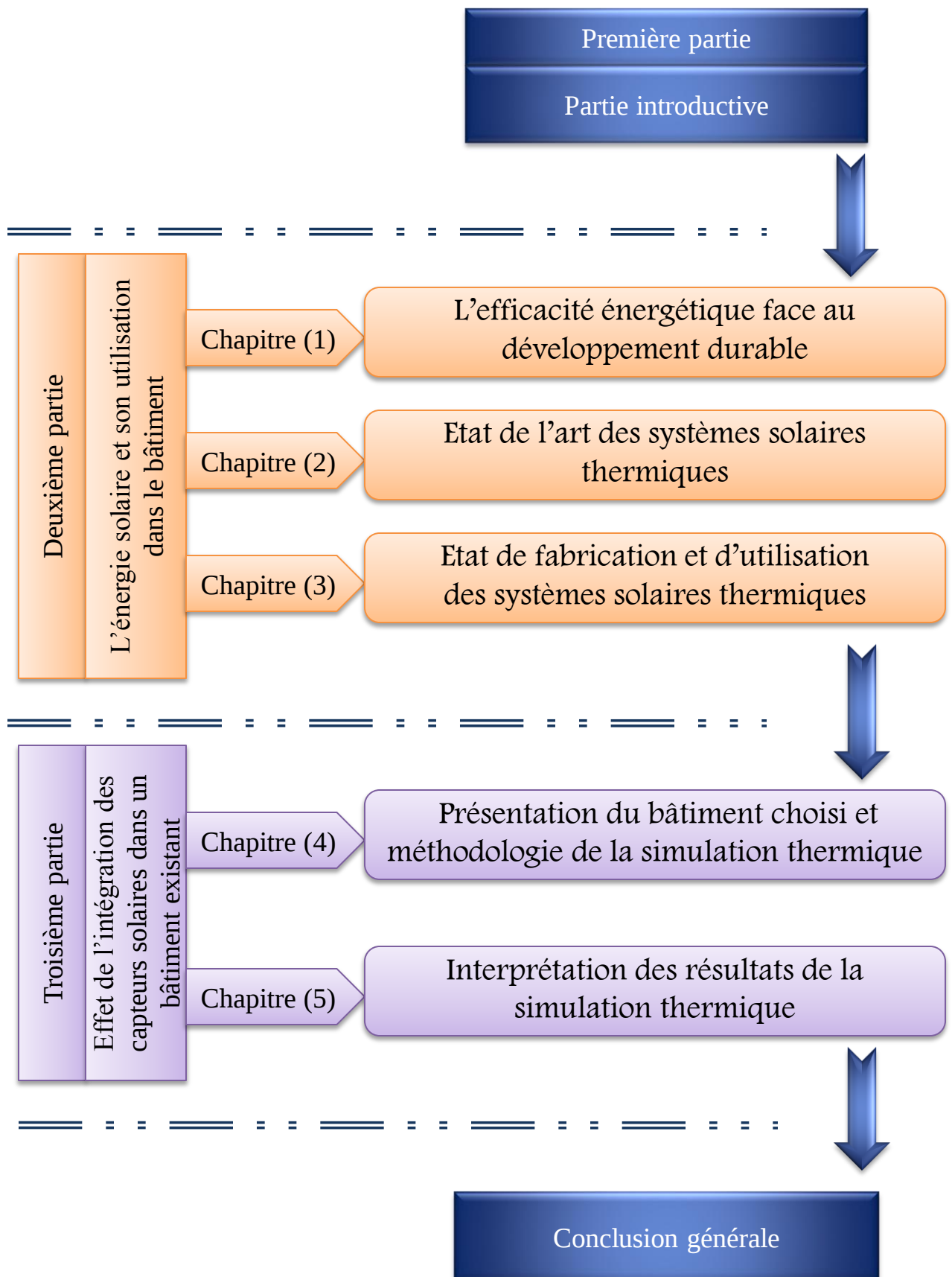
V. Structure du mémoire:

Ce travail est composé de trois parties:

- La partie introductive comporte l'introduction, la problématique de la recherche, les hypothèses, les objectifs ainsi que la méthodologie de la recherche.
- La première partie se compose de trois chapitres, le premier chapitre est consacré à l'élaboration d'un bilan de la consommation énergétique des différents secteurs dans le monde et en Algérie et son évolution, puis la stratégie nationale de maîtrise d'énergie et son contexte réglementaire. Le deuxième chapitre consiste à traiter le côté technique des systèmes solaires thermiques: le chauffage et le chauffe-eau sanitaire, notamment: leurs différents types, systèmes d'installation, principes de fonctionnement, etc. puis l'intégration architecturale de ces systèmes dans les bâtiments. Quant au troisième chapitre, nous y présentons le système de fabrication et d'utilisation des équipements solaires en Algérie et nous analysons un exemple international et un autre, national afin de mieux comprendre l'exploitation de l'énergie solaire, son utilisation dans les bâtiments collectifs et son rendement sur la maîtrise d'énergie et sur l'environnement.
- La deuxième partie comprend deux chapitres, le premier chapitre consiste à présenter le cas pour l'étude choisie, à analyser les données climatiques de la ville et finalement à présenter la méthodologie de la simulation thermique utilisée. Le deuxième chapitre comprend l'interprétation et la comparaison des résultats, dont le but est de déduire la réduction de la consommation d'énergie après l'utilisation des capteurs

solaires thermiques dans le bâtiment.

La conclusion générale synthétise les résultats tirés de cette recherche, les recommandations architecturales et techniques afin de renforcer l'exploitation des énergies renouvelables en Algérie, réduire le maximum de consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et au même temps protéger notre environnement habité.



Deuxième partie :

L'énergie solaire et son
utilisation dans le bâtiment

Deuxième partie :

L'énergie solaire et son
utilisation dans le bâtiment

Chapitre (I):

L'efficacité énergétique face au
développement durable

Introduction:

La production de l'énergie sous toute ses formes occupe actuellement des débats économiques et politiques. Sa production est stratégique pour le développement d'une nation vu qu'elle est indispensable à la satisfaction des besoins quotidiens des êtres humains, elle est utilisée sous différentes formes notamment: mécanique, thermique, chimique, électrique et nucléaire, permettant à chacune des utilisations différentes. cette énergie est aussi utilisée par le secteur du bâtiment pour répondre à ses multiples besoins et confort (éclairage, cuisson, chauffage, climatisation, etc.)

En effet, l'énergie est majoritairement basée sur les combustibles fossiles (gaz, pétrole et charbon), ces énergies ne sont pas renouvelables et sont appelées à s'épuiser à moyen terme. Ainsi ces énergies fossiles émettent des gaz responsables de l'accroissement avéré de l'effet de serre et des changements climatiques qui représentent, sans aucun doute les plus grands enjeux de l'humanité.

I.1- Ressources énergétiques:

I. 1.1- L'énergie primaire:

L'énergie primaire est l'énergie disponible dans l'environnement et directement exploitable sans transformation. Etant donné les pertes d'énergie à chaque étape de transformation, stockage et transport, la quantité d'énergie est toujours supérieure à l'énergie finale disponible. Elle peut être classée selon trois groupes: les énergies fossiles, les énergies nucléaires et les énergies renouvelables.

I.1.2- L'énergie finale:

L'énergie finale est l'ensemble des énergies délivrées, prêtes à l'emploi. Cette énergie n'est qu'une fraction de l'énergie primaire initiale, une fois que celle-ci a été transformée en énergie secondaire, stockée, transportée et en fin distribuée au consommateur final qui lui est facturée.

De part la diversité de ses usages, l'énergie finale adopte de multiples formes: énergie électrique, énergie thermique, énergie mécanique, etc.

La chaîne énergétique reliant l'énergie primaire et l'énergie finale est présentée par la figure (1)⁴.

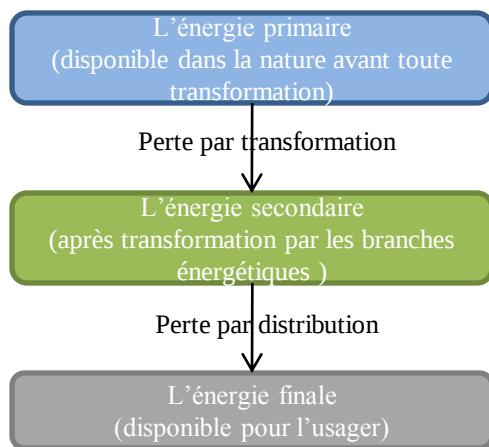


Figure (1): chaîne énergétique. (source: Grignon Masse (2010), « Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été: cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine ». Thèse de Doctorat, l'école nationale supérieure des mines de Paris, p.305)

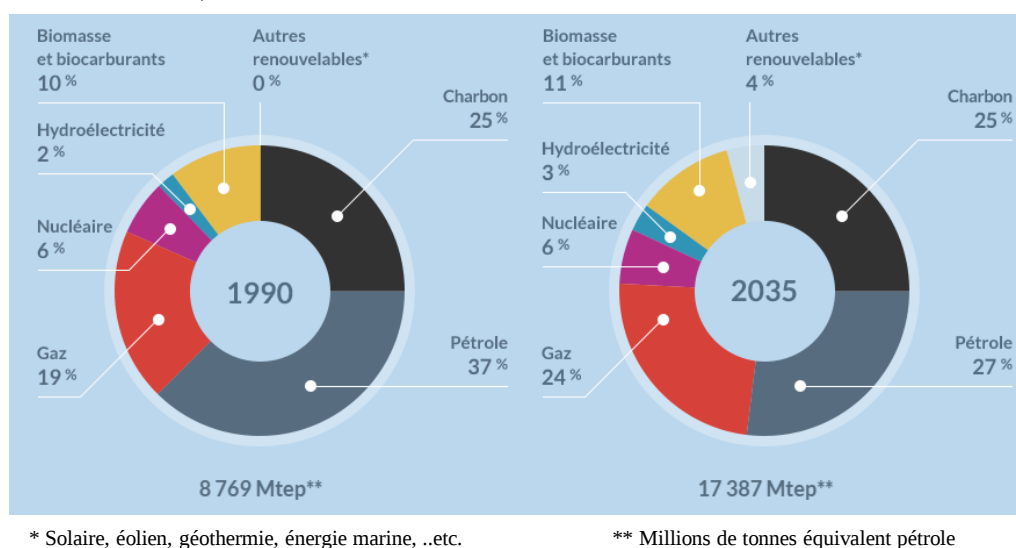
⁴ Grignon Masse (2010), « Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été: cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine ». Thèse de Doctorat, l'école nationale supérieure des mines de Paris, p.305

I.2- Consommation énergétique :

I.2.1- Consommation énergétique mondiale:

I.2.1.1- Contexte:

L'énergie est un enjeu vital au niveau mondial. Aujourd'hui, plus que jamais, les besoins en énergie de l'humanité sont colossaux et en constante augmentation. Ainsi, la consommation d'énergie primaire (l'énergie qu'il faut transformer avant de la consommer), a fait un bond de 49 % en vingt-cinq ans (1980-2005). Cette progression, un temps ralentie par les difficultés économiques des années 1990, reprend de plus belle depuis le début du siècle (+ 21 % entre 1980 et 1989, + 7 % entre 1989 et 1997, + 14 % entre 1997 et 2005). L'énergie primaire consommée chaque jour dans le monde provient en grande partie de matières premières que l'on extrait du sous-sol (pétrole, gaz, charbon, uranium)⁵.



Graphique (1): Le mix énergétique mondial de 1990 à 2035

(source: AIE, 09 Feb 2015)

L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) a élaboré plusieurs scénarios de l'évolution prévisible du mix énergétique⁶ d'ici 2035, voir le graphe (1).

⁵ AIE (Agence Internationale d'Energie), 2013, consulté le : 21 mars 2015, <http://www.iea.org/>

⁶ Le mix énergétique, décrit la répartition des différentes sources d'énergies utilisées pour la consommation énergétique d'un territoire.

Le scénario moyen « New policiers scenario » met en évidence l'augmentation de la demande en énergie primaire, qui passe de 13 000 Mtep⁷ en 2011 à 17 400 en 2035. La part des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) restera largement dominante : elle passerait de 81 % en 2011 à 76 % en 2035. Les énergies renouvelables (y compris hydraulique et biomasse) seront en croissance : de 13 % en 2011 à 18 % en 2035.

Plusieurs facteurs expliquent cette évolution de la demande mondiale en matière d'énergie. Tout d'abord, les pays émergents comme la Chine ou l'Inde connaissent une croissance économique soutenue. Dans la région Asie-Pacifique, la demande en gaz naturel croît de plus de 6 % par an.

Quant à la demande de pétrole, elle devrait augmenter trois fois plus vite que celle des pays de la zone OCDE⁸, pour atteindre près de la moitié de la demande totale de pétrole à l'horizon 2030 (contre 13 % en 1970). Ensuite, de nombreux secteurs d'activité ont une consommation d'énergie importante. En premier lieu, les transports, et notamment le transport routier, dont la part de demande finale de produits pétroliers devrait progresser de 50 % en 2000 à 60 % en 2030. Ensuite, le secteur résidentiel/tertiaire qui représente 38 % de la consommation de gaz naturel en Europe (30 % au niveau mondial) ; l'industrie avec 34 % (25 % au niveau mondial) ; le secteur électrique qui d'ici 2020 devrait absorber 35 % du gaz commercialisé chaque année, contre 30 % aujourd'hui, avec une demande importante de la part des pays émergents⁹.

I.2.1.2- Consommation énergétique mondiale par secteur:

• Secteur résidentiel:

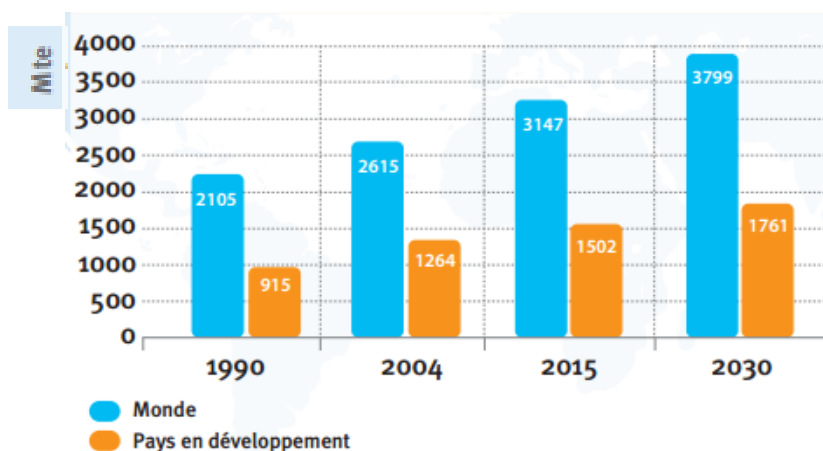
Le secteur des bâtiments (résidentiel et tertiaire) représente aujourd'hui un peu plus du tiers de la consommation mondiale en énergie finale. Dans l'ensemble des pays en développement, la part de sa consommation dépasse 40%. Selon le scénario de

⁷ Mtep= Millions de tonnes équivalent pétrole.

⁸ L'OCDE = (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) est née en 1960 par 18 pays européens, les États-Unis et le Canada pour unir leurs forces et fonder une organisation vouée au développement économique.

⁹ AIE (2013), consulté le : 21 mars 2015 , <http://www.iea.org/>

référence de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), la consommation d'énergie finale des bâtiments dans le monde pourrait atteindre environ 3 800 millions de tonnes équivalent pétrole en 2030, dont environ la moitié (1800 Mtep) proviendrait des pays en développement, comme montre le graphe (2) ci-dessous.¹⁰



Graphe (2): Prospective de l'évolution de la demande en énergie finale du secteur des bâtiments dans le monde (source: AIE 2015)

• Secteur du transport:

Le secteur de transport représente 27% de la consommation énergétique mondiale en 2008. cette consommation augmente de 1.4% par an de 2008 à 2035, passant de 98.2 quadrillion Btu en 2008 à 142.1 quadrillion Btu en 2035.

• Secteur industriel:

L'énergie utilisée dans ce secteur évolue de 2% par an dans les pays non-OCDE comparées à 0.5% par an dans les pays d'OCDE, cette consommation augmente de 191 quadrillion Btu en 2008 à 288 quadrillion Btu en 2035.¹¹

I.2.2- Consommation énergétique en Algérie:

La forte demande actuelle de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en

¹⁰ « Les enjeux énergétiques dans la construction, une consommation majeure à l'échelle mondiale », La mise en place de la réglementation thermique et énergétique en Tunisie, novembre 2010,

¹¹ AIE 2011. consulté le : 21 mars 2015 , <http://www.iea.org/>

découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles.

La consommation nationale d'énergie est passée à près de 56 millions de TEP en 2014, soit une croissance de plus de 5% par rapport à 2013, tirée notamment par celle des industries énergétiques et des ménages. Cette croissance a touché l'ensemble des produits, comme indiqué ci-dessous :

- produits raffinés (+3%) à 18 millions de tonnes ; gaz naturel (+12%) à 38 milliards m³ ; - électricité (+9%) à 59 TWh².

I.2.2.1- Consommation énergétique par type d'énergie:

La consommation nationale par type d'énergie est délivrée par le ministère de l'énergie et des mines (MEM) pour l'année 2013 comme suit:

• Produits pétroliers :

L'année 2013 a été marquée par une augmentation sensible de la consommation des produits pétroliers notamment les carburants terre de 15 134 Ktep en 2012 à 15 967 Ktep en 2013 et qui est estimée par un pourcentage de 5.5%, cette hausse est favorisée, par l'augmentation sensible du parc automobile.

Ces produits sont utilisés dans des usages multiples et différents et presque dans tous les secteurs d'activité (la production de chaleur pour l'industrie, le chauffage pour les ménages, le tertiaire et le transport..)

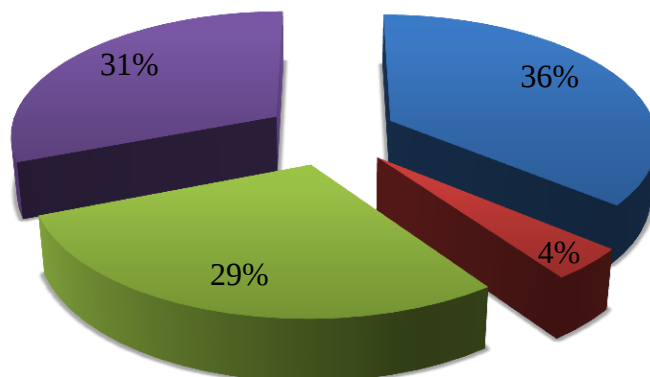
• Gaz naturel :

La consommation finale du gaz naturel a connu un taux de croissance de 17 563 Ktep en 2012 à 18 623 Ktep en 2013 et donc par un pourcentage d'augmentation de 6%. Cette augmentation est due essentiellement à la forte usage de chauffage en hiver.

• L'électricité :

La consommation finale de l'électricité a augmenté de 14 455 Ktep en 2012 à 15073 Ktep en 2013 et donc par un pourcentage de 4.3%. La consommation d'électricité en Algérie a été en forte progression notamment dans le secteur résidentiel à cause de la croissance démographique élevée, l'amélioration du niveau de vie et le phénomène de l'urbanisation qui est de plus en plus important.

■ gaz naturel ■ GPL ■ électricité ■ produits pétroliers



Graphique (3): Répartition de la consommation nationale par forme d'énergie
(source: Bilan énergétique national de l'année 2013. édition 2014)

La structure de la consommation nationale d'énergie reste dominée, comme indiqué dans le graphique (3) ci-dessus, par le gaz naturel (35%), suivi par les produits pétroliers (30%) et l'électricité (28%).

Elle a connu une croissance de +5,4% en 2013 pour atteindre 53,3 Mtep, tirée notamment par une hausse de la consommation du gaz naturel (+6,0%), des produits pétroliers (+5,5%) et de l'électricité (+4,3%).

I.2.2.2- Consommation énergétique par secteur:

La consommation nationale par type d'énergie est délivrée par le ministère de l'énergie et des mines (MEM) pour l'année 2013 comme suit:

- **Secteur industriel:**

La consommation du secteur «Industries et BTP» a connu une hausse de (+ 3,7%) pour atteindre 8,2 Mtep , tirée par la consommation des industries manufacturières (+7,0%) et des matériaux de construction (+5,3%).

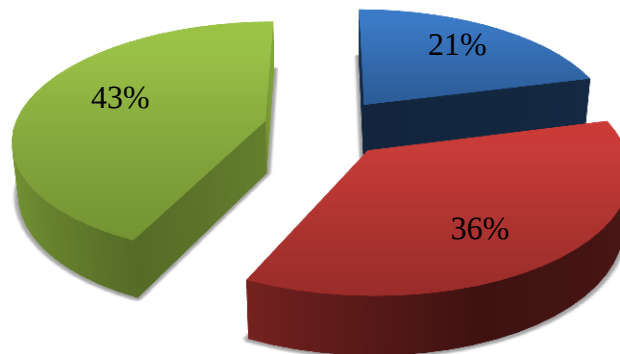
- **Secteur du transport :**

Le taux du croissance annuel moyen de la consommation finale du secteur des «transports » s'est accrue de 3,9% en 2013, pour atteindre 13,9 Mtep, du essentiellement à la croissance de la consommation du transport routier (+4%).

- **Secteur des ménages et autres:**

La consommation des «Ménages et autres» a atteint 16,4 Mtep en 2013, reflétant une forte hausse de (+9%), tirée par l'accroissement de la consommation du résidentiel. Ce qui est expliqué par les efforts d'électrification et d'amélioration du confort des ménages en matière d'équipements et d'appareils.

■ industrie ■ transport ■ ménages et autres



Graphique (4): Répartition de la consommation finale par secteur d'activité
(source: Bilan énergétique national de l'année 2013. édition 2014)

La structure de la consommation nationale d'énergie par secteur d'activité reste dominée, par le secteur du transport (36%), suivi par le secteur des ménages et autres (43%) et dernièrement le secteur d'industrie (21%) comme indiqué dans le graphe (4) ci-dessus.

I.3- L'énergie face au développement durable:

Le concept de développement durable est un modèle de développement qui a pour but la satisfaction des besoins fondamentaux de l'humanité (produit industriels, énergie, nourriture, transport, abri...)et la gestion rationnelle et efficace des ressources, tout en conservant et protégeant la qualité environnementale. Ce concept appliqué à la conception architecturale, à la construction, et à l'exploitation des bâtiments, permet d'augmenter le bien-être des populations, de réduire la facture

énergétique et de garantir un environnement de qualité pour l'humanité.

En effet, favoriser le développement durable, c'est réintroduire le long terme par le développement énergétique durable qui peut être défini comme l'art de concilier deux exigences¹²:

- ✓ la satisfaction des besoins énergétiques actuels, liés au confort et au développement économique
- ✓ le respect de l'environnement et la préservation des ressources et de la capacité au « bien-être énergétique » pour les générations futures.

L'énergie est fortement liée aux trois dimensions du développement durable que sont l'économie, l'environnement et le social. Les services énergétiques sont évidemment essentiels, pour le développement économique et social. Pour contribuer à ce développement pérenne, le principal enjeu dans le secteur énergétique, consistera à maîtriser la consommation des ressources énergétiques naturelles. En effet, il nous faut mettre en place un système qui permet la meilleure adéquation entre le maintien des niveaux de vie actuels et la conservation de ressources énergétiques (les énergies fossiles) pour les générations futures en faisant recours aux énergies renouvelables.

L'énergie renouvelable notamment (solaire, éolienne, etc.) appelée communément « énergie verte » est une source d'énergie qui est régénérée ou renouvelée naturellement selon un cycle relativement court à l'échelle humaine et dont les caractéristiques sont les suivantes¹³:

- ✓ Elles sont inépuisables, non polluantes et gratuites
- ✓ Elles sont exploitables sans produire de déchets, ni d'émissions polluantes
- ✓ Elles contribuent ainsi à la lutte et à la réduction de l'effet de serre

¹² Despretz H (2004), « *Maitrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions, Usages, Consommation* » Revue technique de l'ingénieur, n°BE9020, vol4

¹³ Morillon R (2005), « *L'intégration de l'efficacité énergétique et du développement urbain durable dans le bâtiment* », thèse de master en Génie urbain, Université Marne la vallée.

I.4- La maîtrise de l'énergie et le contexte réglementaire en Algérie :

L'Algérie, pendant la dernière décennie, a donné une grande faveur à la notion de la maîtrise d'énergie et à l'intérêt du développement des énergies renouvelables avec la création de l'institut de l'énergie solaire dès 1962. cette volonté de l'utilisation rationnelle de l'énergie, de promouvoir les énergies renouvelables vu les enjeux qu'elles représentent et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement, s'est traduit notamment par:

✓ La mise en place d'organismes spécialisés pour promouvoir la recherche-développement dans ce domaine, tels: **APRUE** (Agence de Promotion et Rationalisation de l'Utilisation de l'énergie), **CDER** (Centre de Développement des Energies Renouvelables), **UDES** (Unité de Développement des Equipements solaires en milieu Saharien) , **SEESMS** (Station d'Expérimentation des Equipement Solaire en Milieu Saharien), **UDTS**(Unité de Développement de Technologie du Silicium) ,etc.....

✓ Le développement d'actions de sensibilisation et de valorisation en vue de la promotion de ces sources d'énergie.

✓ La mise en place d'un cadre institutionnel nécessaire à l'impulsion de véritables programmes de développement des énergies renouvelables¹⁴:

- La loi N° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie¹⁵

- La loi 04-09 du 14 aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable¹⁶.

- Le décret exécutif 04- 149 du 19 mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du programme nationale de la maîtrise d'énergie¹⁷.

Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 définissant la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique¹⁸ .

¹⁴Amardjia-Adnani Hania, « Algérie , énergie solaire et hydrogène , Développement durable » , office des publications universitaire.

¹⁵ JORA (1999), Journal Officiel de la République Algérienne n° 51 du 02/08/1999

¹⁶ JORA (2004), n° 52 du 18/08/2004

¹⁷ JORA (2004), n° 32 du 23/05/2004

¹⁸ JORA (2004), n° 22 1é du 12/02/2009

La maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable, à travers notamment:

- ✓ La préservation et l'accroissement des ressources énergétiques nationales non renouvelables;
- ✓ La promotion de la Recherche/Développement, de l'innovation technique et la diffusion des technologies efficaces;
- ✓ L'amélioration du cadre de vie, la protection de l'environnement et la contribution à la recherche des meilleurs équilibres en matière d'aménagement du territoire.
- ✓ La réduction des besoins d'investissement dans le secteur de l'énergie;
- ✓ La satisfaction des besoins énergétiques nationaux ;
- ✓ L'amélioration de la productivité nationale et la compétitivité des entreprises au niveau national et international.

Pour mettre en œuvre cette nouvelle orientation et politique de la « maîtrise d'énergie » le ministère de l'énergie et des mines (MEM) a mis en place ¹⁹:

- **L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE):**

L'APRUE est chargée essentiellement de missions d'information, de communication et de formation en direction de tous les acteurs publics impliqués dans la politique de la maîtrise de l'énergie.

- **La Comité Sectoriel de la Maitrise de l'Energie: (CIME):**

La CIME est un organisme consultatif, elle est chargée d'organiser la concertation et le développement du partenariat public/privé. Aussi, elle émet dans des avis sur toutes les questions relatives aux domaines de la maitrise d'énergie, sur les travaux d'élaboration, de mise en œuvre et de suivi du programme nationale de maitrise de l'énergie (PNME).

¹⁹ APRUE (2005), consulté le 26 mars 2015, <http://www.aprue.org.dz/>

Le fond national de la maîtrise d'énergie (FNME)

Le FNME est un instrument public spécifique d'incitation financière de la politique de maîtrise de l'énergie. Il doit favoriser la continuité des moyens de cette politique.

• Le Programme Nationale de Maîtrise de l'Energie (PNME):

La PNME constitue le cadre de mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie au niveau national, il comprend:

- ✓ Le cadre et les perspectives de la maîtrise de l'énergie.
- ✓ L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs de la maîtrise de l'énergie.
- ✓ Les moyens d'action existants et à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs à long terme.
- ✓ Un programme d'action quinquennal

Ce dernier comprend les programmes suivants ²⁰:

❖ Programme Top-Industrie:

Ce programme a pour objectif d'identifier les gisements d'économie d'énergie et de proposer des actions appropriées de maîtrise des consommations d'énergie des industries afin de réduire leurs coûts de production et d'améliorer leur compétitivité.

La mise en œuvre de ce programme consiste à financer des projets porteurs d'efficacité énergétique exemplaire et à vulgariser les bonnes pratiques d'efficacité énergétique en vue de leur «réplication» à grande échelle.

❖ Programme Prop-Air:

Le programme Prop-Air a pour objectif d'apporter un appui au développement du GPL carburant afin de réduire l'impact de la pollution des transports dans les zones urbaines.

❖ Programme Eco-Lumière:

Le programme Eco-Lumière a pour objectif d'introduire l'éclairage performant dans les ménages, de réduire leur facture d'électricité et de favoriser à terme l'émergence d'un marché national de lampes à basse consommation.

²⁰ « L'Algérie Élabore Cinq Programmes De Maîtrise De L'énergie », le Portail du premier ministre, Alger 26 juin 2009

Ce programme porte sur la diffusion d'un million de lampes à basse consommation (lampes économiques) dans les ménages. Ces lampes sont destinées à remplacer les lampes à incandescence. Elles seront diffusées sur l'ensemble du territoire nationale, en quatre tranches annuelles, correspondant aux quarts régions (Centre, Est, Ouest et Sud).

❖ **Programme Alsol:**

Ce programme vise à promouvoir le chauffe-eau solaire et à mettre en place les conditions d'un marché durable du solaire thermique en Algérie. Il est prévu, dans ce cadre la diffusion de 1000 chauffe-eau solaires individuels dans le secteur des ménages et 1000 autres dans le secteur du tertiaire.

Le potentiel énergétique solaire en Algérie étant le plus important de tout le Bassin méditerranéen, cette initiative contribuera à réaliser des économies d'énergie primaire sur la durée de vie de l'équipement et de réduire l'émission de CO2 dans l'atmosphère.

❖ **Programme Eco-Bat:**

Ce programme vise à apporter le soutien financier et technique nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée au chauffage et la climatisation. Dans ce cadre, il est prévu la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique répartis sur l'ensemble des zones climatiques, dans le cadre d'un partenariat entre l'APRUE et onze offices de gestion et promotion immobilière (OPGI).

L'objectif est de réaliser une action démonstrative prouvant la faisabilité de l'introduction de l'efficacité énergétique en Algérie de contribuer à la généralisation des bonnes pratiques dans la conception architecturale de l'habitat, et enfin favoriser la mise en application des normes réglementaires.

Conclusion:

L'Algérie, parmi tous les pays ne fait pas l'exception à la situation mondiale en point de vue de la grande consommation d'énergie que se soit à l'état primaire (avant transformation) ou à l'état finale, causée principalement par la croissance démographique et économique. Cette situation alarmante et monstrueuse a guidé l'Algérie a adopté une nouvelle stratégie de maitrise de l'énergie dans ses différents secteurs plus précisément le secteur des ménages qui était classé parmi les secteurs les plus consommateurs d'énergie.

Il faut cependant, savoir que le bâtiment et son usage peuvent présenter de nombreux inconvénients, particulièrement pour l'environnement vu qu'il est l'un des principaux émetteur des gaz à effet de serre. En revanche, il est l'un des acteurs principaux qui peuvent réduire la consommation énergétique par l'intégration des énergies renouvelables, et présente un très fort potentiel d'amélioration d'efficacité énergétique.

Pour cela, nous consacrons le chapitre suivant en abordant l'énergie solaire qui est considérée comme l'énergie renouvelable la plus répandue vu le grand potentiel solaire ne Algérie, tout en traitant les différents points qui correspondent au mode de calcul, d'installation et les exigences techniques des systèmes solaires thermiques.

Deuxième partie :

L'énergie solaire et son
utilisation dans le bâtiment

Chapitre (II):

Etat de l'art des systèmes solaires
thermiques

Introduction:

Après le bilan des consommations énergétiques dans le monde et en Algérie présenté dans le chapitre précédent; qui ne cesse de croître et de poser des questions cruciales sur l'épuisement des énergies d'origine fossile (gaz, pétrole et charbon) et sur le problème d'environnement et de réchauffement climatique dû aux gaz à effet de serre. Suite à cette prise de conscience, un développement économique respectueux de l'environnement et une bonne maîtrise d'énergie s'avèrent absolument nécessaires.

L'énergie est devenue un élément déterminant pour tout développement socio-économique et dans la vie quotidienne vu l'ampleur de l'industrialisation, la technologie et la multiplication des appareils domestiques. En revanche, la diminution des réserves mondiales en hydrocarbures et la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructive pour l'environnement, poussent le monde à faire appel aux autres sources d'énergie qui sont les énergies renouvelables.

L'Algérie s'engage avec détermination dans la voie des énergies renouvelables, qui a pris un essor certain et est matérialisée par des grands et importants projets tels que les projets du Programme Algérien de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique pour la période 2011-2030 qui a été adopté par le gouvernement en date du 3 février 2011 et contient à titre d'exemple: Projets de centrales photovoltaïques raccordées au réseau interconnecté nord, Projets d'hybridation des centrales diesel et TG des réseaux isolés du sud, projets de centrales solaires thermiques ²¹.

Parmi les énergies les plus répandues en terme d'utilisation est l'énergie solaire vu la disponibilité d'un grand champ solaire algérien mais aussi ses deux importantes alternatives : le photovoltaïque et le solaire thermique. Pour notre recherche, nous allons nous intéresser à l'étude de la deuxième alternative et son utilisation dans les bâtiments.

²¹ « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Mars 2011, portail algérien des énergies renouvelables

II.1 - L'énergie solaire comme énergie renouvelable:

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, direct ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. C'est l'énergie la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitable. Elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière ²².

L'Algérie par sa situation géographique et grande superficie profite d'une grande partie de l'énergie solaire et dispose d'un gisement solaire le plus élevé au monde comme montre le tableau (1) ci-joint. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5KWH sur la majeure partie du territoire soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays, ce qui favorise l'utilisation de l'énergie solaire dans différents domaines tel que la production de l'électricité, le séchage agroalimentaire, etc. la croissance de ce gisement est d'un intérêt majeur pour concevoir et dimensionner les système énergétiques solaires²³.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heure/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue(KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau 1: Potentiel solaire en Algérie

(source: Potentiels des Energies renouvelables, MEM <http://www.mem-algeria.org/francais/index.php?page=potentiels>)

²² Sotehi Oualid (2007), « Etude et analyse de l'influence de l'écart de température (absorbeur-vitre) sur l'efficacité d'un capteur solaire », Mémoire de magistère, université Mentouri, Constantine, p.12

²³ MEM 2010 (ministère de l'énergie et des mines), consulté le: 10 avril 2015, <http://www.mem-algeria.org>

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances²⁴.

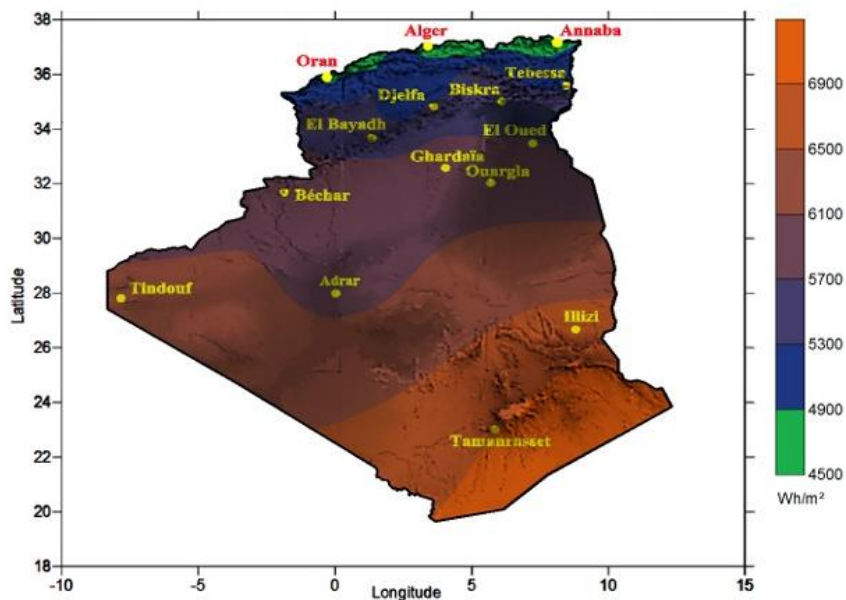


Figure (2): Moyenne annuelle de l'irradiation globale* reçue sur une surface horizontale, Période 1992 – 2002 (source: Yaich Mohamed Redha et Bouhanik Abdellah (2002), « Atlas solaire Algérien », édition: MERS, DGRSDT et CDER.)

Les cartes solaires figure (2) possèdent une importance considérable dans le domaine de la conception des systèmes de production d'énergie solaire. L'utilisation de ces cartes permettra aux concepteurs de ces systèmes d'améliorer le rendement de la production d'énergie en fonction du climat local, et leurs configurations pourront être adoptés d'une manière optimale ²⁵.

²⁴ Mahdi Khaled (2008), « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique », Mémoire de magistère, université de Mentouri, Constantine, p.13

* **Irradiation globale:** Ensoleillement variant d'une région à l'autre, tenant compte à partir de données météo, de l'ensoleillement direct, diffus (par temps couvert) et de l'albédo. Il s'exprime en Kwh/m².

²⁵ CDER (Centre de développement des énergies renouvelables) , juin 2013, consulté le :10 avril 2015, www.cder.dz

II.2- Mode de calcul , installation et exigences techniques du solaire thermique :

L'utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier le maximum des apports directs du rayonnement solaire, les techniques pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées.

L'énergie solaire thermique est obtenue par la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique, autrement dit en chaleur. Elle peut être utilisée pour chauffer le bâtiment (chauffage solaire) ou l'eau domestique qui est utilisée grâce à des chauffe-eaux solaires.

II.2.1-Les capteurs solaires:

II.2.1.1- Principe de fonctionnement d'un capteur solaire:

Le capteur solaire est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique. La chaleur reçue de cette conversion est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle-même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamiques. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement solaire, où ce dernier arrive au niveau du couvert et le traverse pour atteindre une surface revêtue d'une peinture noire, appelée absorbeur .

L'absorbeur va absorber une grande partie du rayonnement solaire entraînant une augmentation de sa température. Le rayonnement réfléchi par l'absorbeur arrive sur la vitre et comme celle-ci est opaque aux rayonnements infrarouges, le rayonnement est ainsi piégé comme montre la figure (3) ci -dessous²⁶.

²⁶ ZOUAGRI Rima(2012), «Etude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un Bâtiment », mémoire de magistère, université de Batna, p.37

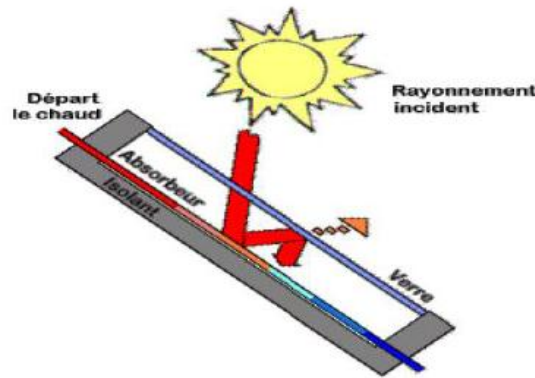


Figure (3): Schéma explicative d'un capteur solaire

(source: ZOUAGRI Rima(2012), «Etude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un Bâtiment », mémoire de magistère, université de Batna, pg 37.)

II.2.1.2- Principaux composants des capteurs solaires :

Les capteurs solaires sont d'un principe très simple et se composent en général de quatre parties principales :

a- La première absorbe l'énergie solaire et la convertit en chaleur. Dans sa forme la plus simple, ce n'est rien de plus qu'une plaque noircie exposée au soleil d'épaisseur de 0.4mm.

b- Un couvercle, habituellement une plaque de verre d'épaisseur de 5mm , recouvre l'absorbteur pour réduire les pertes de chaleur ou ce qui revient au même, pour permettre des températures plus élevées, à pertes calorifiques fixes .

c- on peut utiliser un concentrateur pour augmenter l'intensité du rayonnement solaire par unité de surface de l'absorbteur. L'effet du concentrateur permet aussi d'obtenir des températures plus élevées. Le concentrateur, dans sa forme la plus simple, peut être un réflecteur de projecteur ou un miroir plan ou même une plaque peinte en blanc. Un tel concentrateur est un simple renforçateur.

d- la quatrième partie consiste en un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbteur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail. Ce dispositif s'appelle un échangeur de chaleur²⁷.

²⁷ SOTEHI Oualid (2007), « étude et analyse de l'influence de l'ecart de temperature (absorbteur – vitre) sur l'efficacite d'un capteur solaire », universite Mentouri,Constantine, p.16.

La figure (4) montre la coupe d'un capteur solaire plan, il se compose :

- d'un absorbeur plan et des conduits de fluide caloporteur
- d'une isolation thermique sous l'absorbeur, destinée à diminuer les pertes de chaleur de la partie arrière de l'absorbeur.
- d'un espace entre l'absorbeur et le vitrage (vide)
- d'une couverture transparente (en général vitrage simple ou double), afin de réduire les pertes de chaleur par convection et rayonnement.
- d'un châssis métallique ou un coffre en bois
- d'une surface sélective recouvrant l'absorbeur (facultatif)²⁸.

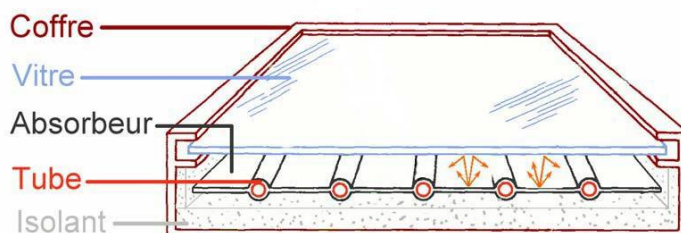


Figure (4) : Coupe d'un capteur solaire type (source: Gérard Hare, des capteurs solaires pour votre maison –choisir, installer, entretenir, édition le Moniteur, p.44)

II.2.1.3- Les types de capteurs solaires:

Le rendement d'un capteur solaire, conçu pour convertir l'énergie solaire en chaleur, dépend de sa forme, de la technique choisie et de la façon dont on réduit les pertes de chaleur à la surface de celui-ci. Il existe 3 types de capteurs solaires ²⁹:

❖ Le capteur plan vitré :

C'est le modèle le plus répandu, il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. À l'intérieur, l'absorbeur est constitué d'un serpentin contenant le fluide à

²⁸ BENKHELIFA Abdelaziz (2012), «Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur », mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla.

²⁹ Patrick Chiché, Michel Herzen, Lucien Keller et Mats-Ola Nilsson, «Architecture & conception énergétique - Abriter la vie... », édition parrrainage, p. 33

réchauffer, bordé par des ailettes noires. La lumière du soleil absorbée par la couleur noire est transformée en chaleur qui se communique au serpentin. En s'échauffant, la surface noire va avoir tendance à rayonner de la chaleur.



Figure (5) : Capteur solaire plan vitré (source : Tissot Michel (2008), « Le guide de l'énergie solaire: thermique et photovoltaïque », édition Eyrolles, Paris, pg 26.)

Le vitrage en bloquant le rayonnement infrarouge et en isolant la lame d'air au dessus du panneau permet de garder la chaleur et assure un très bon rendement.

Il est recommandé pour les moyennes températures de service, entre 30° C à 80°C. Il est utilisé généralement pour le chauffage de l'eau.

❖ Le capteur plan non vitré:

Nettement moins répandu que le capteur plan vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage ce qui simplifie nettement la fabrication et la pose. C'est un système dont le rendement est néanmoins très dépendant de la température de l'air. Performant en été, il présente une grande sensibilité au vent froid à cause de l'absence de vitrage.

Il faut en général prévoir une fois et demi plus la surface de capteurs pour égaler la production de capteurs plans vitrés. Ce type de capteur est conseillé pour des basses températures de service ; moins de 40°C. Il est généralement utilisé pour le chauffage des piscines.

❖ Le capteur à tubes sous vide:

Considéré comme high-tech, c'est un modèle encore peu répandu . Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur de chaleur.

En général, un réflecteur cylindrique permet de concentrer le rayonnement solaire sur le fluide caloporteur. Le vide permet d'avoir une parfaite isolation thermique, ce qui permet d'utiliser ces panneaux pour des applications nécessitant de très hautes températures. Ces capteurs réagissent en général avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels et s'échauffent plus rapidement, permettent de mieux tirer partie des petites périodes d'ensoleillement. De plus, les réflecteurs permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil le matin et le soir. Cette technologie est plus chère que les absorbeurs plans classiques, elle est conseillée pour des hautes températures de service ; plus de 70°C. ²



Figure (6): Capteur plan sous vide vitré (source : Tissot Michel (2008), « Le guide de l'énergie solaire: thermique et photovoltaïque », édition Eyrolles, Paris, pg 27)

II.2.1.4- Orientation et raccordement des capteurs:

Le soleil n'est pas fixe dans le ciel, se levant à l'est et il va culminer au sud , en milieu de journée avec une hauteur qui dépendra de la latitude du lieu et de la date, avant de se coucher à l'ouest. Il est donc impossible avec des panneaux fixes de rester face au soleil. Cependant, on peut optimiser l'orientation des panneaux pour avoir un éclairement journalier moyen maximal tout en choisissant une orientation des panneaux en plein sud avec une faible inclinaison correspondante à la latitude du lieu³⁰.

Le raccordement des capteurs solaires se fait selon trois types voir figure (7):

³⁰ Tissot Michel (2008), « Le guide de l'énergie solaire: thermique et photovoltaïque », édition Eyrolles, Paris, p.43

❖ Raccordement des capteurs en série

Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée à l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite. Plus le parcours du fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues à la sortie du dernier capteur sont élevées.

❖ Raccordement des capteurs en parallèle

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs ³¹.

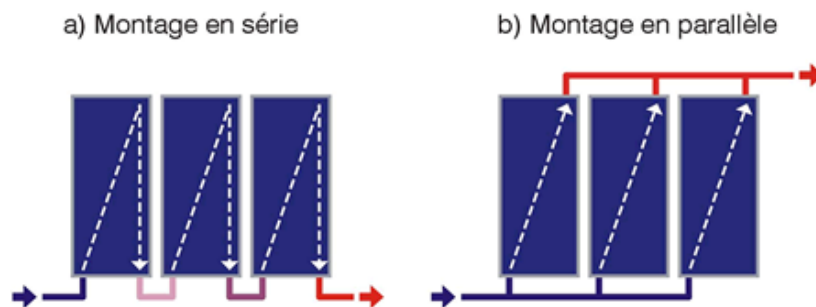
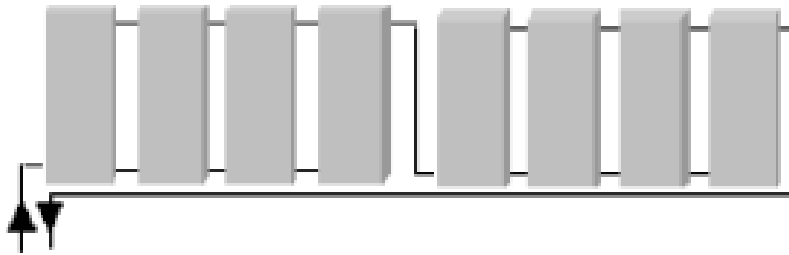


Figure (7): Schéma de raccordement en série et en parallèle (source : Bernard.J (2004), « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing.)

❖ Raccordement mixte:

Il s'agit d'un montage qui combine le mode série et le mode parallèle .Il en résulte une distribution plus uniforme de l'écoulement et donc des températures. voir figure (8)

³¹ Bouhediba Malika (2012), « Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) », mémoire de master, université de Chlef, pp. 12-13.

**Figure (8):** Schéma de raccordement mixte

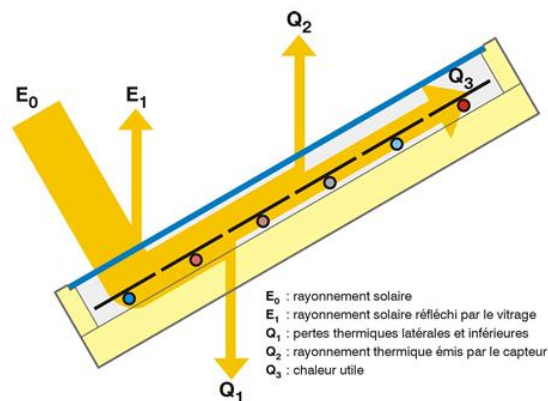
(source : Bernard.J (2004), « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing.)

II.2.1.5- Rendement d'un capteur solaire:

Le rendement d'un capteur est le rapport entre la chaleur utile (Q_3) transmise au fluide et le rayonnement solaire incident (E_0) sur une surface donnée du capteur solaire

A_c ³² :

$$n = Q_3 / E_0 \times A_c$$

**Figure (9):** Schéma des apports solaires et des pertes thermiques

(source: « Le rendement d'une installation solaire thermique », aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments du secteur tertiaire. <http://www.energieplus-lesite.be/>)

Cette chaleur utile Q_3 est définie par le bilan des apports solaires utiles et des pertes thermiques, voir la figure (9) :

$$Q_3 = E_0 - E_1 - Q_2 - Q_1 \text{ [MJ]}$$

³² « Le rendement d'une installation solaire thermique », aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments du secteur tertiaire. Consulté le: 20 avril 2015, <http://www.energieplus-lesite.be/>

❖ Les apports solaires utiles : $E_0 - E_1$ [MJ]

Ils représentent la part du rayonnement solaire réellement absorbée par le capteur. Ils dépendent des propriétés optiques du capteur (telles que l'absorption de l'absorbeur et la transmission du vitrage). Ils s'expriment selon la relation : $E_0 * \alpha\tau$

Avec :

α : facteur d'absorption de l'absorbeur.

τ : facteur de transmission du vitrage.

❖ Les pertes thermiques : $Q_1 + Q_2$ [MJ]

Dépendant des propriétés d'isolation thermique du capteur, elles sont définies par la relation:

$$Q_{th} = K * \Delta T$$

Avec :

K [W/m²K] : coefficient de déperdition thermique du capteur.

ΔT : $T^{\circ}capt - T^{\circ}amb$.

❖ Le rendement d'un capteur : $n = Q_3/E_0 \times Ac$

$$n = \alpha\tau - (K * \Delta T / E_0 \times Ac)$$

❖ Rendement optique n_0 :

Le rendement optique n_0 représente le rendement maximum du capteur lorsque la température du fluide est à température ambiante (pas de pertes thermiques). Il s'agit donc de la partie maximale de l'énergie solaire qui peut être captée. Mesuré dans des conditions standardisées de test (spectre AM 1,5, 1 000 W/m², perpendiculaire au capteur), il dépend des propriétés du vitrage et de sélectivité de l'absorbeur.

Cette relation est établie comme suit : $n_0 = F\alpha\tau$

Avec :

α : facteur d'absorption de l'absorbeur, compris entre 0,9 et 0,96.

τ : facteur de transmission du vitrage, compris entre 0,88 et 0,91.

F : facteur de rendement du capteur, compris entre 0,92 et 0,97.

Exemple de rendement optique pour différents types de capteurs :

- * 75-85 % capteur plan ;
- * 90-95 % capteur non vitré ;
- * 75-85 % tube sous vide à absorbeur sur cuivre ;
- * 50-70 % tube sous vide à absorbeur sur verre.

II.2.2- Le chauffe-eau solaire:

II.2.2.1- Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire:

Le fonctionnement est simple, il consiste à un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs (chaleur) vers un système de stockage (ballon). Le transfert est exécuté au moyen d'un liquide caloporteur. Le liquide caloporteur doit se déplacer du capteur solaire vers le ballon (où il échange sa chaleur, pour réchauffer l'eau froide contenue dans celui-ci, l'eau refroidie retournant au capteur ou à nouveau elle sera réchauffée par le rayonnement solaire. Voir Figure (10).

Dans son trajet capteur - réservoir – capteur, l'eau pourra circuler d'elle-même (circulation naturelle) où être entraînée par une petite pompe (circulation forcée).

Les positions relatives de l'isolateur et du réservoir sont essentielles pour décider du fonctionnement de l'ensemble.

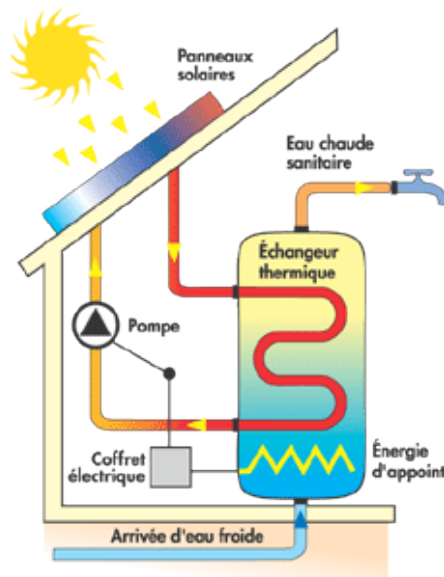


Figure (10): Schéma de fonctionnement d'un chauffe eau solaire.

(source: Lemal Jean et Amjahdi Mohamed (2011), « Adopter le solaire thermique et photovoltaïque », édition dunod, Paris, p. 34)

II.2.2.2- Les différents types de chauffe-eau solaire:

- Le chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)

L'eau chauffée dans le capteur est envoyée dans le réservoir de stockage, elle est remplacée dans le capteur par l'eau froide, qui s'échauffe à son tour et ainsi de suite.

La circulation de l'eau dans le circuit doit être continue tant qu'il y a du soleil et de l'eau à réchauffer, elle est généralement assez lente. L'eau chaude plus légère que l'eau froide s'accumule d'abord dans le haut du réservoir ³³. Voir Figure (11).

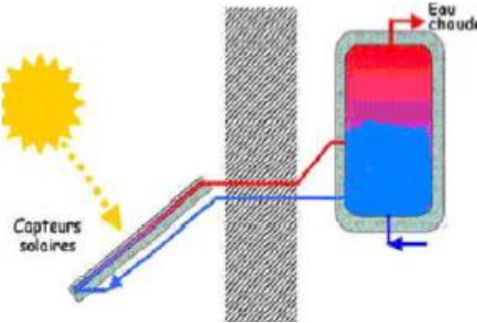


Figure (11): Le chauffe- eau solaire à circulation naturelle sans échangeur de chaleur
(Source Bouhediba Malika (2012), « *Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)* », mémoire de master, université de Chlef, p.17)

- Le chauffe-eau solaire a circulation naturelle avec échangeur:

L'eau chaude venant du capteur circule à l'intérieur du réservoir dans un échangeur de chaleur, au contact de l'eau froide du réservoir, elle cède ses calories a travers la paroi de l'échangeur et retourne se réchauffer dans le capteur. Voir Figure (12).

L'eau chauffée dans le capteur reste ainsi dans un circuit fermé appelé « Circuit primaire ».

L'eau chauffée au contact de l'échangeur, monte au haut du réservoir, l'eau froide descend et se fait réchauffer dans le bas du réservoir.

³³ Bouhediba Malika (2012), « *Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)* », mémoire de master, université de Chlef, pp. 17-18- 19.

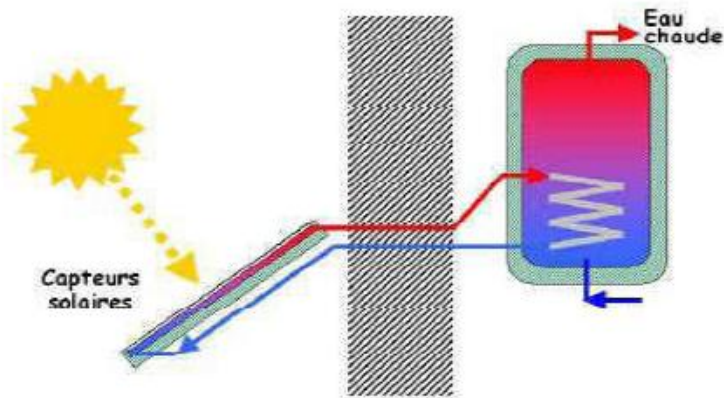


Figure (12): Le chauffe-eau solaire en thermosiphon avec échangeur
 (Source Bouhediba Malika (2012), « *Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)* », mémoire de master, université de Chlef, p.18)

- Le chauffe eau solaire avec circulateur et échangeur à l'intérieur:

Le fluide circulant dans le circuit primaire (capteur - échangeur - capteur), est en général différent de l'eau stockée dans la cuve, ainsi un certain fluide caloporteur va circuler dans le circuit primaire en absorbant de l'énergie calorifique à l'intérieur du capteur, en suite il va céder le maximum de cette énergie à travers l'échangeur à l'eau stockée dans la cuve. Voir Figure (13).

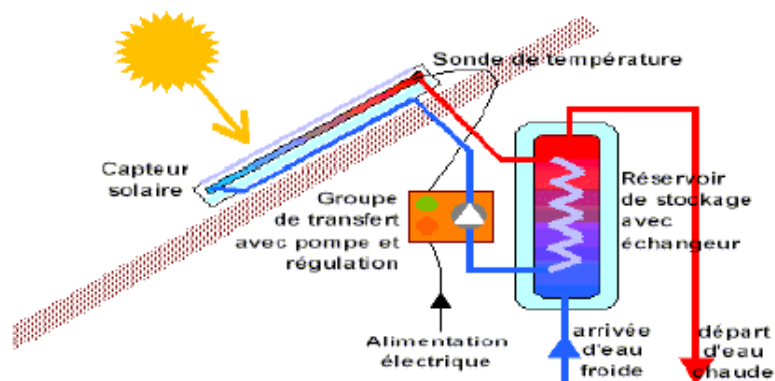


Figure (13): Le chauffe-eau avec circulateur avec échangeur à l'intérieure de réservoir de stockage (Source Bouhediba Malika (2012), « *Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)* », mémoire de master, université de Chlef, p.17)

- Le chauffe eau solaire avec circulateur et échangeur à l'extérieur de réservoir de stockage:

Cette installation est composée de trois boucles principales dans laquelle circule de l'eau ou un fluide antigel comme le montre la figure (14).

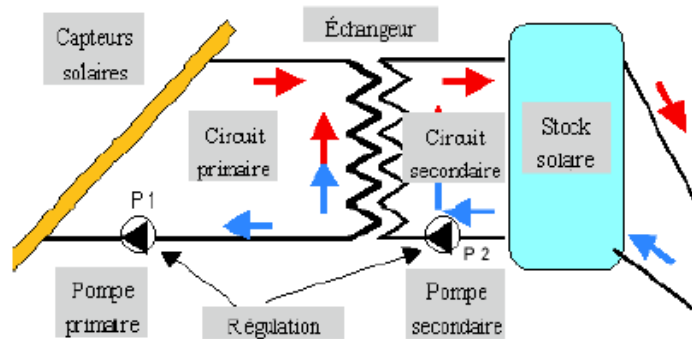


Figure (14): Le chauffe eau avec circulateur et échangeur à l'extérieur du réservoir stockage (Source Bouhediba Malika (2012), « *Simulation thermique d'une maison solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)* », mémoire de master, université de Chlef, p.19)

II.2.2.4.1-Les différents systèmes de production d'ECS collective:

❖ **Production centralisée:**

Dans ce système de production d'ECS collective, on utilise un échangeur à plaques entre les capteurs et le ballon solaire. L'eau préchauffée par le solaire est stockée dans le ballon solaire puis transférée dans le ballon d'appoint. La température de consigne (50 à 60 °) est assurée dans ce dernier ballon, équipé soit d'une résistance électrique, soit d'un échangeur de chaleur alimenté par une chaudière. Voir la figure (15).

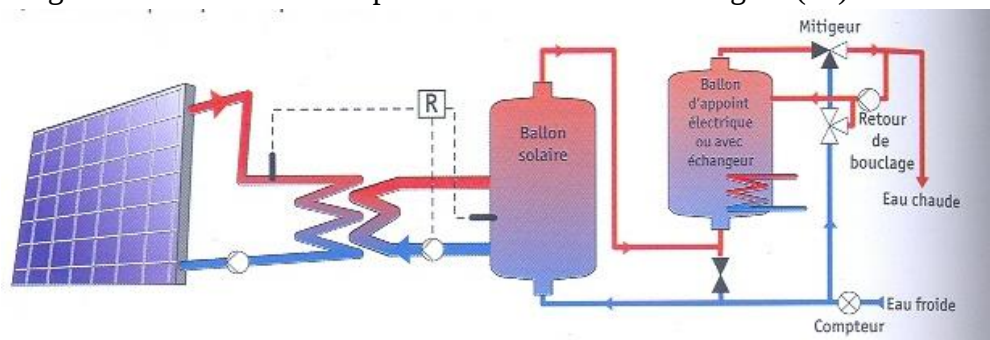


Figure (15): Schéma de principe de la production centralisée. (Source: Amjahdi Mohamed, Lemake Jean (2011), « *adopter le solaire thermique et photovoltaïque* », édition Dunod, Paris, pg 55.)

❖ **Production décentralisée:**

Il existe deux schémas d'installation possibles:

✓ Chaque utilisateur est équipé d'un ballon d'ECS avec son appoint intégré. Ces ballons sont alimentés à partir d'un ou de plusieurs ballons solaires comme le montre la figure (16).

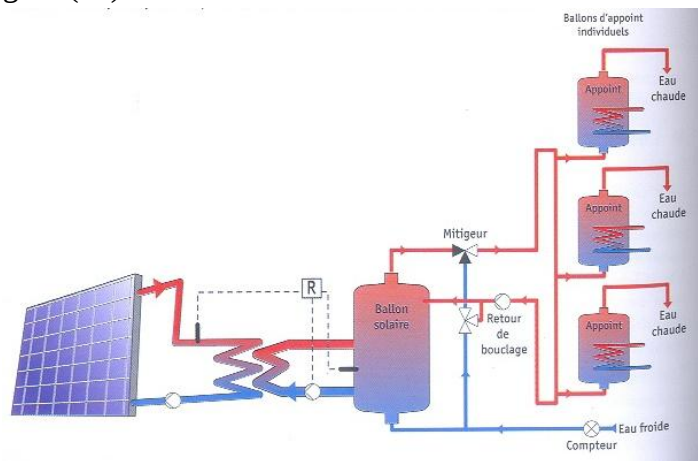


Figure (16): Schéma de principe de la production décentralisée avec appoint individuel (Source: Amjahdi Mohamed, Lemake Jean (2011), « adopter le solaire thermique et photovoltaïque », édition Dunod, Paris, pg 56.)

Chaque utilisateur est équipé d'un ballon de stockage solaire directement derrière l'échangeur sans stockage centralisé intermédiaire. L'appoint est intégré au ballon individuel (électrique ou hydraulique). Voir la figure (17).

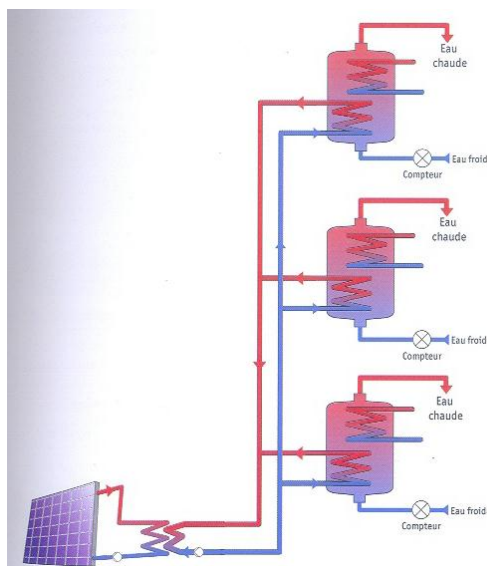


Figure (17): Schéma de principe de stockage individualisé avec appoint intégré (Source: Amjahdi Mohamed, Lemake Jean (2011), « adopter le solaire thermique et photovoltaïque », édition Dunod, Paris, pg 55.)

II.2.3- Le chauffage solaire:

Le chauffage solaire d'un logement suit le même principe de fonctionnement d'un système de chauffe eau solaire. Les calories seraient récupérées par une grande surface de capteurs solaires en toiture, un ballon très important conserverait l'eau chaude qui serait utilisée pour le chauffage, l'eau chaude du logement ou pour les deux au même temps.

Cependant, des nombreux problèmes sont rencontrés lors d'une installation domestique, d'une part, les besoins en chauffage ne sont pas en phase avec l'ensoleillement: pendant l'hiver, les besoins sont importants et l'ensoleillement est faible. Cela oblige à dimensionner très largement les surfaces des capteurs.

De plus, les besoins de chauffage sont toujours plus importants la nuit que le jour, obligeant à prévoir également un stockage des calories surdimensionné. En bref, réaliser un chauffage solaire efficace à partir de capteurs en toiture est nettement plus compliqué à mettre en place qu'un simple chauffe-eau solaire.

II.2.3.1-Les différents types de chauffage solaire:

❖ Le plancher solaire:

Le planche solaire est un mode de chauffage de la maison qui est basé sur le même principe que le plancher chauffant. Des capteurs solaires thermiques placés en toiture vont réchauffer un fluide caloporteur, qui va circuler dans un circuit coulé à l'intérieur de la dalle de plancher de la maison comme le montre la figure (18).

Les avantages de ce système sont nombreux: au lieu de servir d'un ballon d'eau chaude pour stocker la chaleur, on chauffe directement la dalle de béton qui possède une forte inertie thermique. Cette masse thermique continuera à diffuser pendant toute la nuit la chaleur accumulée pendant la journée. De plus, la température nécessaire pour un chauffage par le sol à basse température est suffisamment faible pour que les capteurs solaires fonctionnent à leur optimum de rendement³⁴.

³⁴ Tissot Michel (2008), « *Le guide de l'énergie solaire: thermique et photovoltaïque* », édition Eyrolles, Paris, pp. 65-66-67.

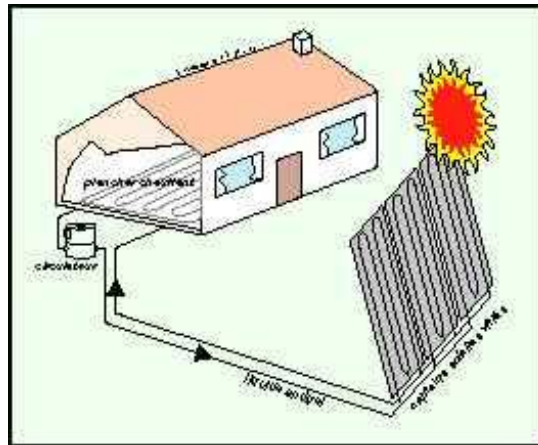


Figure (18): Plancher solaire

(source: Peuser Felix-A, Remmers Karl-Heinz et Schnauss Martin (2005), «Installations solaires thermiques : Conception et mise en œuvre », édition le Moniteur, paris)

❖ Le chauffage central solaire:

Sur le même principe que le chauffe-eau solaire, on peut construire des installations solaires de chauffage central, utilisant des radiateurs conventionnels, voir la figure (19). Le problème est que la température de l'eau des radiateurs est habituellement beaucoup plus élevée que celle utilisée dans un plancher chauffant. Or, le rendement des capteurs solaires sont de moins en moins bon lorsque la température de fonctionnement augmente. Pour remédier à ce problème deux approches techniques peuvent être envisagées :

- ✓ Soit utiliser des capteurs à tubes sous vide (meilleurs rendement à haute température)
- ✓ Soit prévoir un système de chauffe-eau mixte à stratification de température, permettant de stocker l'eau à différentes températures en fonction des besoins.

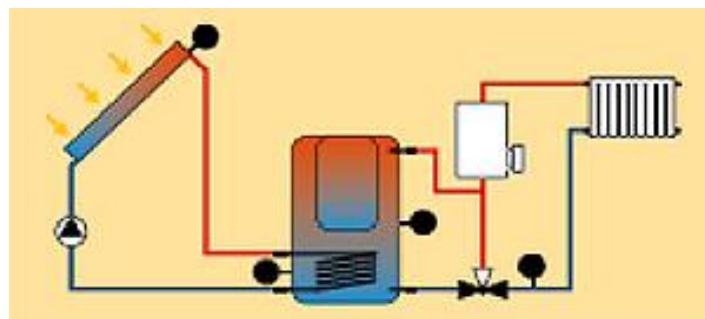


Figure (19): Schéma d'un chauffage central solaire

(source: Peuser Felix-A, Remmers Karl-Heinz et Schnauss Martin (2005), «Installations solaires thermiques : Conception et mise en œuvre », édition le Moniteur, paris)

❖ Le chauffage solaire de l'air:

Le système de chauffage solaire de l'air basé sur l'utilisation du rayonnement solaire pour chauffer directement l'air au lieu de passer par un fluide caloporteur.

Ces système utilisent des capteurs d'un type particulier, à travers lesquels va s'effectuer la ventilation du bâtiment. Ces capteurs sont généralement placés en façade ou sur toiture comme le montre la figure (20). Le système de ventilation aspire l'air extérieur à travers les perforations du capteur, il circule dans l'espace entre le capteur et le mur du bâtiment. Ensuite un ventilateur injecte cet air préchauffé à l'intérieur du bâtiment.

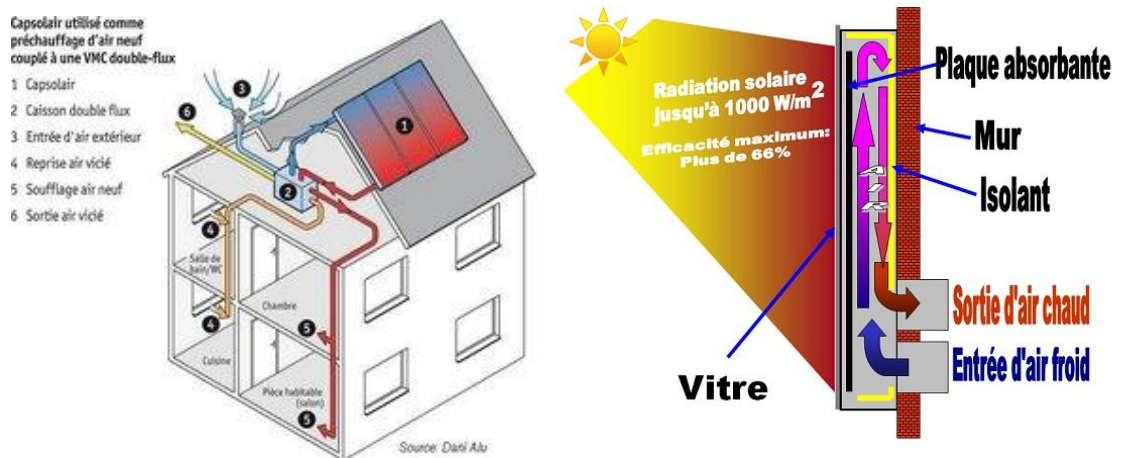


Figure (20): Schéma d'un chauffage solaire de l'air

(source: Peuser Felix-A, Remmers Karl-Heinz et Schnauss Martin (2005), «Installations solaires thermiques : Conception et mise en œuvre », édition le Moniteur, paris)

II.2.3.2- Les systèmes solaires combinés:

Les systèmes solaires combinés sont des installations qui assurent en même temps la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des habitations. Ce type de système est bien adapté aux maisons individuelles. Il est cependant plus simples à mettre en œuvre pour de nouvelles constructions qui doivent être équipées de planchers chauffants.

Le dimensionnement de l'installation et notamment la surface de capteurs devront être déterminées en fonction des paramètres suivants:

- ✓ Les besoins à satisfaire: chauffage seul ou chauffage et eau chaude sanitaire.
- ✓ Le système de stockage de l'énergie solaire
- ✓ Les conditions météorologiques du site (ensoleillement, température d'eau froide)
- ✓ La surface disponible et les conditions pour l'implantation des capteurs
- ✓ La nature des émetteurs de chauffage (planchers, radiateurs,...)

La figure (21) ci-dessous explique le fonctionnement d'un système solaire combiné.

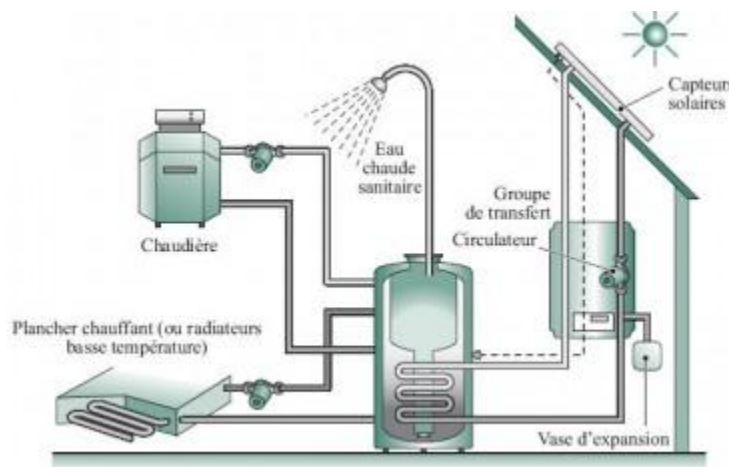


Figure (21): Schéma de fonctionnement d'un système solaire combiné
(source: Peuser Felix-A, Remmers Karl-Heinz et Schnauss Martin (2005), «Installations solaires thermiques : Conception et mise en œuvre », édition le Moniteur, paris)

II.3- L'intégration architecturale des capteurs solaires:

La présence d'un capteur solaire sur un bâtiment se justifie par une nécessité fonctionnelle, mais qui doit répondre à certaines contraintes techniques et devra nécessairement faire l'objet d'un traitement esthétique, tout comme la fenêtre ou la porte du bâtiment, il doit être considéré comme un élément de composition architecturale.

Pour cela, l'architecte ou le concepteur doit l'intégrer dans l'ordonnancement d'une façade, d'une toiture ou d'un volume tout en lui conservant ses spécificités formelles ou fonctionnelles.

II.3.1- Les capteurs en toiture inclinée:

Les capteurs solaires en toiture inclinée doivent être intégrés sur une forte pente afin d'optimiser les gains énergétiques durant toute l'année, solution pour le chauffage. Voir la figure (22).

Ils doivent être également alignés avec les éléments constitutifs du bâtiment (baies vitrées, arches, etc.)³⁵

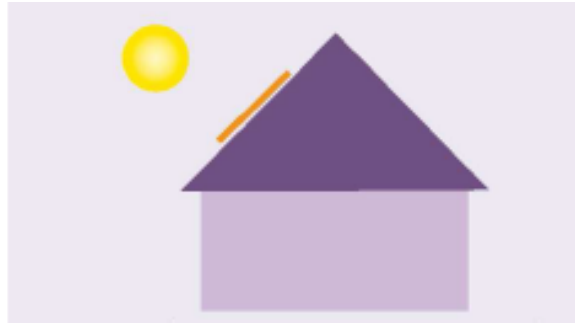


Figure (22): Installation du capteur sur une toiture à forte inclinaison
(source: M. BENAMRA Mostefa Lamine, «Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment :Approche architecturale», mémoire de magister, université de Biskra, p.104)

Ils doivent être également alignés avec les éléments constitutifs du bâtiment (baies vitrées, arches, etc). voir la figure (23).



Figure (23): Installation du capteur sur une toiture inclinée respectant l'axe de la fenêtre (source: solaire thermique: chauffage et chauffe eau, consulté le 23 aout 2015, <http://www.energiesfluides.fr/Solaire-thermique.html>)

³⁵ BENAMRA Mostefa Lamine (2013), « Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment :Approche architecturale », ,mémoire de magistère, université de Biskra, p.104

II.3.2- Les capteurs en toiture terrasse :

Généralement, cette solution est utilisée dans le collectif. Les capteurs sont disposés sur un châssis dont l'orientation et l'inclinaison auront été optimisées en fonction d'usage³⁶. voir la figure (24):

- A reculer suffisamment les capteurs de l'acrotère afin de limiter l'impact visuel pour les passants.
- Si on a pas d'acrotère, on doit les planter de telle façon à respecter la symétrie avec les composantes du bâtiment.
- L'accrochage doit être conforme avec les directives techniques pour résister aux intempéries (neige et vent) et préserver l'étanchéité
- Prévoir un habillage latéral pour masquer la structure métallique.



Figure (24): Installation des capteurs solaires sur une toiture terrasse Solaire thermique dans le collectif. (source: un exemple à suivre, publié le 19 février 2015,consulté le 23 aout 2015, http://conseils.xpair.com/actualite_experts/solaire_thermique-collectif-strasbourg.htm)

II.3.3- Les capteurs sur paroi verticale (façade):

Il est possible d'intégrer des capteurs en façades pour nos besoins en eau chaude et chauffage avec une orientation en plein sud voir la figure (25) ci-jointe. Grâce à sa disposition verticale, le capteur reste toujours propre et exempt de neige.

³⁶ BENAMRA Mostefa Lamine (2013), « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment :Approche architecturale* », mémoire de magistère, université de Biskra, p.111

Mais il ne s'agit là que de l'aspect pratique. Cette disposition offre bien entendu également un plus sur le plan technique : même en hiver où le soleil est bas, l'angle d'incidence du rayonnement solaire reste avantageux³⁷.



Figure (25): Installation des capteurs solaire sur façade

(source: Logements sociaux solaires à Paris, par Dimitri, juin 2015, consulté le 23 aout 2015, <http://www.faiteslepleindavenir.com/2010/06/30/les-premiers-logements-sociaux-solaires-a-paris/#comments>)

Conclusion:

L'Algérie par sa grande superficie, profite d'un grand gisement solaire qui lui permet d'exploiter toute sorte d'énergie solaire que se soit thermique ou photovoltaïque dans plusieurs secteurs y compris le résidentiel. Cette énergie peut être utilisée à partir des capteurs thermique qui servent à convertir cette dernière en énergie calorifique utilisée soit pour le chauffage ou la production d'électricité. Dans ce chapitre, on a pu déterminer les différents types de capteurs solaires, leur principe de fonctionnement ainsi que le calcul de dimensionnement et de rendement de chaque capteur. Mais aussi les différents types de chauffe-eau solaire, du chauffage ainsi que leurs principes de fonctionnement.

³⁷ BENAMRA Mostefa Lamine (2013), « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment :Approche architecturale* », ,mémoire de magistère, université de Biskra, p.112

Cependant, il faut tenir compte des différentes exigences techniques de ces systèmes afin de les bien intégrer dans l'habitat que se soit individuel ou collectif.

Pour cela, on va consacrer le chapitre suivant à l'étude et l'analyse des exemples nationaux et internationaux , qui ont déjà intégré l'énergie solaire dans leur habitat.

Deuxième partie :

L'énergie solaire et son
utilisation dans le bâtiment

Chapitre (III):

Etat de fabrication et d'utilisation
des systèmes solaires thermiques

Introduction:

Le présent chapitre va traiter l'état actuelle de fabrication et d'utilisation des capteurs solaires en Algérie afin d'encourager leurs intégrations dans l'habitat et remplacer la production du chauffage basé sur le gaz naturel ainsi que l'étude des différents programmes lancés pour la réalisation des logements énergétiques tel que programme Alsol et Eco-bat .

Afin de mieux comprendre l'installation et le fonctionnement de ces systèmes couplés à une habitation existante nous avons opté à l'analyse d'un exemple international « résidence les Héliades en France » et un exemple national « la maison solaire à Alger » et étudier les résultats obtenus pour constater le rendement sur la consommation d'énergie et sur la protection de l'environnement.

III.1-Fabrication et utilisation des équipements solaires en Algérie :

Avec la croissance de la demande en énergie et dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre notamment le CO₂ dans l'atmosphère, l'Algérie a décidé de mettre en place une stratégie pour développer les différentes applications des énergies renouvelables. Parmi les applications les plus prometteuses on trouve les chauffages et les chauffe-eau solaires dans certains secteurs ciblés notamment l'habitat.

Néanmoins, plusieurs sociétés nationales et internationales ont investi dans le domaine grâce aux programmes nationaux lancés par le ministère de l'énergie et des mines, le cadre réglementaire ainsi que les campagnes de sensibilisation. Les équipements solaires qui se trouvent sur le marché sont totalement importés de Chine (pour les capteurs sous vide, photo 26), de France (Giordano, photo 27), de Tunisie (Soften),



Figure (26): Chauffe-eau avec capteur sous vide importé de la Chine



Figure (27): Chauffe-eau avec capteur plan sous vide importé de France

d'Australie (Solahart) et de Grèce (Megasun). La fabrication nationale est pratiquement absente. La seule tentative a été entreprise au sein de la recherche par le CDER et l'UDES* qui ont dépassé le cadre expérimental et ont fabriqué des chauffe eau solaires individuels³⁸.

³⁸ Fatiha Bouhired (2010), «Développement des Chauffe Eau Solaires en Algérie », Division solaire thermique et géothermique, CDER, Bouzareah.

* UDES : Unité de Développement des Equipements Solaires

Selon Mr Rabah Sellami, chercheur à l'UDES: « *Il existe même un chauffe-eau solaire 100% algérien, Un premier prototype a été conçu par les chercheurs de l'UDES dans les années 1990.*

Depuis, nous avons travaillé, surtout pour l'amélioration de l'esthétique du produit. Un deuxième prototype a été fabriqué récemment avec des améliorations significatives suivant l'évolution technologique. Il convient à une utilisation domestique (pour une famille de 6 personnes), il occupe un espace d'environ 2 à 3 mètres carrés et coûte environ 75 000 DA.»³⁹

Mais cette tentative d'industrialisation est restée vaine. Il existe néanmoins des chauffe-eau solaires produits de façon artisanale par des particuliers. Les autres sociétés les plus actives qui investissent dans le domaine des énergies renouvelables, sont spécialisées dans la fabrication des panneaux solaires photovoltaïques pour la production de l'électricité notamment: condor electronics, Aurès Solaire, l'usine des panneaux solaires de Rouiba, EDIELEC SARL, etc.

Dans le cadre de la maîtrise de l'énergie, plusieurs programmes nationaux, des campagnes de sensibilisation, des investissements et plusieurs projets de partenariat et coopération internationales ont été réalisés tel que: programme Alsol et programme Eco-Bat.

III.1.1- Programme Alsol:

C'est un programme visant la promotion des chauffe-eau solaires individuels (CESI) lancé par l'APRUE durant le second semestre de l'année 2009. Il est prévu à ce titre l'installation de 1000 chauffe-eau solaires entre 2009 et 2010. Ce programme baptisé « Programme ALSOL », est financé par le Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) et prévoit un soutien financier direct à hauteur de 45 % du coût du chauffe eau solaire individuel installé et 35% pour une installation de chauffage solaire collective à travers le FNME. Ce dernier vise à promouvoir le chauffe-eau solaire, à amorcer le

³⁹ Un entretien réalisé par Hind Dib (2011) journaliste du magazine de l'entreprise algérienne: DZ entreprise avec Mr Rabah Sellami :un chercheur à l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES). <http://www.dzentreprise.net/?p=2484>

marché, à encourager la création de nouveaux opérateurs industriels, ainsi qu'à développer des réseaux d'installateurs et d'établissements de services énergétiques.

A terme, il est attendu la fabrication locale du chauffe-eau solaire et la mise en place d'un marché durable du solaire thermique en Algérie.⁴⁰

III.1.2- Programme Eco-Bat:

Le programme Eco-Bat a été lancé par l'APRUE et financé par le FNME (Fond National pour la Maîtrise de l'Energie). Il a porté sur la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique. Ces logements intégreront les principes de confort thermique et d'économie d'énergie dans la conception architecturale, le choix des matériaux de construction ainsi que dans les détails de mise en œuvre.

Les travaux de construction de la première tranche ont démarré en juin 2011, à travers 11 wilayas du pays, en collaboration avec les OPGI (Offices de la promotion et de la gestion immobilière) des wilayas concernées.

Ce programme ECO-BAT vise les objectifs suivants :

- ✓ L'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation ;
- ✓ La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique ;
- ✓ La réalisation d'une action démonstrative, preuve de la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie ;
- ✓ La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale ⁴¹.

Les travaux des chantiers ont commencé en 2011 et l'achèvement était prévu pour l'année 2013. les dernières informations sur le taux d'avancement des travaux était

⁴⁰ « Programme Alsol », Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE),2015, <http://www.aprue.org.dz/prg-alsol-detail.html>

⁴¹« Programme Eco-Bat », fond national pour la maîtrise de l'énergie (FNME), 2015, <http://www.aprue.org.dz/prg-eco-bat.html> .

publié sur la presse « la tribune » le 24 – 06- 2012 annonçant qu'un pourcentage de 66% a été estimé pour l'avancement des travaux du programme Eco-Bat. Sept projets, sur onze, ont démarré, à savoir ceux de Laghouat, de Blida, de Béchar, de Djelfa, de Sétif, de Mostaganem et d'Oran. Les quatre autres projets, à savoir Tamanrasset, Skikda, Mostaganem et Alger, étaient en phase de sélection des entreprises de réalisation⁴².

III.2- Etude des exemples:

III.2.1- Exemple international: « Les Héliades» Z.U.S* de Saint Roch Saint-Dié-Des-Vosges. France

III.2.1.1- Choix et présentation du projet :

Le choix de l'étude du projet de la résidence des Héliades est dans le but d'analyser les résultats de ce projet en ce qui concerne l'intégration d'un système de chauffage solaire et leur rendement sur la réduction de la consommation énergétique dans un bâtiment collectif .

Le projet de la résidence des Héliades a été lancé en 2007 par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de Maitrise d'Energie). Il se compose de deux bâtiments qui se situent au Saint-Dié-des-Vosges au Nord-est de la France, dans un quartier dédié aux constructions en bois afin de renforcer le concept de développement durable et chercher à allier la performance énergétique et la qualité de vie. Voir la figure (28) ci-dessous

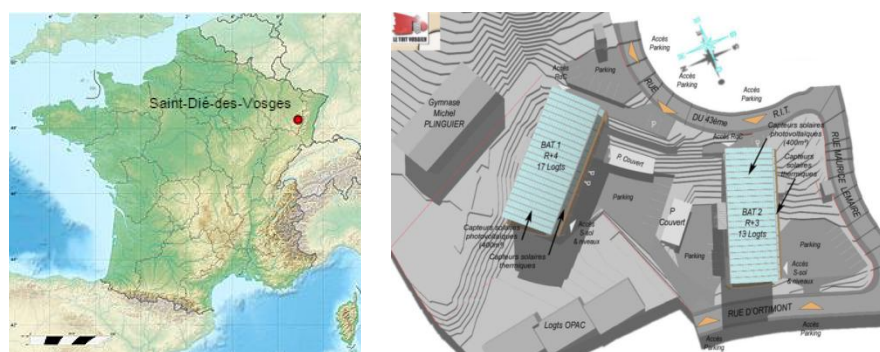


Figure (28): Situation géographique du projet « résidence les Héliades »
(source: F. LAUSECKER , «Les Héliades» Z.U.S. de Saint Roch Saint-Dié-Des-Vosges.pdf)

⁴² Amarni Badiâa, « *Projet des 600 logements à haute performance énergétique* », presse la Tribune, publié le 24 – 06- 2012, Alger

* Z .U.S : Zone Urbaine Sensible

La résidence « Les Héliades » comprend respectivement 17 et 13 logements pour une surface totale de 4 175 m² de SHON. Une innovation a été introduite au sein de ces deux bâtiments: un système solaire thermique combiné collectif individualisé ainsi qu'une forte compacité pour limiter les surfaces d'échange avec l'extérieur, une orientation Nord-est / Sud-ouest pour bénéficier d'un maximum d'apport solaire passif comme le montre la figure (29) ci-dessous.

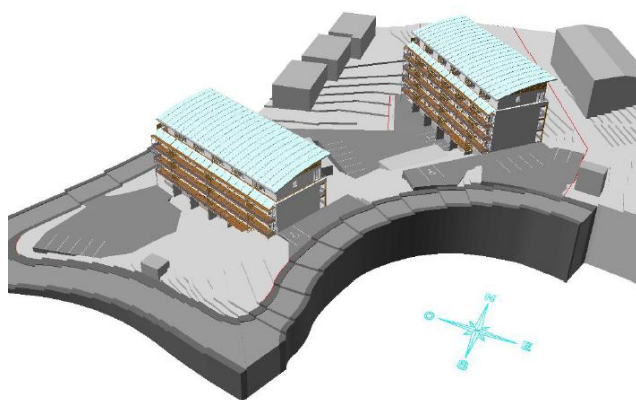


Figure (29): L'orientation des deux bâtiments de la résidence « les Héliades ». (source: F. LAUSECKER , «Les Héliades» Z.U.S. de Saint Roch Saint-Dié-Des-Vosges.pdf)

Les murs bénéficient d'une isolation de 30 cm de laine de verre, les toitures d'une isolation de 40 cm de laine de verre et les planchers d'une isolation de 43 cm de laine de verre. Les fenêtres en bois et aluminium disposent d'un triple vitrage. L'eau chaude sanitaire est produite par 62 m² de capteurs solaires thermiques qui alimentent des ballons individuels de 200 ou de 400 litres selon les logements comme montre la figure (30) ci-jointe.

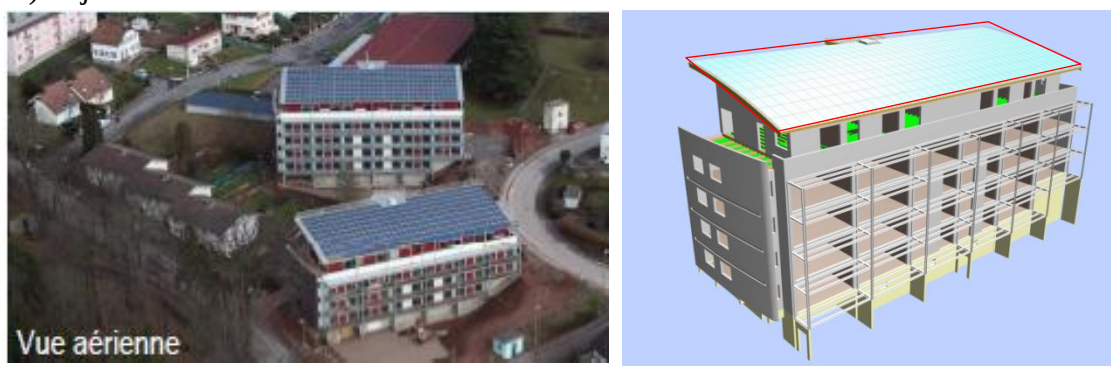


Figure (30): L'installation des capteurs solaires au niveau de la toiture (source: Résidence Les Héliades à St Dié des Vosges (88). PDF)

L'appoint étant produit par une chaudière collective gaz à condensation de 25 KW et une cogénération gaz qui permet de produire conjointement de la chaleur (19 KW) et de l'électricité (7,5 KW).

Le système de chauffage est composé d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) à double flux et d'une batterie électrique de 2,2 KW assurant le chauffage de chaque logement ⁴³. Voir la figure (31) ci-dessous.

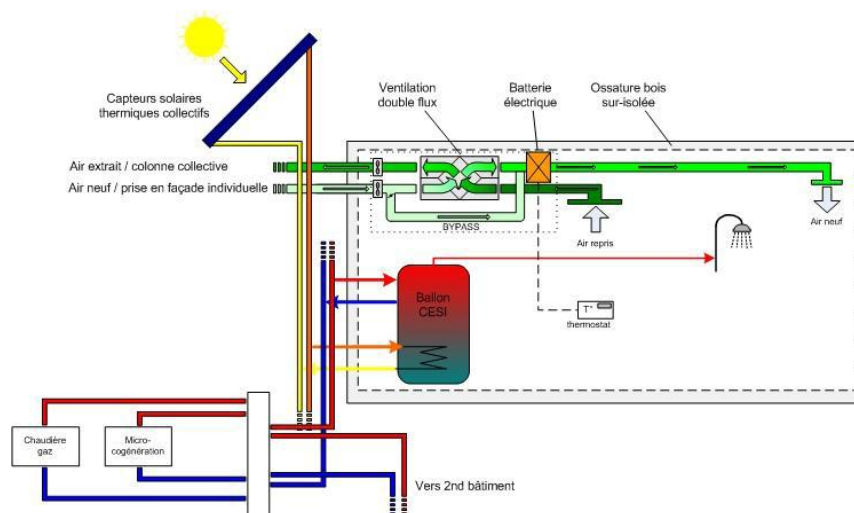


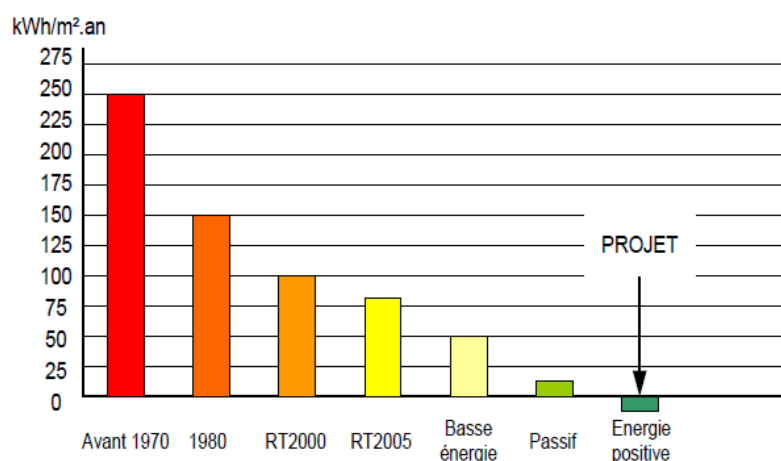
Figure (31): Schéma du chauffage et de production d'eau chaude sanitaire à travers les capteurs solaires. (source: F. LAUSECKER , «Les Héliades» Z.U.S. de Saint Roch Saint-Dié-Des-Vosges.pdf)

III.2.1.2- Concept « de la passivité à la positivité »:

Le projet doit tout d'abord atteindre, par sa conception, la passivité: c'est-à-dire rester < 15 kWh/m²/an, Comme montre le graphe (5) ci-dessous.

Puis, par la production d'électricité photovoltaïque et du chauffage solaire par panneaux intégrés aux toitures, passer du coté de la «positivité», pour environ 38.2kWh/m²/an en énergie primaire

⁴³ « Immeubles en bois à énergie positive à Saint-Dié-des-Vosges (88) », l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), juillet 2012.pdf



Graph (5): Situation énergétique prévisionnelle du projet des Héliades
(source: Résidence Les Héliades à St Dié des Vosges (88).PDF)

La positivité passe par l'intégration de capteurs solaires, thermiques et photovoltaïques. Leur position en partie haute permet d'optimiser le rendement des installations.

La présence d'un comble technique ventilé sous le champ de capteurs photovoltaïques a permis d'y installer les organes techniques comme les onduleurs, facilement accessibles comme le montre la figure (32) ci-dessous.

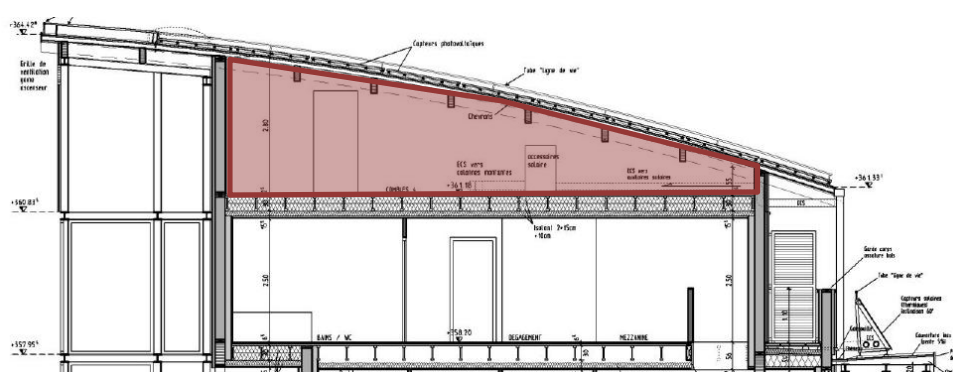
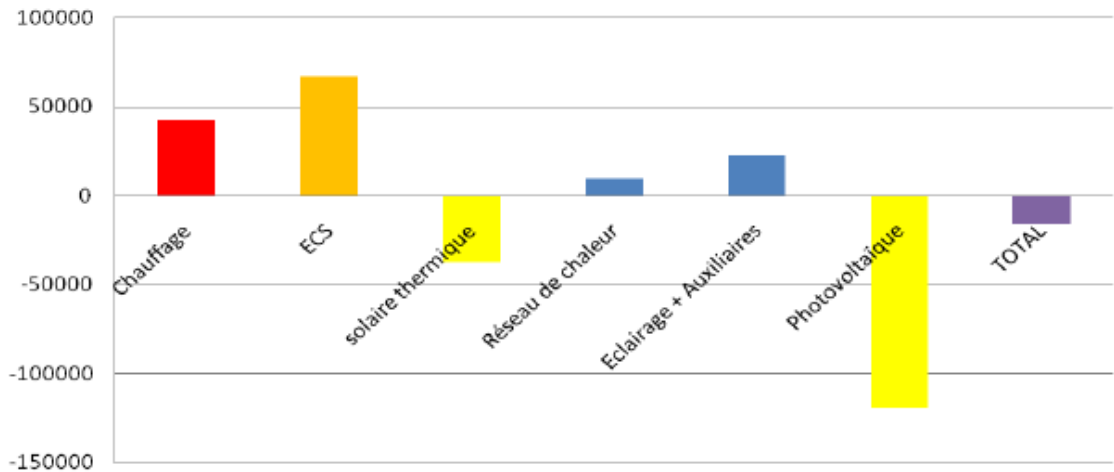


Figure (32): Coupe transversale du projet montrant le comble
(source: F. LAUSECKER , «Les Héliades» Z.U.S. de Saint Roch Saint-Dié-Des-Vosges.pdf)

III.2.1.3- Répartition des consommations et apports du projet:



Graphe(6) : Répartition des consommations et apport du projet

(source: F. LAUSECKER , «Les Héliades» Z.U.S. de Saint Roch Saint-Dié-Des-Vosges.pdf)

Le graphe (6) montre que le bilan global du projet est positif en énergie primaire grâce à l'intégration des capteurs solaires thermiques et photovoltaïques ce qui lui rend un bâtiment à énergie positive qui produit de l'énergie plus qu'il consomme.

III.2.2- Exemple national: la maison solaire à Suidania, Alger

III.2.2.1- Situation géographique du projet:

La maison se situe à Alger, plus exactement dans le village de Suidania. Elle a été construite à coté du siège du CNERIB (centre national d'étude et de recherche intégrée du bâtiment). Voir le figure de situation (33)



Figure (33): Situation géographique de la maison à l'intérieur du CNERIB

(source: Google earth 2015)

III.2.2.2- Description du projet :

Le projet étudié est classé comme un projet pilote de construction d'une maison à haute efficacité énergétique, qui s'inscrit dans le cadre du programme MEDENEC(Energy Efficiency in the construction Sector of the Mediterranean) de l'Union européenne, a été réalisé en partenariat avec le CNERIB (Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment) et le CDER(Centre de Développement des Energies Renouvelables). Le programme a pour objectif de relancer les mesures relatives à l'efficacité énergétique et à l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur de la construction, en vue de réduire la consommation énergétique dans les pays du bassin méditerranéen



Figure (34): Vue du côté Sud-est de la maison prototype étudiée

(source: « *Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison prototype en période d'été,* »
Revue des Energies Renouvelables.)

La maison est une habitation rurale de type F3 voir la figure (34) ci-dessus, elle possède deux chambres: la chambre 1 est positionnée du côté Sud-ouest et la chambre 2 est positionnée du côté Nord-ouest. La salle de séjour a une grande fenêtre orientée vers le Sud pour bien profiter de l'éclairage naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière et une porte-fenêtre orientée vers l'Est. La cuisine est du côté Est, et enfin la salle de bain et les toilettes sont orientées vers le Nord¹. Comme le montre la figure (35) ci-dessous.

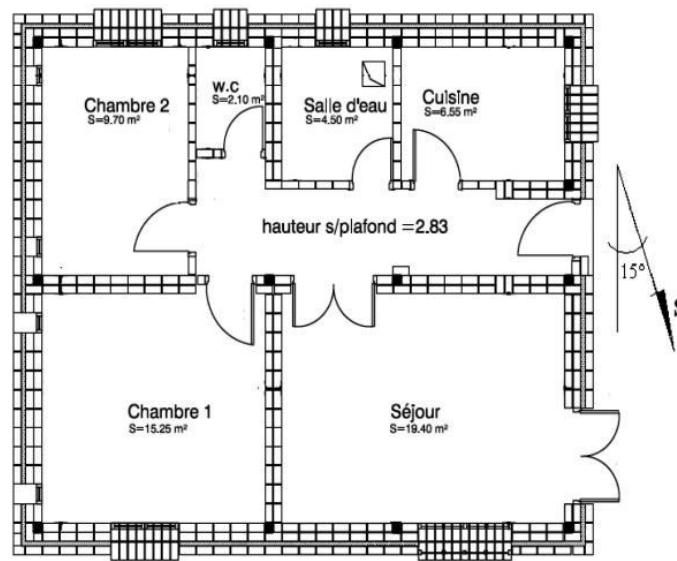


Figure (35): Plan de la maison

(source: L. Derradji , F. Boudali, Errebai , M. Amara, Y. Maoudj , K. Imessad et F. Mokhtari (2013)
 « Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison prototype en période d'été, » Revue
 des Energies Renouvelables.)

Cette habitation solaire possède certaines caractéristiques passives et actives au même temps. Parmi les mesures d'efficacité énergétiques utilisées dans ce projet pilote, on cite:

- Utilisation des matériaux locaux, BTS (Béton de Terre Stabilisé) : c'est un système intéressant de par sa consommation énergétique, ses propriétés sismiques, ainsi que la disponibilité locale de la matière première ;
- Climatisation passive ;
- Grande inertie thermique : Plancher bas : 15 cm béton lourd (chauffage par plancher hiver). Plancher haut : 20 cm béton (climatisation été) ;
- Isolation horizontale et verticale (16 cm EPS en plancher haut, 9 cm EPS murs extérieurs et 6 cm PSX plancher bas) ;
- Eau chaude solaire pour les besoins domestiques à appoint gaz séparé ;
- Plancher solaire direct (PSD) : 8 m² de capteurs solaires plans ;
- Végétation façade ouest : protection contre les vents froids hivernaux ;
- Ombrage (diminution de la charge de climatisation) : protections solaires horizontales et verticales;

- Optimisation de l'éclairage naturel et utilisation d'appareils électriques à basse consommation.⁴⁴

III.2.2.3- Plancher chauffant solaire et principe de fonctionnement:

Le système est composé de quatre capteurs solaires, du plancher chauffant, d'un ballon d'eau chaude solaire et d'un fluide caloporteur (*eau*) comme montre la figure (36) .

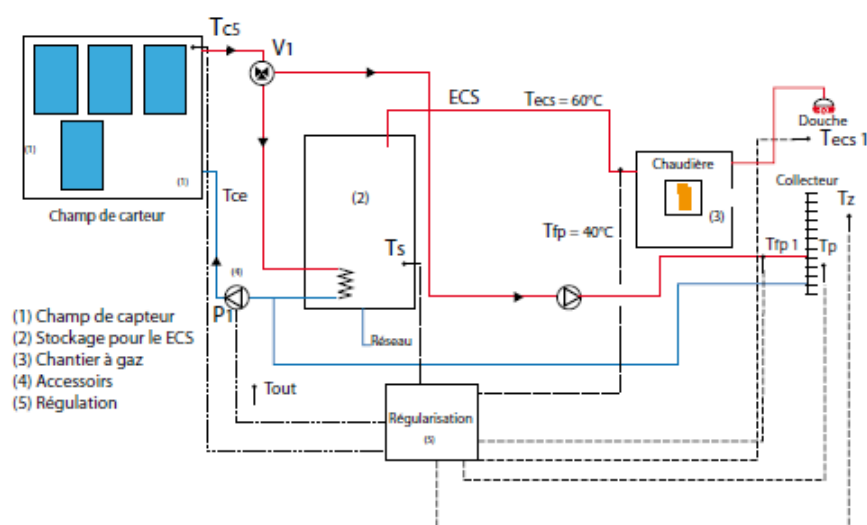


Figure (36): Schéma descriptif de l'installation

(source: SEMMAR Djaffar , MOKHTARI Fatiha, HAMID Abdelkader , LAFRI Djamel (2013)
« Simulation d'un plancher chauffant solaire dans un Habitat », 16èmes Journées Internationales de
Thermique (JITH 2013) Marrakech Maroc).

Grâce à une forte inertie de la dalle, le fluide peut stocker et restituer la chaleur produite. Dans notre modèle, les locaux chauffés sont le séjour et les chambres (chambre1, chambre2).

⁴⁴ SEMMAR Djaffar , MOKHTARI Fatiha, HAMID Abdelkader , LAFRI Djamel (2013), « simulation d'un plancher chauffant solaire dans un Habitat », 16èmes Journées Internationales de Thermique (JITH 2013) Marrakech (Maroc).



Figure(37) : Pose du serpentin (chambre 1)



Figure (38): Pose du serpentin sur l'ensemble de la maison

(source: SEMMAR Djaffar , MOKHTARI Fatiha, HAMID Abdelkader , LAFRI Djamel (2013)
« *Simulation d'un plancher chauffant solaire dans un Habitat* », 16èmes Journées Internationales de Thermique, Marrakech Maroc)

La distribution des tuyauteries est faite d'une manière pour assurer une répartition homogène de la température à l'intérieur du local à chauffer (Figures 37 et 38)⁴⁵.

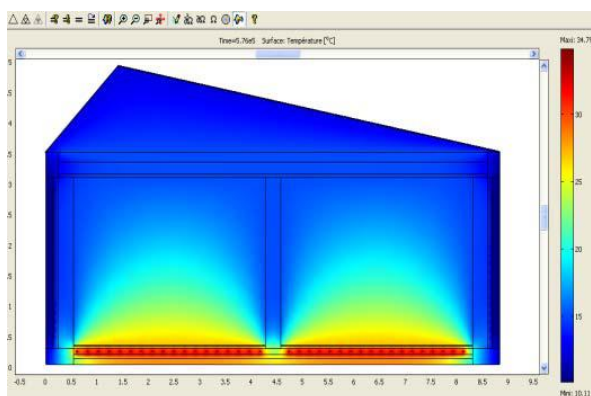
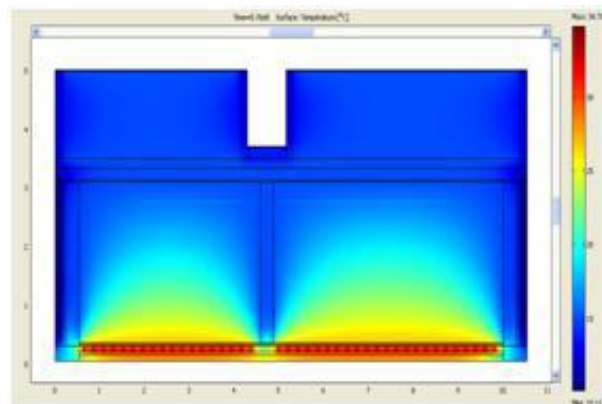


Figure (39): Coupe suivant l'axe Nord-sud



Figure(40): Coupe suivant l'axe Est-ouest

(source: SEMMAR Djaffar , MOKHTARI Fatiha, HAMID Abdelkader , LAFRI Djamel (2013)
« *Simulation d'un plancher chauffant solaire dans un Habitat* », 16èmes Journées Internationales de Thermique, Marrakech Maroc).

⁴⁵ SEMMAR Djaffar , MOKHTARI Fatiha, HAMID Abdelkader , LAFRI Djamel (2013), « *simulation d'un plancher chauffant solaire dans un Habitat* », 16èmes Journées Internationales de Thermique (JITH) Marrakech (Maroc).

Une étude numérique a été effectuée sur l'ensemble de la maison à l'aide du logiciel *Comsol Multiphysics* comme le montre les deux figures (41) et (42) qui montrent de la propagation de la chaleur d'un système de chauffage d'habitat par plancher chauffant solaire est répandue sur le plancher de tous les espaces de la maison et qui peut atteindre la température de confort et satisfaire les besoins en chauffage pendant la période hivernale.

Conclusion:

En Algérie, plusieurs programmes sont lancés afin d'améliorer l'exploitation des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire et l'intégrer au sein des habitations, mais y a toujours une médiocrité de fabrication et de maîtrise d'installation des capteurs solaires, et c'est la raison qui explique le retard par rapport aux pays développés qui sont connus par la diffusion des quartiers écologiques et durables et par les projets de maisons actives, mais aussi par l'importation des capteurs solaires. En revanche, des tentatives qui sont toujours en voie de se développer notamment la construction d'une maison prototype à Suidania, qui est le seul projet pilote d'une habitation dotée par des caractéristiques passives et actives au même temps et qui reste le seul projet sur lequel des études et des analyses sont effectuées.

Le prochain chapitre, sera pour but d'étudier un appartement ordinaire et d'intégrer l'énergie solaire thermique afin de réduire sa consommation énergétique de point de vue chauffage.

Troisième partie :

Effet de
l'intégration des capteurs
solaires dans un bâtiment
existant

Troisième Partie:

Effet de
l'intégration des capteurs
solaires dans un bâtiment
existant

Chapitre (IV):

Présentation du bâtiment choisi et
méthodologie de la simulation thermique

Introduction:

Dans le but de solutionner le problème de consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, nous avons choisi comme cas pour étude un appartement qui fait parti d'un immeuble collectif à Blida, équipé d'un système de chauffage classique basé sur l'utilisation du gaz naturel, nous avons analysé au 1^{er} temps la variation de température à l'intérieur et l'extérieur de l'appartement pendant la période hivernale dans le but d'avoir les besoins en chauffage pour la même période et poser le problème de la consommation énergétique élevée.

Pour cela, on commence par l'étude des données climatiques de la ville de Blida qui ont un fort impact sur le confort thermique de la maison, notamment la variation de température, l'humidité, les précipitations et les vents dominants. Ces données climatiques nous permettent aussi d'effectuer le diagramme de Givoni et de savoir dans quelle zone se situe notre ville afin de fixer les stratégies qui conviennent à notre cas d'étude. Cette étude climatique a une grande importance vis-à-vis les exigences techniques d'installation des systèmes énergétiques à savoir les calculs de surfaces de capteurs, leurs inclinaisons et orientations, le calcul du volume du ballon de stockage, etc.

IV.1- Présentation de cas pour étude:

La maison étudiée dans notre recherche se situe dans la ville de Blida plus exactement dans la commune de Ouled Yaich, comme montre la figure (45) ci-jointe.



Figure (41): Situation géographique du cas pour étude (source: google earth 2015)

La maison est un appartement qui fait parti d'un immeuble collectif de R+4 comme montre la figure (46), de type F3 au dernier étage de l'immeuble. L'appartement est occupé par une famille



Figure (42): L'aspect extérieur de l'immeuble (source : photo prise par l'auteur)

IV.2- Présentation de la ville de Blida:

La wilaya de Blida s'étend sur une superficie de 1482.8km², elle se situe dans la partie nord du pays, dans la zone géographique de Tel central. Elle est limitée au nord par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger, à l'ouest par la wilaya de Aïn Defla, au sud par la wilaya de Médéa et à l'est par la wilaya de Boumerdes et la wilaya de Bouira. Voir la figure (43).

Longitude: Greenwich Est: 2°50, **Latitude Nord:** 36°28

Altitude: 267 m du niveau de la mer.

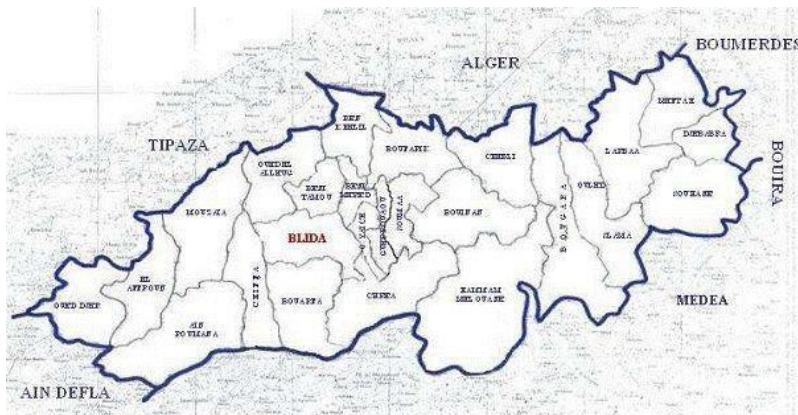


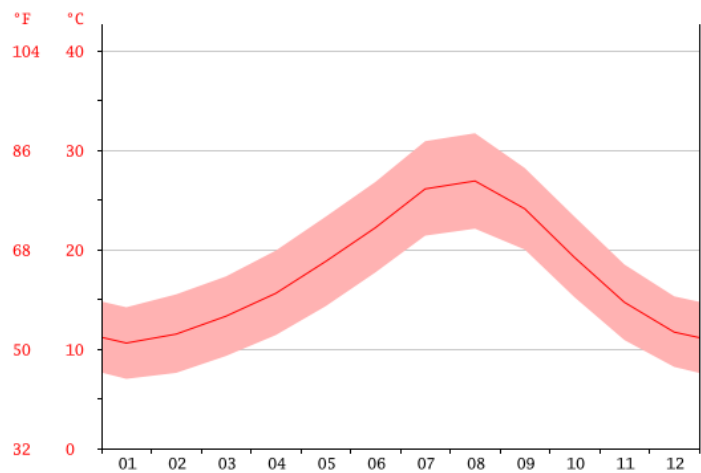
Figure (43): Situation géographique de la wilaya de Blida
(source: Blida, 2012, <http://wikimapia.org/9384390/fr/Blida>)

IV.3- Le climat de la ville de Blida:

IV.3.1- Les données climatiques de la ville de Blida:

De part sa situation géographique, le climat de Blida subit un double effet. D'une part les effets de la montagne de Chréa qui d'ailleurs n'est distante que de 25 KM, et d'autre part les effets de la mer méditerranée. Cette situation lui donne un climat particulier qui se caractérise essentiellement par deux saisons : - une saison chaude et sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre avec une moyenne de température de 35°C - une saison pluvieuse et froide avec un nombre de jours pluvieux de 50 à 70 jours s'étalant de la fin du mois de Septembre jusqu'au mois de Mars avec une moyenne pluviométrique de 500 à 700 mm et une moyenne de température de 12°C.

IV.3.1.1- Les températures:



Graph (7): Courbe de température moyenne de Blida (source: climat de Blida, www.climate-data.org)

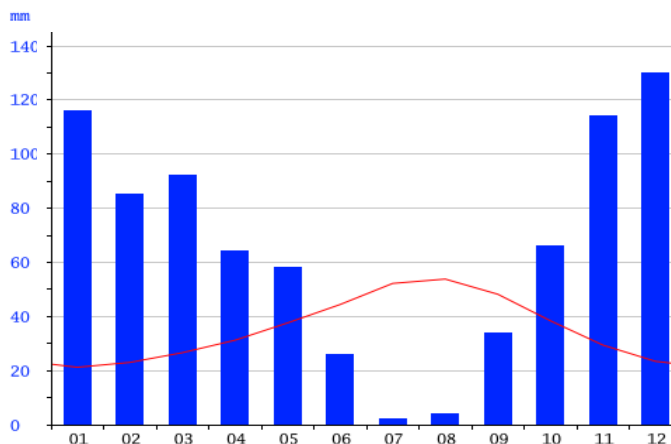
Selon le graphe (7) ci-dessus, la température moyenne maximale 26.9 °C fait du mois de Aout le mois le plus chaud de l'année et la température moyenne minimale 10.6 °C fait du mois de Janvier le mois le plus froid de l'année.

IV.3.1.2- Les précipitations :

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mm	116	85	92	64	58	26	2	4	34	66	114	130
°C	10.6	11.5	13.3	15.6	18.8	22.2	26.1	26.9	24.1	19.2	14.7	11.7
°C (min)	7.0	7.6	9.3	11.4	14.3	17.7	21.4	22.1	20.0	15.2	10.9	8.2
°C (max)	14.2	15.5	17.3	19.9	23.3	36.8	30.9	31.7	28.2	23.3	18.5	15.3

Tableau (3) :Table climatique de Blida
(source: climat de Blida, www.climate-data.org)

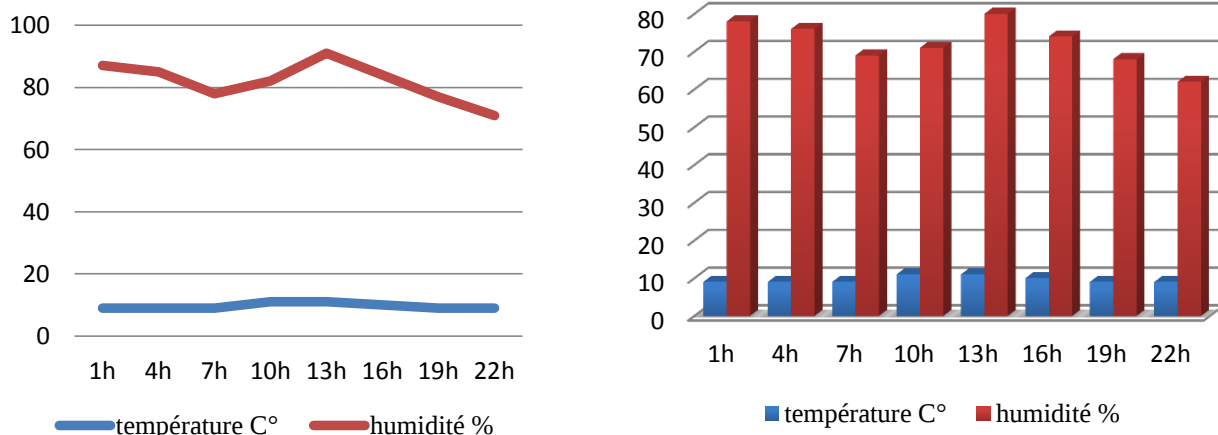
Selon le tableau (3) ci-dessus, entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 128 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 16.3 °C.



Graphe (8): Digramme climatique de Blida
(source: climat de Blida, www.climate-data.org)

Selon le graphe (8) ci-dessus, le mois de juillet est le mois le plus sec, avec seulement 2 mm. Une moyenne de 130 mm fait du mois de décembre le mois ayant le plus haut taux de précipitations.

IV.3.1.3- L'humidité relative:

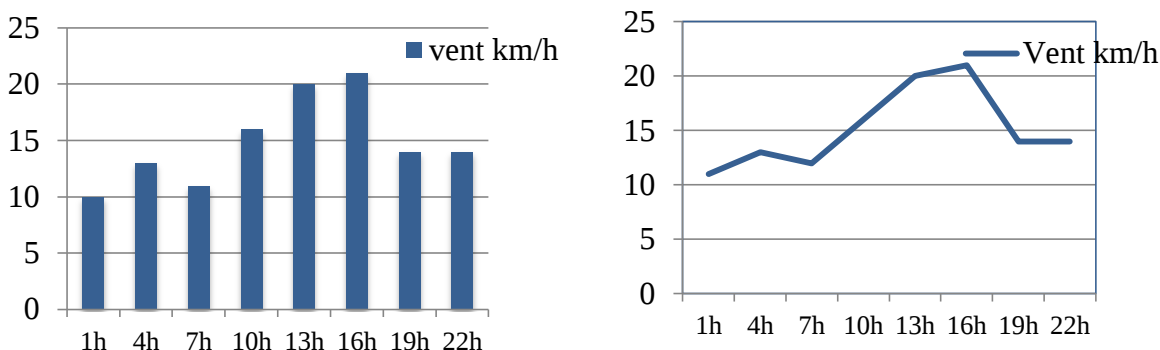


Graphe (9): Taux d'humidité par rapport à la température
(source: climat de Blida, www.climate-data.org)

Malgré l'éloignement de la mer, Blida est caractérisée par des humidités considérables à cause de la situation entre la zone de Chréa qui contient un couvert végétal dense et la plaine de la Mitidja. Le graphe (9) présente la variation de l'humidité par rapport à la température durant la journée.

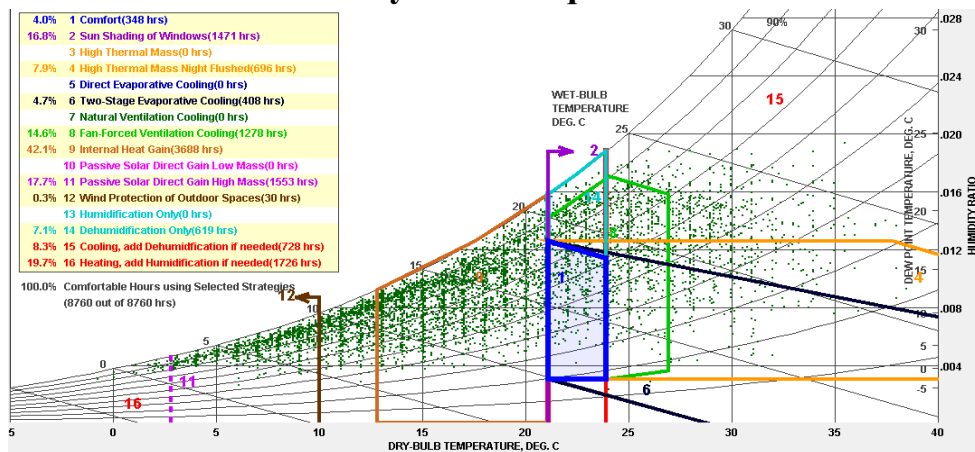
IV.3.1.4- Le vent:

Les vents dominants dans la région de Mitidja sont d'une direction Nord-est et Nord-ouest, les montagnes de Chrea sont une barrière naturelle contre les vents de direction Sud connus par le nom « Siroco », le graphe (10) montre la variation de la vitesse du vent dans une journée en hiver.



Graphe (10): La vitesse moyenne du vent durant la journée
(source: climat de Blida, www.climate-data.org)

IV.3.2-Conclusion de l'analyse climatique:



Graphe (11): Diagramme de Givoni effectué par le logiciel climate consultant 5.3
(source: auteur)

Selon le diagramme de Givoni, voir le graphe (11) , notre ville se situe principalement dans la 2ème et la 3ème zone à savoir la zone de chauffage et de gains internes et donc les stratégies recommandées sont:

Recommandations	
En hiver	En été
Gains de chaleur interne	Ventilation naturelle
Gains solaires passifs directes	Protection solaires des fenêtres
Protection contre les vents des espaces extérieurs	Refroidissement par évaporation
Chauffage et humidification nécessaires	Refroidissement et déshumidification nécessaires
Utilisation du chauffage actif est préférable (chauffage solaire)	Utilisation de climatisation active est préférable (climatisation solaire)

Tableau (4): Les recommandations de construction selon le diagramme de Givoni
(source: Auteur)

Le climat de la ville de Blida est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec une saison hivernal froide relativement humide et une saison estivale chaude sèche.

À partir de cette analyse climatique effectuée, il s'avère très important de prendre le climat en considération soit en amont de la construction du projet soit en phase de correction des aspects thermiques d'une habitation existante.

IV.4- Organisation et composition de l'appartement:

L'appartement est d'une surface totale de 81.64 m² et un volume de 218.88m³, réparti sur deux chambres, un grand salon, cuisine, salle de bain, WC, loggia et le hall. voir la figure (44). La façade principale du bâtiment est orienté en ouest.

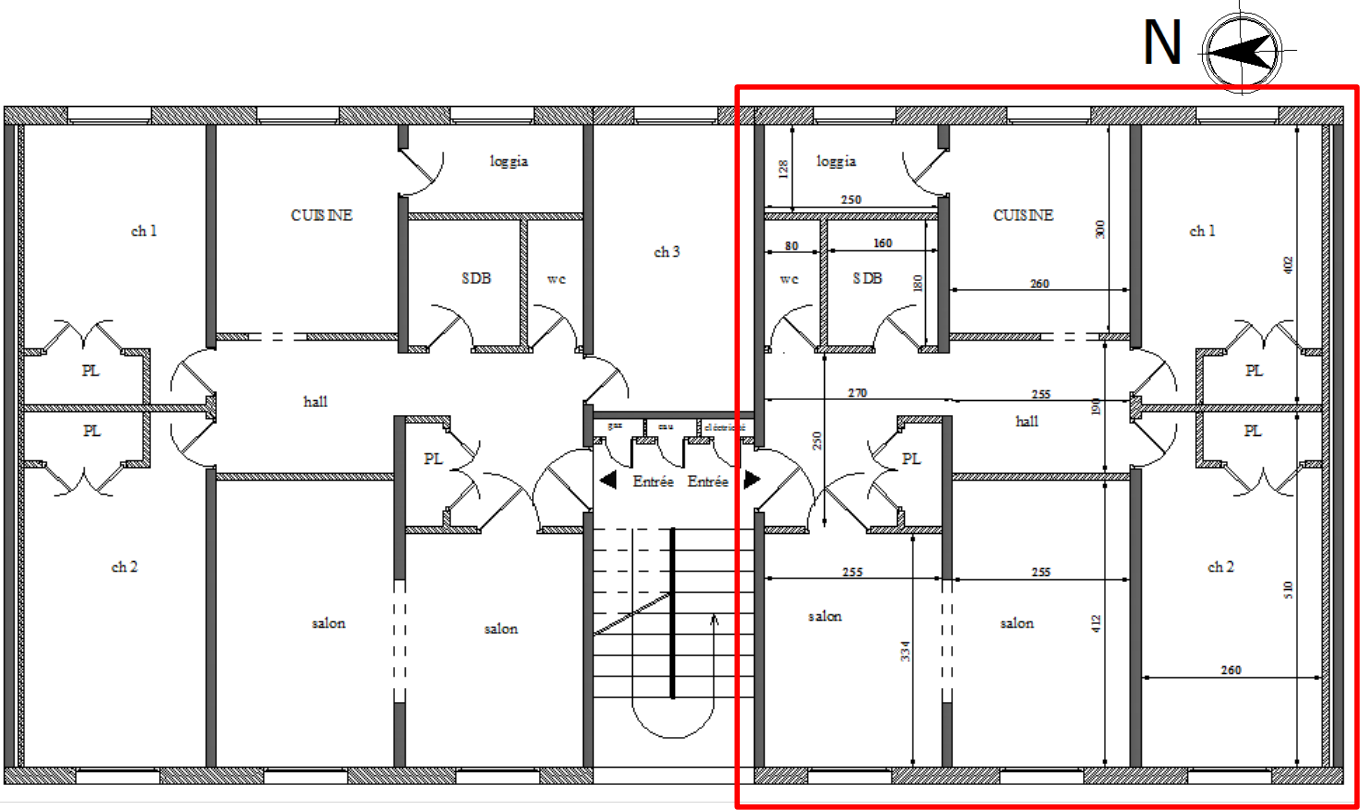


Figure (44): Plan de l'appartement (source: Dessin par AUTOCAD effectué par l'auteur)

ESPACE	SURFACE (M ²)	ORIENTATION
Chambre (1)	10.45	Est
Chambre (2)	13.26	Ouest
Cuisine	7.8	Est
Loggia	3.2	Est
Salon	19.02	Ouest
SDB	2.88	
WC	1.44	
Hall	10.30	

Tableau (5): L'orientation des différents espaces (source: Auteur)

L'appartement est conçu selon la réglementation parasismique vu que la ville de Blida est située dans la zone sismique 2.

En terme de zonage, le bâtiment est pris dans le cadre de la présente étude pour un local mono-zone et non un appartement multizone à cause de la complexité relative à ce dernier, on peut le considérer mono-zone car l'objectif de notre recherche est d'étudier le système de chauffage pour tout l'appartement.

Mur extérieur:

Surface: 25.2m^2 / orienté est ; 25.2m^2 / orienté ouest.

composition	Enduit plâtre	Béton armé	Enduit plâtre
Epaisseur (m)	0.02	0.25	0.02

Tableau (6): Matériaux constituant un mur extérieur orienté Est (source: Auteur)

- **Mur extérieur:**

Surface : 27.66m^2 /orienté :sud

composition	Enduit plâtre	Brique	Lame d'air	Béton armé	Enduit plâtre
Epaisseur (m)	0.02	0.1	0.05	0.15	0.02

Tableau (7): Matériaux constituant un mur extérieur orienté Sud (source: Auteur)

- **Mur extérieur (voile):**

Surface: 27.66 m^2 / orienté nord.

composition	Enduit plâtre	Béton armé	Enduit plâtre
Epaisseur (m)	0.02	0.15	0.02

Tableau (8): Matériaux constituant un voile orienté Nord (source: Auteur)

- **Plancher haut:**

Surface: 81.64m²

composition	Enduit plâtre	Plancher avec entrevous en béton	Isolant polystyrène expansé	Mortier de ciment	gravier
Epaisseur(m)	0.02	0.2	0.05	0.03	0.05

Tableau (9): Matériaux constituant un plancher haut (source: Auteur)

- **Plancher bas:**

Surface: 81.64m²

Composition	carrelage	Mortier de ciment	Plancher avec entrevous en béton	Enduit plâtre
Epaisseur (m)	0.03	0.02	0.2	0.02

Tableau (10): Matériaux constituant un plancher bas (source: Auteur)

IV.5- Environnement de simulation TRNSYS:

IV.5.1- La simulation dynamique:

La simulation thermique dynamique permet de faire « vivre virtuellement» le bâtiment sur une année entière, afin d'étudier son comportement prévisionnel pour des résultats proches de la réalité.

Aujourd'hui, il est devenu indispensable, pour concevoir des bâtiments neufs ou les Rénover en haute performance énergétique, le recours aux outils de simulations. L'outil de simulation thermique dynamique (STD), permet de modéliser les bâtiments et de mesurer l'impact de chaque paramètre de la construction sur le niveau de la performance énergétique du bâtiment. Elle peut être utilisée en phase APS (avant-projet sommaire), c'est même à ce moment là qu'elle a une véritable utilité. ⁴⁶

⁴⁶ TRaNsient SYstem Simulation, « l'environnement de TRNSYS », CSTB.PDF

- **Principes d'une simulation thermique dynamique :**

La simulation thermique dynamique est basée sur la construction et la modélisation d'un bâtiment sous un logiciel de simulation, puis l'analyse de ses interactions avec son environnement au pas de temps horaire tout au long de l'année, avec des données météo locales, en fonction de ses paramètres et de ses matériaux de construction.

- Paramètre d'entrée : (modélisation du bâtiment et hypothèses d'usage)

- Structure : orientation, isolation, vitrages,
- Intérieurs : occupation, usage, consigne, apports gratuits des équipements,
- Extérieurs : température, course du soleil, vents, données météo locales

- Paramètre de sortie : (résultats de l'étude)

- Evolution des températures une heure par heure pour chaque zone du bâtiment.
- Besoin de chauffage ou de Climatisation nécessaire.
- La facture énergétique.

IV.5.2- Le logiciel de simulation thermique TRNSYS:

Le logiciel de simulation TRNSYS est un environnement complet et extensible, dédié à la simulation dynamique des systèmes. Développé par le CSTB (centre scientifique et technique du bâtiment) dans le cadre de collaborations internationales, TRNSYS est aujourd'hui la référence au niveau mondial de la simulation dynamique des bâtiments. Plusieurs centaines de composants TRNSYS sont disponibles, couvrant un large spectre d'applications: (Energie solaire, Eoliennes, Hydraulique, Microcontrôleurs, Photovoltaïque, Piles à combustibles, Plafond et Plancher rayonnant, Pompes chaleur, Régulation, Stockage d'énergie intersaison, Systèmes de climatisation, Thermique du bâtiment, Tours de refroidissements, Turbines à gaz, Matériaux à changement de phase, piles à combustible,...).⁴⁷

⁴⁷ « Quel est TRNSYS? », www.trnsys.com

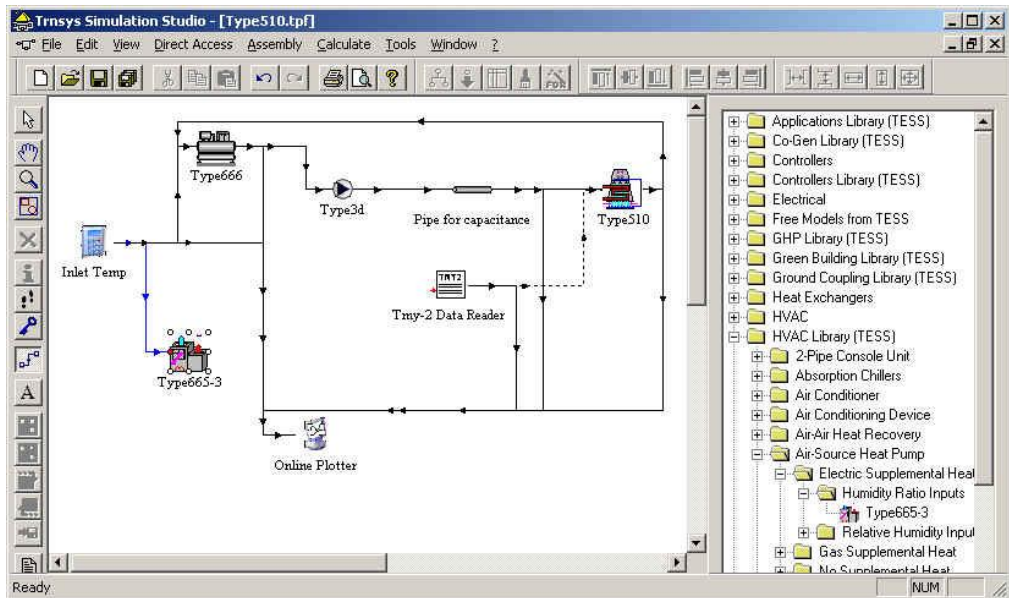


Figure (45): L'interface du logiciel TRNSYS 16 (source: TRNSYS, www.trnsys.com)

- TRNSYS est un logiciel de simulation dynamique, il permet le calcul des Performances techniques : des bâtiments mono ou multizones, des équipements thermiques et des systèmes thermiques. Ces simulations peuvent être couplées avec les conditions météorologiques, les scénarios d'occupation et l'utilisation de différentes formes d'énergie.
- TRNSYS évalue le niveau de confort thermique d'un bâtiment par rapport à son environnement climatique et le choix opéré sur son système thermique (type de chauffage, niveau d'isolation, orientation des pièces...).
- TRNSYS évalue des systèmes de chauffage et de climatisation des plus simples au plus complexes, comme les systèmes solaires innovants, grâce à une bibliothèque de 50 familles de composants.

•Avantage :

- Grâce à son approche modulaire, TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées).
- L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des

composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.

- Une vaste documentation sur les sous-programmes y compris des explications, les usages usuels et les équations de base.
- Une définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation.

•Inconvénients :

Pas de valeur ou de système par défaut, l'utilisateur doit donc posséder et introduire l'ensemble exhaustif des données définissant le bâtiment et le système.

IV.5.3-Les démarches de la simulation thermique du cas pour étude:

L'objectif principal de notre recherche est de vérifier la faisabilité et le rendement d'une installation solaire thermique intégrée dans un bâtiment en se basant sur une simulation dynamique thermique par le logiciel TRNSYS version 16. Cependant, l'utilisation de ce logiciel a pris énormément du temps vu la complexité du logiciel qui est d'une part dédié aux ingénieurs en énergie renouvelable et d'autre part la difficulté de trouver une personne qui le maîtrise et qui accepte de donner de l'aide. Pour cela, il nous fallait au 1^{er} temps de visiter le CDER (centre de développement des énergies renouvelables) et le CNERIB (centre national d'étude et de recherche intégré au bâtiment) afin de demander l'aide pour l'utilisation du logiciel. Cependant, une légère explication sur l'interface du logiciel et ses différentes options de la part de Mme Kharchi Razika au CDER et Mr Derradji Lotfi au CNERIB n'était pas suffisante pour réaliser une telle simulation, ce qui nous a poussé à contacter pas mal de personne de France, de Maroc et de d'autres wilayas d'Algérie et la seule réponse était de la part d'un diplômé en master 2 en génie climatique et énergétique de l'université de Mentouri à Constantine Mr Taibi Hamza ainsi qu'un doctorant dans la même université et la même option Mr Bennoui Salah. Leur expériences et connaissances dans le domaine et leur maîtrise du logiciel ainsi que leur suivis et corrections m'ont vraiment aidé à comprendre et à pouvoir faire le schéma de l'installation solaire par le logiciel TRNSYS 16.

La figure (46) ci-dessous présente le schéma de l'appartement étudié effectué par le TRNSYS 16 avant l'intégration des capteurs solaires, il s'agit juste de relier entre l'appartement type (56), le fichier du météo correspondant à la ville de Blida ainsi que les deux éléments responsables sur l'affichage des résultats de la température et les besoins du chauffage

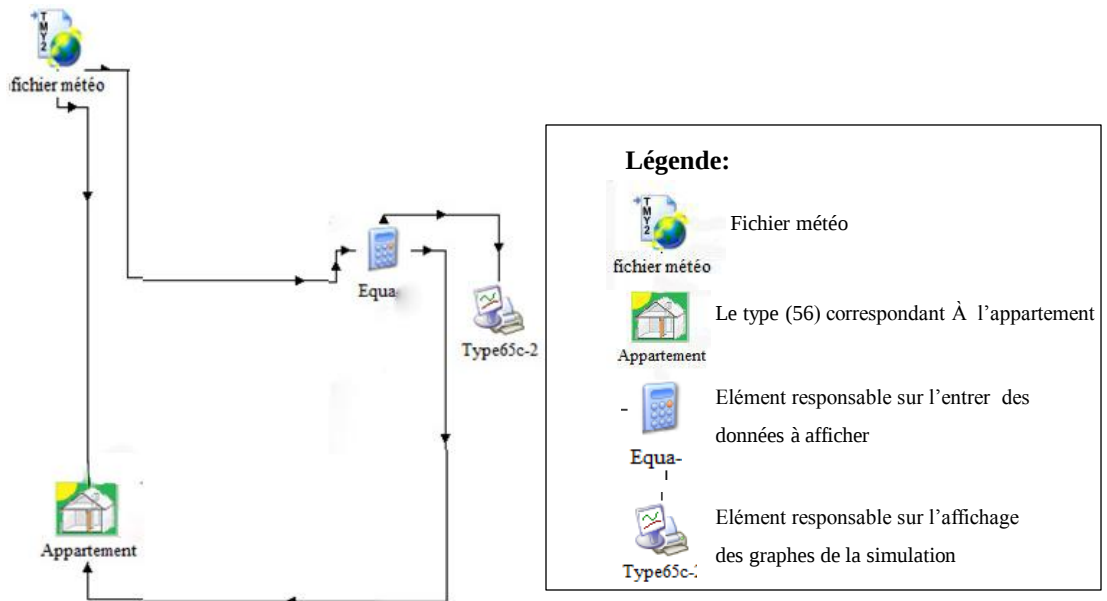


Figure (46): Schéma d'installation avant l'intégration des capteurs solaires effectué par TRNSYS (source:auteur)

IV.6- Evaluation des besoins énergétiques en chauffage du cas pour étude:

Dans notre recherche, nous allons se limiter à l'évaluation des besoins de chauffage seulement vu le manque de temps et la complexité de l'utilisation du logiciel pour évaluer les besoins de chauffe-eau.

Cette étape consiste à paramétrer le logiciel TRNSYS avec les données caractéristiques du cas d'étude à l'aide d'une interface graphique annexe TRNBUILD (Type 56), voir la figure (47) ci-dessous. D'abord, on prend l'appartement étudié en tant qu'une seule zone thermique comme montre la figure (48) ci-dessous. Ensuite, on commence à faire entrer les données de l'appartement à savoir sa surface totale, le volume et la composition des quatre murs qui entourent la maison ainsi que la

composition du plancher bas et plancher haut comme montre les tableaux précédents (6 à 10), on active le chauffage et on fixe la température du confort à 20°C. Enfin, on simule pour obtenir l'évolution de la température à l'intérieur et l'extérieur de l'appartement ainsi que les besoins énergétiques de chauffage.

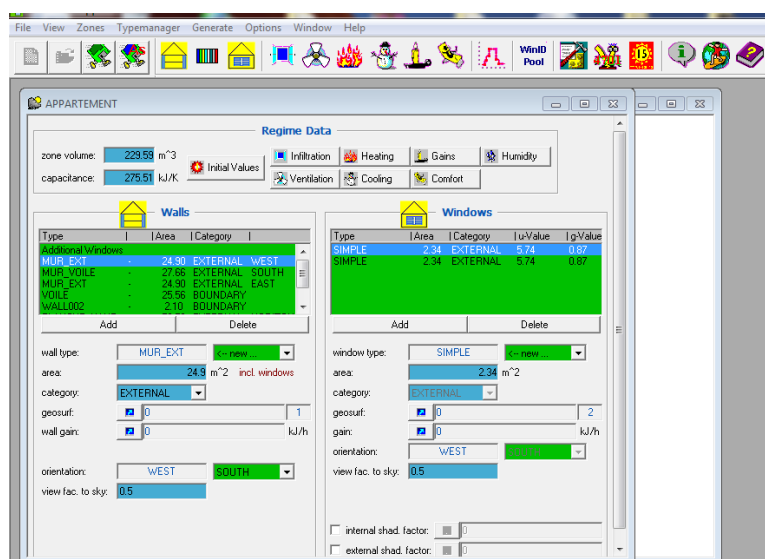


Figure (47): Interface de TRNBUILD (source: auteur)

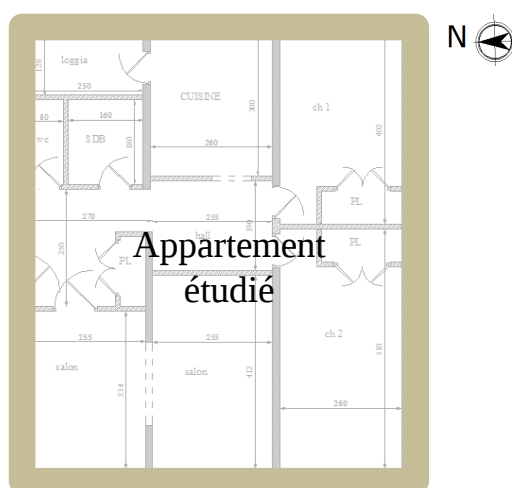
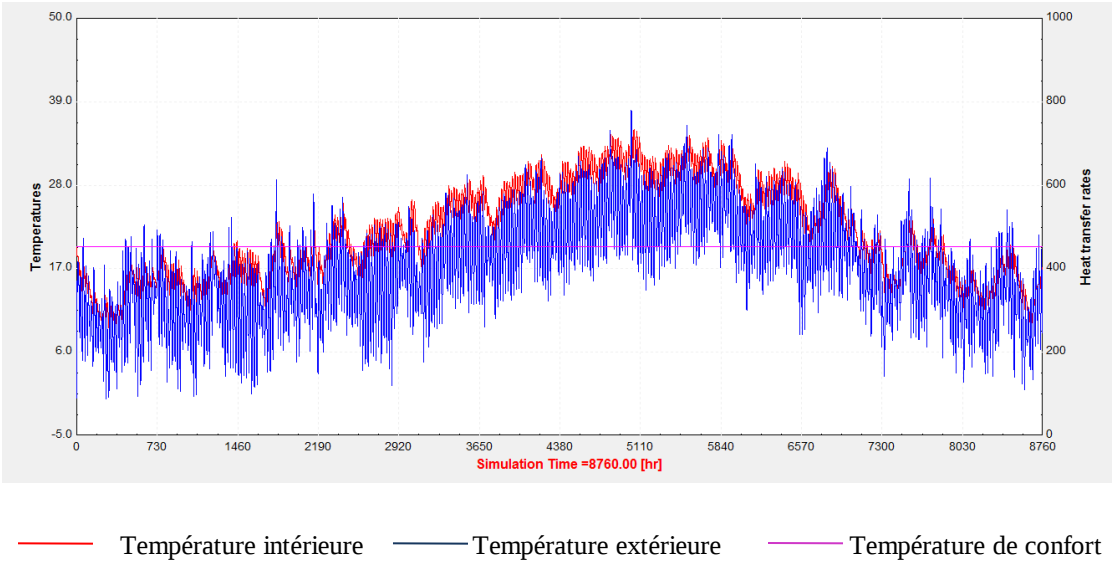


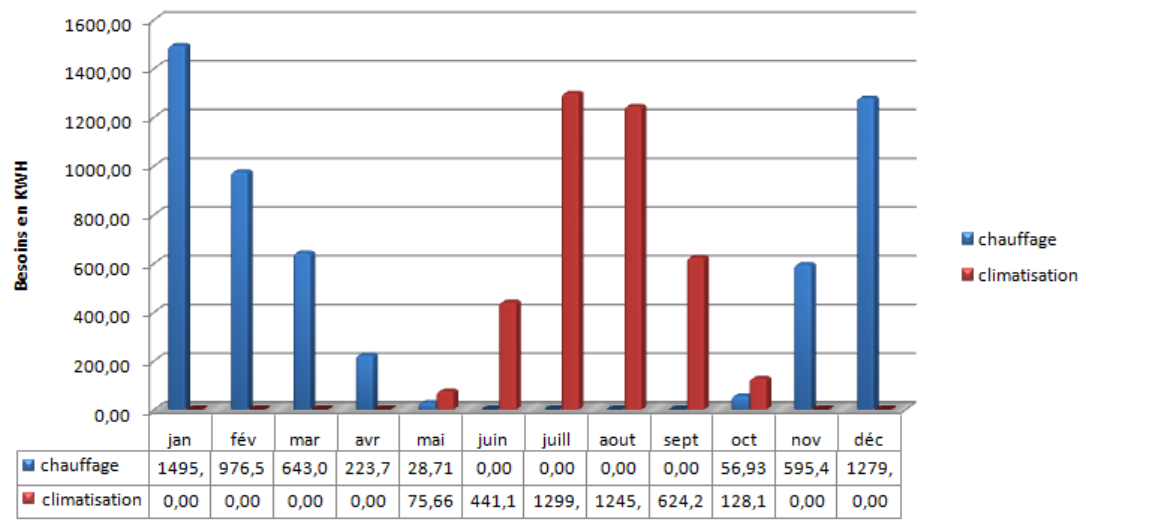
Figure (48) : l'appartement étudié en tant qu'une seule zone thermique (source: Auteur)

Le graphe (12) ci-joint est effectué à l'aide de logiciel TRNSYS (version16), il représente la variation des températures intérieures et extérieures de l'appartement étudié sans système de chauffage ni de climatisation pendant toute l'année.

On remarque selon le graphe qu'en hiver la température de l'intérieur est aussi élevée par rapport à celle de l'extérieur et cela est dû principalement à l'inertie du bâtiment, donc pour régler ce problème et assurer un confort de vie égal à 20°C, on opte à choisir un système de chauffage adéquat pour la maison.



Graphe (12): Variation des températures (intérieures et extérieures) annuelles sans chauffage ni climatisation (source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur.)



Graphe (13) : L'évolution mensuelle des besoins énergétiques en chauffage et climatisation (source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur.)

Selon le graphe (13) au-dessus, on remarque que pendant la période hivernale une demande très élevée de chauffage, qui est de l'ordre de 1495 KWh pour le mois de janvier et 1279 KWh pour le mois de décembre. Une total consommation du chauffage est égale à 5298.24 KWh.

Conclusion :

Les résultats obtenus dans ce chapitre concernent les besoins en chauffage à gaz naturel par rapport à la variation de température pendant les mois d'hiver . Nous avons arrivé à avoir ces résultats à partir d'une simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel TRNSYS 16 qui nous permet de constater la consommation d'énergie élevée qui atteint les 5298.24 KWH durant toute la période hivernale avec une consommation d'ordre de 1495 KWH pour le mois de janvier contre une température qui varie entre 6° 12°C, ce qui nous encourage à penser à l'utilisation d'un système du chauffage énergétique en intégrant les capteurs solaires thermiques.

Le chapitre prochain et le dernier sera consacré à l'analyse et l'interprétation des résultats de la 2ème simulation.

Troisième Partie:

Effet de
l'intégration des capteurs
solaires dans un bâtiment
existant

Chapitre (V):

Interprétation des résultats
de la simulation thermique

Introduction :

Ce chapitre se focalisera sur l'étude de l'impact de l'intégration des capteurs solaires thermiques sur la réduction de la consommation énergétique dans l'habitat collectif.

L'objectif assigné de ce travail est de vérifier la faisabilité et l'intégrité d'un système d'économie d'énergie en ce qui concerne le chauffage sur la problématique du maitrise d'énergie en Algérie, en tenant compte des données climatiques de la ville et les caractéristiques constructives de l'appartement . Cet objectif passe par la comparaison des besoins énergétiques de l'appartement étudié auparavant basé sur un système de chauffage en gaz naturel avec les besoins en énergie après l'intégration des capteurs solaires thermiques.

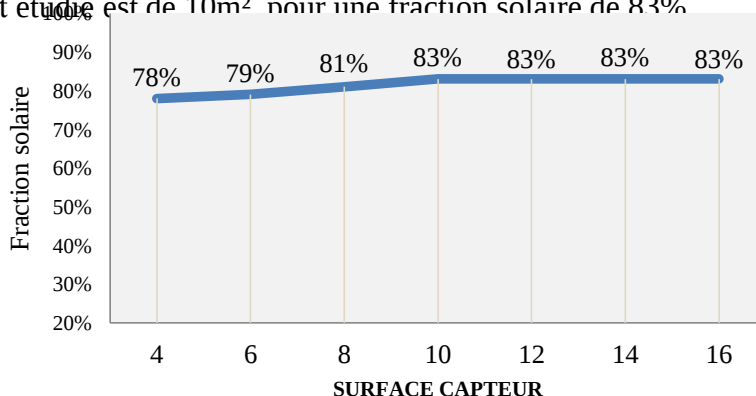
L'étude de la réduction de la consommation d'énergie sera étudiée en se basant sur une simulation dynamique thermique par le logiciel TRNSYS qui nous permet de déduire le pourcentage de réduction de consommation ainsi que l'émission du gaz à effet de serre et constater l'importance de l'exploitation de l'énergie solaire dans le secteur résidentiel.

V.1 – Dimensionnement de la boucle solaire:

V.1.1- Surface du capteur solaire :

Dans ce travail, nous avons choisi des capteurs plans sélectifs ayant les paramètres suivant: Rendement optique moyen = 0.8; $a_1 = 3.6 \text{ W/m}^2 \text{ K}^\circ$; $a_2 = 0.009 \text{ W/m}^2 \text{ K}^\circ$ (a_1 et a_2 sont les deux coefficients de déperdition thermique d'un capteur), vu que le rendement optique des capteurs plans varie entre 75 et 85% ⁴⁸ on prend le rendement moyen afin d'avoir les résultats les plus adéquats.

Pour le dimensionnement on s'est basé sur la simulation dynamique par le logiciel TRNSYS du système couplé au bâtiment pendant un jour choisi parmi les jours du mois de janvier qui est considéré comme le mois le plus froid de l'année, et nous avons choisi la surface de captation par rapport à la fraction solaire*, la méthode consiste à choisir une surface optimale par rapport à l'apport solaire tout en essayant d'économiser l'investissement, on s'appuie pour cela sur l'inclinaison de la tangente de la courbe de fraction solaire c'est exactement le point auquel la tangente commence à tendre vers l'horizontale, et dans notre cas selon le graphe (14), la surface choisie pour l'appartement étudié est de 10 m^2 pour une fraction solaire de 83%



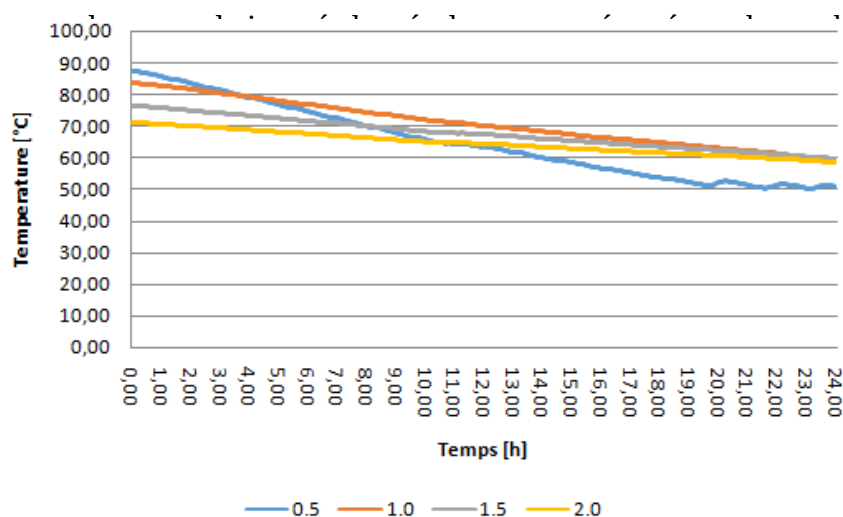
Graphe (14): variation de la fraction solaire selon l'augmentation de la surface de capteur (source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur)

⁴⁸ Le rendement de capteur solaire , consulté le 09septembre2015, <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16734#c20923>

* **Fraction solaire:** Part d'énergie solaire gratuite dans la consommation d'énergie globale d'une installation de chauffage, Plus on place de capteurs, plus le système solaire permettra de couvrir une partie importante du besoin énergétique pour le chauffage

V.1.2- Calcul du volume du ballon du stockage :

Le volume du ballon du stockage est choisi de manière à garder la température d'eau chaude stockée à une valeur de moyenne la plus élevée pour toute la période de fonctionnement du système, pour cela nous avons choisi pour le même jour de janvier précédemment utilisé pour le choix de la surface de capteur, nous allons simuler la variation de la température moyenne du ballon de 00h à 24h pour différents volumes, à chaque fois on change le volume du ballon et nous enregistrons la variation de température (15).



Graphique (15) : Variation de la température de stockage pour différents volumes
(source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur)

On observe selon le graphe que pour le plus petit volume du ballon de stockage, la température est maintenue à son maximum pendant la journée, cependant c'est la température la plus basse le soir et vu que le système fonctionne pendant les 24h, on va choisir le volume de **1m³**, car c'est le volume le plus adéquat au fonctionnement du système du chauffage solaire.

L'estimation totale des surfaces de capteurs et du ballon de stockage à installer pour tous le bâtiment nécessite en réalité une étude de chaque appartement à part vu la variation de plusieurs paramètres notamment: l'emplacement de chaque appartement, sa surface, son orientation ainsi que le nombre d'occupation des personnes.

cependant, on peut donner une estimation approximative des surfaces de capteurs, sachant que le bâtiment comprend 10 appartements et donc la surface totale des capteurs est environ 100m^2 et que chaque appartement soit doté de son propre ballon de stockage d'un volume de 1m^3 . Voir la figure (49) ci-dessous

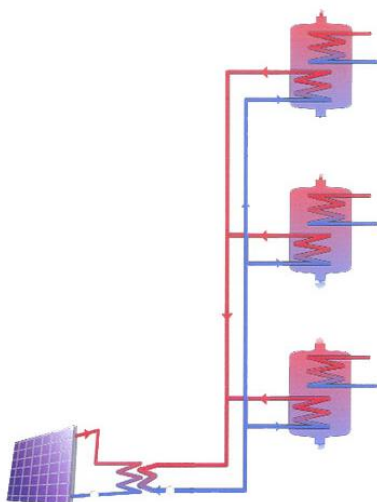


Figure (49): Schéma de principe de stockage individualisé

(Source: Amjahdi Mohamed, Lemake Jean (2011), « adopter le solaire thermique et photovoltaïque », édition Dunod, Paris, pg 55.)

V.2.- L'installation solaire thermique adaptée au cas pour étude:

L'installation solaire thermique est présentée sous forme de schéma explicative dans la figure (50) ci-dessous.

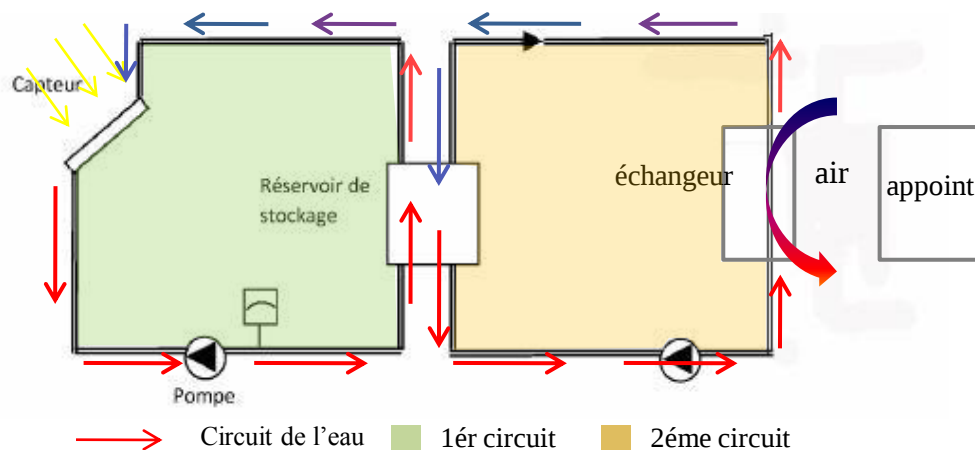


Figure (50): Schéma de l'installation solaire thermique de l'appartement étudié
(source: Auteur)

Dans notre installation solaire, on va choisir un chauffage qui se base sur le chauffage de l'air à partir de l'eau chaude. Pour cela, on va opter à l'utilisation d'une installation de chauffe eau solaire avec circulateur et échangeur à l'extérieur de réservoir de stockage qui est déjà étudié dans le chapitre (II), et on rajoute un échangeur thermique entre l'eau chaude et l'air ainsi qu'un appoint basé sur le gaz naturel.

Selon la figure (58), l'installation solaire thermique adapté à l'appartement se compose de deux circuit: le 1^{er} circuit relie entre le capteur solaire et le ballon de stockage, alors que le 2^{ème} relie entre le ballon de stockage et l'échangeur thermique qui à partir de lui l'air froid se réchauffe à partir de l'eau chaude. L'air réchauffé à partir de cette installation solaire est un air recyclé plutôt que neuf afin de réduire au maximum l'énergie consommée.

Le système d'appoint utilisé est basé sur le gaz naturel et il se met en marche en cas ou la température diffusée par l'installation solaire n'éteint pas la température du confort souhaitée.

La figure (51) ci-après représente l'installation solaire thermique de l'appartement faite par le logiciel TRNSYS 16 et qui explique la liaison entre les deux circuits précédemment expliqués.

Cette installation du chauffage solaire couplée avec un capteur solaire nous permet de voir la variation journalière de température à l'extérieur et l'intérieur de l'appartement, ainsi que les besoins du chauffage pendant la période hivernale.

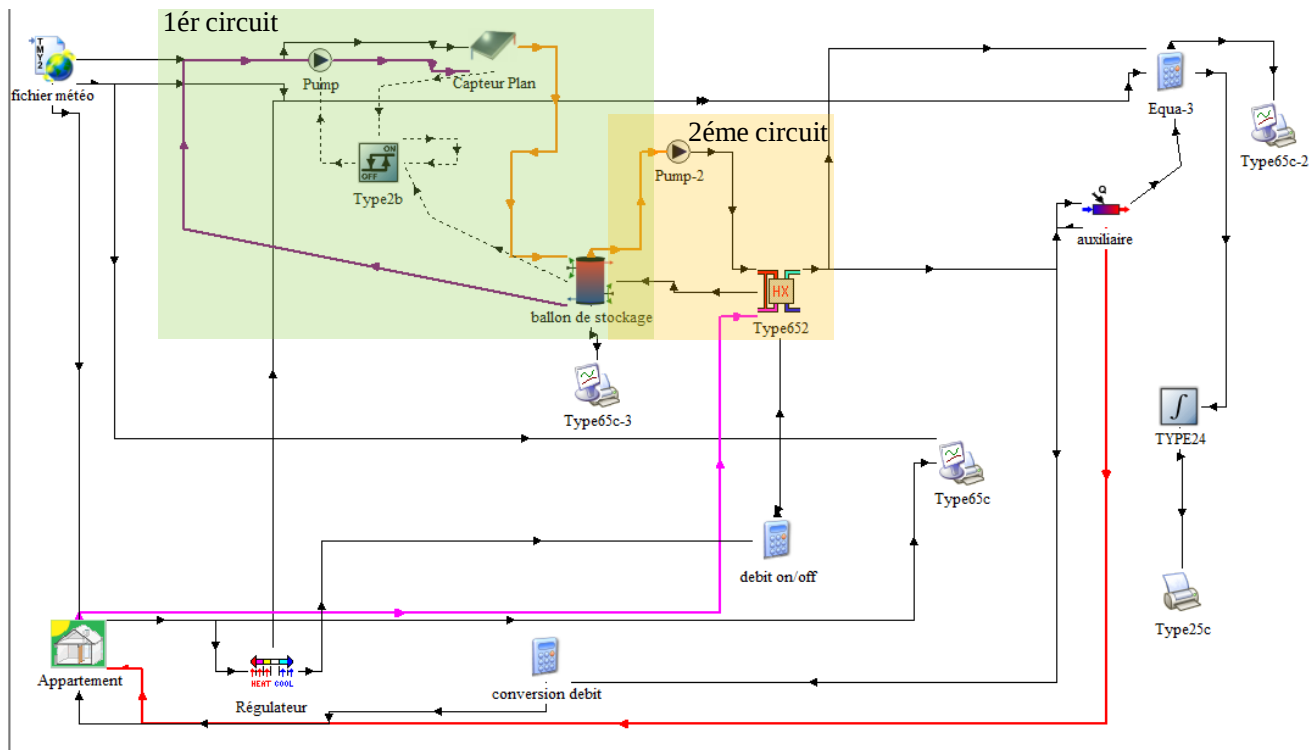


Figure (51): Schéma d'installation solaire thermique par TRNSYS (source: Auteur)

Légende :



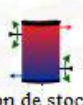
Capteur solaire de 10 m²

Capteur Plan



Un échangeur thermique entre l'eau chaude et l'air froid

Type652



Un ballon de stockage de 1m³

ballon de stockage



Un système d'appoint à gaz naturel

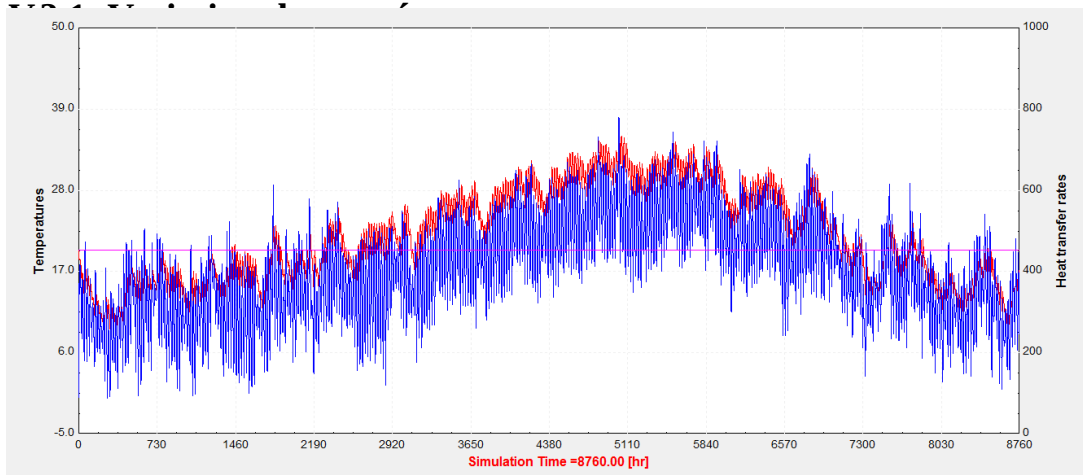


Un fichier météo des données climatiques de Blida

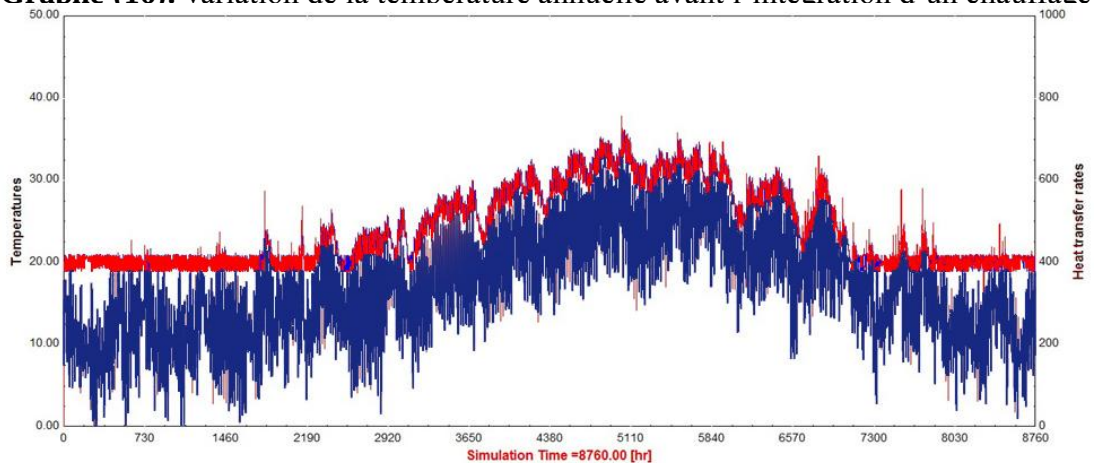


Un fichier comprend les paramètres de l'appartement

V.3- Résultats de simulation :



Graph (16): variation de la température annuelle avant l'intégration d'un chauffage

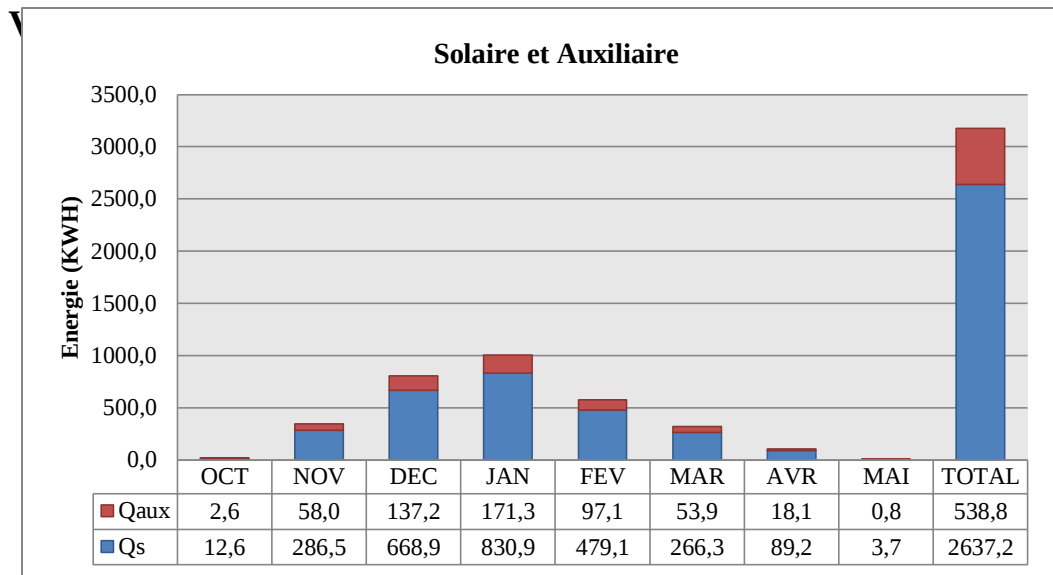


Graph (17): variation de la température annuelle après l'intégration d'un chauffage solaire (source: : simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur)

Selon le graphe (17) , l'hiver est caractérisé par une baisse de température à l'extérieure (en bleu) alors que la température intérieur (en rouge) se varie entre 19° et 21°C qui est considérée comme une température de confort à l'intérieur de l'appartement et qui peut répondre aux besoins des habitants pendant la période hivernale.

Cette température est assurée et maintenue durant tous les mois de l'hiver grâce à l'utilisation du chauffage solaire.

En comparant avec la variation de température précédente (avant l'intégration des capteurs solaires) présenté dans le graphe (16) ci-dessus, on remarque que grâce à cette étude nous avons pu atteindre la température du confort à l'intérieur de la maison malgré la baisse de température à l'extérieur.



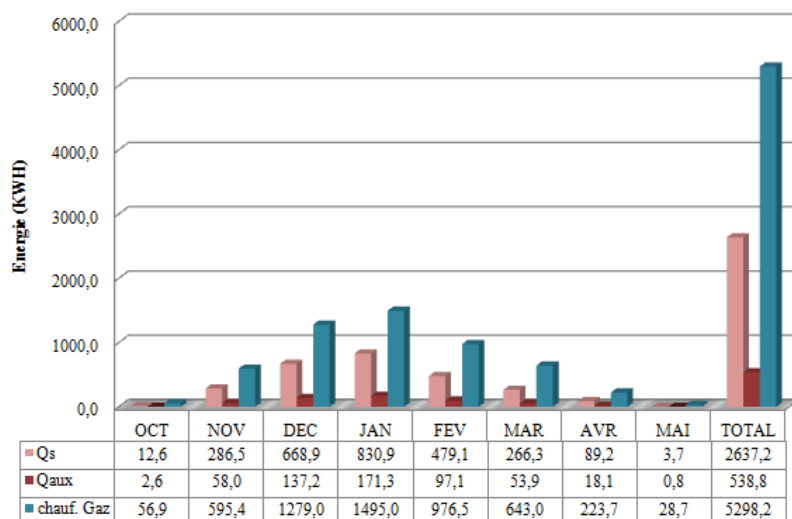
Graphe (18): Variation saisonnière du bilan d'énergie solaire et d'auxiliaire
(source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur)

Le graphe (18) ci-dessus présente la consommation d'énergie thermique par le système de chauffage solaire couplé à l'appartement.

On remarque que pour la ville de Blida la consommation totale d'énergie peut atteindre 3176 KWH pour la saison hivernale, et cela pour une valeur de 2637.2 KWH d'énergie solaire contre seulement 538.8 KWH d'énergie auxiliaire (chauffage à gaz naturel). Une économie d'énergie totale est d'ordre de 83% , ce pourcentage d'économie d'énergie peut atteindre 82.9% pour le mois de janvier qui est considéré comme le mois le plus froid de l'année et 82.2% pour le mois de mai qui est le mois le moins froid de la saison.

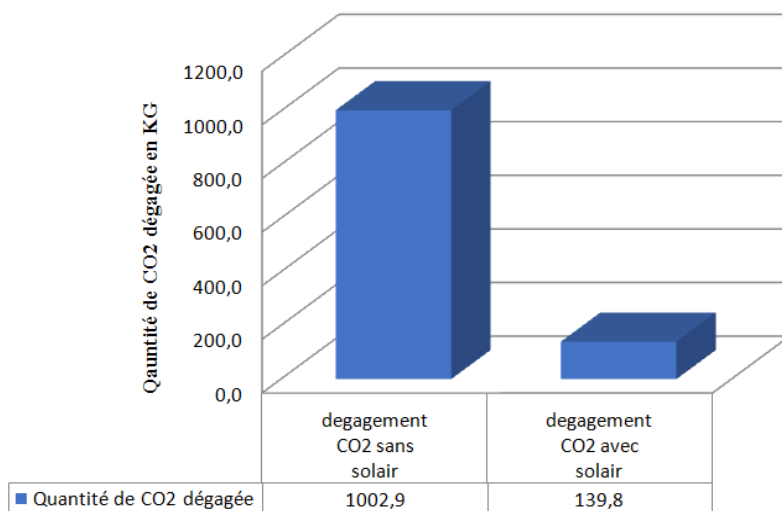
V.3.3- Comparaison des besoins énergétiques :

Selon le graphe (19) ci-joint la consommation d'énergie pendant les mois d'hiver, avant l'utilisation du chauffage solaire est de l'ordre de 5298.2 KWH et de 3176 KWH après l'intégration des capteurs solaires thermique, et donc une économie énergétique de 60% a été constaté entre ces deux résultats.



Graphe (19): Comparaison entre la consommation d'énergie avant et après l'intégration des capteurs solaires (source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur)

V.3.4- L'impact sur l'environnement:



Graphe (20): La quantité saisonnière de CO2 dégagé en (Kg) (source: simulation par TRNSYS effectuée par l'auteur)

Les systèmes énergétiques dégagent des quantités énormes de CO₂ à cause de la combustion directe du gaz naturel, dans notre cas cette quantité égale à 1002.9 kg de CO₂.

Pour l'impact sur l'environnement, on a représenté sur le graphe (20) ci-dessus les quantités de CO₂ dégagées en Kg sur toute la saison avant et après l'utilisation des capteurs solaires.

On remarque que l'optimisation par l'intégration d'un système de chauffage solaire diminue le dégagement de CO₂ qui est d'ordre de 139.8Kg et donc une réduction de 14% , c'est-à-dire que moins le système consomme de l'énergie moins il est polluant et donc plus il est écologique.

V.4- L'intégration architecturale des capteurs solaires:

Les capteurs solaires sont d'une surface de 100m², installés sur la terrasse plate du bâtiment qui a une surface de 186m², avec une orientation en plein sud et une inclinaison correspondante à la latitude de la ville de Blida qui égale à environ 36°. Les capteurs solaires sont placés à une distance de 1,5m de l'acrotère pour des raisons de maintenance et de sécurité comme le montre la figure (52).

Le choix de ce type d'intégration est le plus adéquat pour un bâtiment collectif existant. Vo

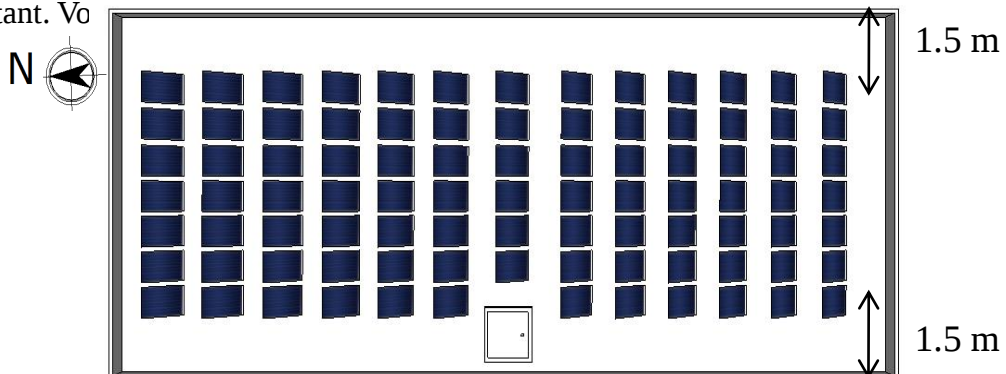


Figure (52): Plan terrasse du bâtiment avec l'installation des capteurs solaires (source: auteur)



Figure (53): L'emplacement des capteurs solaires sur la terrasse du bâtiment
(source: auteur)

Les capteurs solaires peuvent être intégrés différemment pour plus d'esthétique sur le plan architectural, à part l'intégration sur toiture, on peut les intégrer sur façade en prenant la partie de la cage d'escalier au milieu ou en auvent pour chaque appartement comme élément de protection et de décoration au même temps avec une inclinaison en plein sud. Cependant, pour garder la même surface de capteurs nécessaire à l'alimentation du bâtiment par l'énergie il faut garder un certain nombre de capteurs sur la terrasse, comme montre la figure (54) ci-dessous.

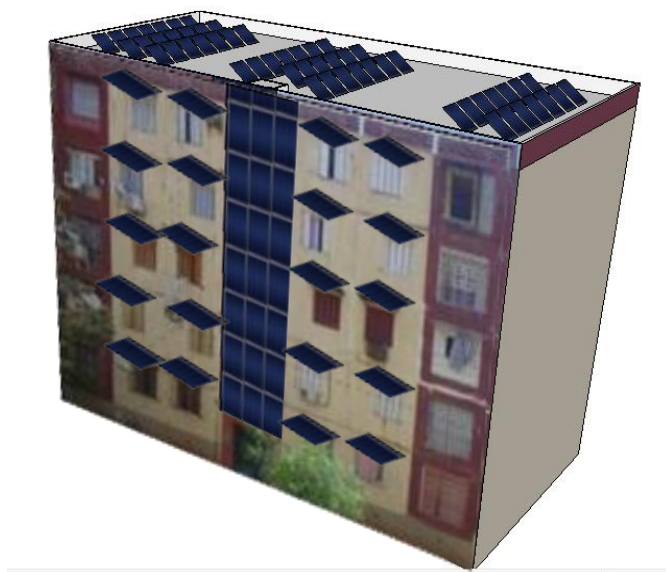


Figure (54): l'installation des capteurs solaires sur la façade et en auvent
(source: auteur)

Conclusion:

Cette étude et analyse des résultats obtenus dans ce chapitre, nous a permis de mettre en évidence l'importance de l'exploitation de l'énergie solaire dans les immeubles résidentiels et de confirmer l'hypothèse de notre recherche sur le rendement d'une telle installation solaire thermique par rapport à la réduction de la consommation des énergies fossiles qui est le gaz naturel utilisé pour le chauffage dans notre cas .

D'autre part, le développement des outils informatiques et les outils de simulation thermique nous a aidé à constater les besoins énergétiques de l'appartement étudié, de comparer les résultats avant et après l'intégration des capteurs solaires tout en assurant un maximum de confort thermique à l'intérieur de la maison et répondre aux besoins quotidiens des habitants pendant la période hivernale ainsi que l'impact positif de cette étude sur la diminution du dégagement de CO₂ et donc sur la protection de l'environnement .

Conclusion générale:

L'intérêt principal de ce travail est d'avoir contribué à une meilleure compréhension des processus de maîtrise d'énergie dans les bâtiments en Algérie, en analysant la capacité et la faisabilité de l'intégration d'un système de chauffage couplé aux capteurs solaires thermiques. Cette recherche a pour ambition d'appréhender une réalité complexe celle de la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment et de faire prendre conscience aux gestionnaires, aux décideurs et aux concepteurs des bâtiments à l'importance de prendre en considération le côté énergétique.

L'état Algérien a développé plusieurs dispositifs réglementaires, institutionnels, financiers, incitatifs et d'accompagnement quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. Cependant, l'élaboration des mesures d'une politique d'efficacité énergétique dans le bâtiment ne suffit pas, il est nécessaire de s'assurer de l'application et de l'impact de telles mesures. Ainsi, l'application de la réglementation thermique dans les bâtiments neufs du secteur résidentiel est très faible.

Afin d'étudier ce sujet, nous avons analysé dans un 1^{er} temps la consommation d'énergie en Algérie dans les différents secteurs y compris résidentiel ainsi que son contexte réglementaire concernant la maîtrise d'énergie. Afin d'étudier cette problématique nous avons expérimenté l'exploitation de l'énergie solaire et étudié les exigences techniques et architecturaux des capteurs solaires thermiques ainsi que les différents systèmes solaires couplés au bâtiment collectif. Ensuite nous avons analysé un exemple international d'un immeuble collectif qui intègre les capteurs solaires thermiques pour la production du chauffage et un exemple national d'une maison prototype construite par le CNERIB en collaboration avec le CDER, dans le but de mieux comprendre l'installation, le fonctionnement de ces systèmes solaires ainsi que leurs impacts sur la réduction de la consommation d'énergie.

Pour cela, nous avons choisi un appartement qui fait partie d'un immeuble collectif et nous nous sommes basés sur une simulation thermique par le logiciel TRNSYS 16 afin d'avoir les résultats liés aux besoins de chauffage avant et après l'installation des

des capteurs solaires thermiques. Les résultats obtenus dans la première simulation thermique de la maison dotée d'un chauffage à gaz naturel nous informe sur la quantité de l'énergie consommée qui est d'ordre de 5298.24 KWH par rapport à une température extérieure élevée qui varie entre 4 et 18°C en hiver. Cependant, la deuxième simulation effectuée après l'intégration des capteurs solaires d'une surface de 10m² et un ballon de stockage de 1 m³ pour chaque appartement permet d'avoir des besoins énergétiques en chauffage plus basses que les premiers à savoir 2637.2 KWH d'énergie solaire contre seulement 538.8 KWH d'énergie du chauffage à gaz naturel. Cela permet de constater une économie d'énergie de 83% d'énergie du gaz par rapport à l'énergie solaire et une économie de 60% par rapport à la totalité d'énergie consommée avant et après l'utilisation du système de chauffage solaire.

Cette utilisation peut être intégrée différemment dans des immeubles collectifs ou des maisons individuels en choisissant le type d'installation du chauffage qui soit compatible avec le type, l'organisation et la composition de l'habitat notamment le chauffage solaire central ou le chauffage solaire d'air pour les immeubles collectifs ou les planchers solaires pour les maisons individuelles. Cette intégration peut aussi se faire de différentes façons sur le plan architectural et décoratif à savoir l'installation sur une toiture inclinée ou une toiture terrasse, sur une façade ou en auvent qui a un grand impact sur la valeur esthétique du bâtiment.

Finalement, cette étude économique du système de chauffage solaire confirme les hypothèses de notre recherche sur le rendement d'une telle installation sur la maîtrise d'énergie dans le secteur résidentiel et puis son impact positif sur l'environnement à savoir la réduction du dégagement du CO₂, mais aussi nous encourage d'appliquer de plus en plus la réglementation énergétique algériennes et les différents programmes lancés pour la réalisation des logements énergétiques.

En conclusion, ce modeste travail peut ouvrir les portes sur d'autres perspectives à savoir la simulation d'autres types de chauffage (centralisé) ainsi que d'autres

recherches empiriques en vue d'approfondir la compréhension des relations qui existent entre les processus de la maîtrise d'énergie et les systèmes solaires couplés aux bâtiments collectifs ou aux maisons individuelles à savoir le chauffe-eau solaire et la climatisation solaire.

Au plan personnel, cette recherche, en plus de l'intérêt technologique et énergétique qui m'a passionnée, il m'a fait prendre conscience de la nécessité d'une véritable politique publique pour, à la fois, prendre les mesures d'urgence qui s'imposent et diffuser très largement auprès de l'ensemble des populations, les informations et les outils indispensables à sa contribution à la réussite de la transition énergétique. Enfin, le comportement citoyen de tous les consommateurs est un véritable défi à relever.

Références
bibliographiques

Références Bibliographiques

Livres:

AMET.P, G.GOURDON, Y.GUERN, R.JULES, E.MARGUET ET F.MYKIETA (2008), « *Installer un chauffage ou un chauffe-eau solaire* », édition Eyrolles, Paris.

BERNARD.J (2004), « *Energie solaire calculs et optimisation* », Ellipse Edition Marketing.

GÉRARD HARE, « *Des capteurs solaires pour votre maison choisir, installer, entretenir* » édition le Moniteur, p.44

LEMAL JEAN et AMJAHDI MOHAMED (2011), « *Adopter le solaire thermique et photovoltaïque* », édition dunod, Paris.

PATRICK CHICHÉ, MICHEL HERZEN, LUCIEN KELLER et MATS-OLA NILSSON, « *Architecture & conception énergétique - Abriter la vie...* », édition parrainage, p. 33

PEUSER FELIX-A, REMMERS KARL-HEINZ et SCHNAUSS MARTIN (2005), « *Installations solaires thermiques : Conception et mise en œuvre* », édition le Moniteur, paris

TISSOT MICHEL (2008),« *Le guide de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque* » édition EYROLLES, Paris , p.162

Mémoires:

GRIGNON MASSE (2010), « *Développement d'une méthodologie d'analyse cout bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux lies au confort d'été: cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine* »,Thèse de Doctorat, l'école nationale supérieure des mines de Paris, p305

MAHDI KHALED (2008), « *Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique* », Mémoire de magistère, université de Mentouri, constantine,, p13

MORILLON. R (2005) « *L'intégration de l'efficacité énergétique et du développement urbain durable dans le bâtiment* », thèse de master en Génie

urbain, Université Marne la vallée.

SOTEHI OUALID (2007), « *Etude et analyse de l'influence de l'écart de température (absorbeur-vitre) sur l'efficacité d'un capteur solaire* », Mémoire de magistère, université Mentouri, constantine, p12

ZOUAGRI RIMA (2012), « *Etude de faisabilité technique et économique des installations solaires thermiques dans un Bâtiment* », mémoire de magistère, université de Batna, pg 37.

TAIBI HAMZA et **MEGREROUCHE ESMA** (2014), « *Climatisation solaire par dessiccation avec un système de contrôle hybride* », mémoire de master, unviersité de Constantine, p.28

Articles:

AMARDJIA-ADNANI HANIA, « Algérie , énergie solaire et hydrogène Développement durable » , office des publications universitaire.

DESPRETZ.H (2004), « *Maitrise de l'énergie dans les batiments. Définitions Usages, Consommation* », Revue technique de l'ingénieur, n°BE9020, vol4.

« Secteur de l'Energie en Algérie : Premiers résultats 2014 », revue algérienne de l'énergie N° 01, janvier 2015.

« Programme national des énergies nouvelles et renouvelables », Extrait du Portail Algérien des énergies renouvelables, <http://portail.cder.dz/spip.php?article1158> , mise en ligne le 22 avril 2011

« *Le rendement d'une installation solaire thermique* », aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments du secteur tertiaire. <http://www.energieplus-lesite.be/>

Webographie:

« L'Algérie Élabore Cinq Programmes De Maîtrise De L'énergie », le Portail du premier ministre , Alger 26 juin 2009, <http://www.premier-ministre.gov.dz/index.php>
Ministère de l'énergie : <http://www.mem-algeria.org/>

Centre de Développement des Energies Renouvelables: www.cder.dz

Centre de Développement des Energies Renouvelables: www.cder.dz

Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment
<http://www.cnerib.edu.dz/>

Le rendement de capteur solaire , consulté le 09septembre2015,
<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16734#c20923>

Annexes

*-Dimensionnement d'une installation de
production de chauffe eau solaire*

Dimensionnement d'une installation de production de chauffe eau solaire :

Le dimensionnement d'une installation de production de chauffe eau solaire dépend essentiellement de l'estimation des besoins en eau chaude, le climat, l'inclinaison, l'orientation et le nombre nécessaire de capteurs , etc. la figure (1) montre la puissance de chauffe eau solaire en fonction de la température, plus la température est baissée plus la demande de chauffe est augmentée et vis versa¹.

Un bon dimensionnement doit conduire à produire un maximum d'énergie d'origine solaire entre 50 et 80 % pour des besoins d'eau chaude sanitaire.

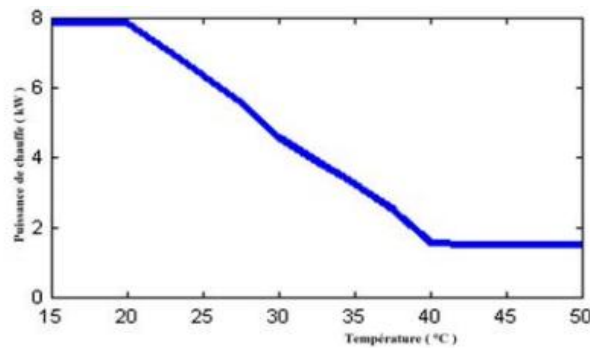


Figure (1): Puissance de chauffe-eau en fonction de la température

Estimation des besoins en eau chaude sanitaire

La quantité réelle d'énergie nécessaire pour produire l'eau chaude sanitaire est calculée comme étant la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer un volume d'eau de la température de l'eau froide jusqu'à la température demandée. Si V_l est le volume d'eau chaude à soutirer et T_h la température demandée d'eau chaude, les deux étant spécifiées par l'utilisateur, alors la quantité d'énergie nécessaire EECS pour produire l'eau chaude est donnée par :
$$EECS = C_p \rho V_l (T_h - T_c)$$

Où C_p est la capacité calorifique de l'eau (4200 J/kg/°C), ρ sa masse volumique (1 kg/l), et T_c la température de l'eau froide.

- L'orientation et l'inclinaison des capteurs:

Les capteurs doivent être orientés en plein sud pour capter plus de rayons solaires. Leur inclinaison dépend essentiellement de deux paramètres: la latitude et la saisonnalité des besoins.

- Calcul de nombre de capteurs:

Sachant que plus le volume de stockage est important, meilleur est le rendement global de l'installation, et constatant que les rendements chutent rapidement au-dessous de 75 litres/m² et ne croissent pratiquement pas au delà de 100 litres/m², on choisit la valeur du ratio Ra de stockage ;pour climat méditerranéenne ; qui est défini comme étant le rapport entre la capacité de l'eau à chauffer par la surface totale de capteur, égale à 85 litres/m².avec C= 400 litres (capacité d'eau à chauffer) et Ac = 1,5 m² (surface effective d'un capteur). Le nombre de capteurs est calculé par l'expression:

$$N_c = C / Ra \cdot A_c$$

-Calcul du circuit de distribution:

Le débit est un paramètre très important dans l'étude des installations de chauffage d'eau collectif. On retient couramment comme valeur du débit Qc = 70 litres/h/capteur. Le branchement des capteurs est considéré en série, le débit total du circuit primaire sera :

$$Q_t = Q_c \cdot N_c$$

- Calcul de l'échangeur:

On utilisera les formules suivantes :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| - La surface de l'échangeur : | $S = A_c \cdot N_c / 3$ |
| - la longueur de l'échangeur: | $L_E = S / \pi (D_1 + e)$ |
| - la vitesse de l'écoulement dans l'échangeur est : | $V_E = 4 Q_t / \pi \cdot D_1^2$ |
| - Le nombre de spires dans l'échangeur est : | $N_S = L_E / \pi D_s$ |
| - La hauteur de l'échangeur est : | $H_E = (2 N_S - 1) \cdot (D_1 + e)$ |

- calcul de la cuve de stockage:

On calcule la hauteur de la cuve comme suit:

$$H_c = 4 C / \pi D_c^2 1000$$