

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté des Sciences
Département de Physique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Physique

Option: Physique Energétique et Matériaux

Thème

**Etude et Analyse D'un Système Energétique De Source
Photovoltaïque Et Thermique : Application A Une Habitation
Individuelle**

Réalisé par :

- ZINEB MOSTEFAOUI

Présenté le Juin 2015 devant le jury composé de :

- M^r A.CHERMITTI, Professeur (Président)
- M^r N. BIBI TRIKI, Professeur (Encadreur)
- M^r A. BENYOUCCF, Maitre de conférences (Examineur)
- M^r S. AMARA, Maitre de conférences (Examineur)

Année universitaire: 2014-2015

Remerciements

Ce travail a été effectué à l'unité de recherche de Matériaux et Energies Renouvelables (URMER) de département de Physique de la faculté des Sciences de l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.

Mes remerciements, avant tout, à DIEU le tout puissant qui m'a donné la volonté, la santé et la patience durant ces longues années d'étude afin que je puisse réaliser mon objectif.

*J'exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à **M^r BIBI TRIKI Naser Eddine**, Professeur à l'université de Tlemcen, pour m'avoir encadré tout le long de mon travail, ainsi, que par son enseignement et ses conseils qui m'ont guidé dans l'élaboration de ce mémoire.*

*Mes remerciements s'adressent également à **M^r A. CHERMITTI**, Professeur à l'université de Tlemcen, pour l'honneur qu'il m'a accordé en présidant le jury de la soutenance.*

*Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à **M^r S. AMARA**, Maitre de conférences, ainsi qu'à **M^r A. BENYOUCEF**, Maitre de conférences, qu'ont accepté d'examiner ce travail.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes professeurs avec lesquels on a passé des années d'apprentissage durant notre cursus universitaire.

*Une pensée particulière s'adresse à **M^{elle} I.M. MOSTEFAOUI**, Maitre assistant à L'Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques d'Oran, pour ses nombreux conseils qui m'ont beaucoup appris sur les méthodes de travail.*

Je remercie tous mes collègues de laboratoire URMER pour leur soutien.

Un grand merci à mes parents qui m'ont toujours encouragé.

Je tiens à remercier, enfin, tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin afin de réaliser ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*A mes chers parents, qui ont sacrifié leur temps pour nous, que Dieu
les protège et leur accorde la santé et la longue vie.*

A mes petits chers frères : Ahmed Yacine et Wassila.

*Ainsi qu'à mes chers frères et sœurs : Mohammed Hicham, Asma, et
Imene Merièmè*

A tous qui me sont chers.

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapitre I Généralités sur les énergies renouvelables	
1- Introduction.....	4
2- Les énergies renouvelables	4
2-1- L'énergie hydraulique	5
2-2- L'énergie de la géothermie	6
2-3- L'énergie éolienne	7
2-4- L'énergie de la biomasse	7
2-5- Le solaire thermique et photovoltaïque	8
2-5-1- Photothermique	8
2-5-2- Photovoltaïque	9
2-5-2-1- Principe de fonctionnement	9
2-5-2-2- Cellules photovoltaïque	10
2-5-2-3- Différents types de cellules photovoltaïque.....	11
2-5-2-4- Avantages, Inconvénients des systèmes photovoltaïques.....	12
3- Evaluation des énergies renouvelables en Algérie	12
3-1- Potentiel solaire	13
3-2- Potentiel éolien	14
Conclusion	15
Référence.....	16
Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen	
1- Introduction.....	18
2- L'habitat.....	18
2-1- L'enveloppe.....	20

2-2- Ventilation	20
2-3- Distribution et récupération de la chaleur	21
2-4- Production de la chaleur	21
2-5- Stockage de la chaleur	22
2-6- Électricité.....	22
3- Confort thermique.....	22
4- Paramètres influençant le confort thermique	23
4-1- Caractéristiques géographiques	23
4-2- Température de l'air	24
4-3- Radiations solaires.....	25
4-4- L'humidité relative	26
4-5- Vitesse de l'air	27
5- Description de l'habitat étudié.....	27
6- Paroi de l'enveloppe de l'habitat étudié	28
7- Besoins énergétiques.....	31
7-1- Nombres de degré jours pour le chauffage et /ou le rafraichissement	31
8- Caractéristiques de la maison choisie	34
9- Bilan énergétique	34
10-Détermination de la consommation énergétique.....	34
Conclusion	35
Référence.....	36

Chapitre III Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

1- Introduction.....	38
2- Température de point d'équilibre	38
3- Méthode degrés jours.....	39

3-1- Demande énergétique de chauffage par méthode degrés jours	39
3-2- Demande énergétique de froid de l'habitat par la méthode degrés jours	41
3-3- Demande énergétique d'eau chaude sanitaire	41
4- Installation à trois systèmes de stockages (CES, chauffage et froid)	42
4-1- Capacité de stockage	42
4-1-1- Eau chaude sanitaire.....	42
4-1-2- Chauffage	43
4-1-3- Rafraichissement.....	43
5- Dimensionnement de système solaire combiné (ECS+ chauffage).....	44
6- Système photovoltaïque autonome	44
7-Description de la méthode proposée	46
7-1-Modélisation de la partie de production d'énergie	46
7-1-1- Modélisation de rayonnements solaires	46
7-1-2- Modélisation de générateur photovoltaïque	48
7-1-3- Calcul de la taille de générateur	49
7-2- Modélisation numérique d'accumulateur	50
7-2-1-Calcul de la capacité du parc de batteries	52
7-2-2- La fenêtre de paramètres de site.....	53
8- Calcul du besoin énergétique.....	55
9- Simulation de système PV autonome appliqué sur notre habitat.....	56
10- Calcul du coût de l'installation PV	57
11- Installation solaire PV sur notre habitat.....	58
Conclusion	59
Référence.....	60

Chapitre IV Interprétation des Résultats et Discussion

1- Introduction.....	62
2- Résultats obtenus par la méthode des degrés jours	62
2-1- Chauffage sans apport solaire.....	62
2-2- Apport solaire	65
2-3- Chauffage avec apports gratuits	66
2-4- Rafraichissement sans les apports gratuits	67
2-5- Rafraichissement en incluent les apports gratuits	68
3- Résultats de système PV autonome étudié	68
3-1- Le comportement du module selon l'irradiation incidente	68
3-2- Le comportement du module selon la température	69
3-3- Le comportement du module selon la résistance en série	70
3-4- Le comportement du module selon la résistance en parallèle	71
3-5- Tension d'un élément de la batterie en fonction du modèle	71
3-6- Rapport de simulation	72
3-7- Besoins de l'utilisateur	74
3-8- Résultats principaux de la simulation.....	74
3-9- Diagramme des pertes sur l'année entière	75
Conclusion	76
Référence.....	77
Conclusion Générale	78

Introduction Générale

Depuis le début du siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Il semble que tendanciellement, les consommations d'énergie vont continuer à augmenter, sous l'effet de la croissance économique, d'une part, et de l'augmentation de la consommation d'électricité par habitant, d'autre part, quels que soient les cas de figures envisagés.

Pour cela les énergies renouvelables apparaissent, à nos jours et à long terme, comme la solution adéquate qui couvre ce besoin énergétique en diminuant l'inconvénient majeur émis par les énergies fossiles et fissiles: le gaz à effet de serre [1].

Aujourd'hui, le thème des énergies renouvelables est un sujet important car celles-ci se manifestent comme une solution potentielle à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Parmi les moyens de production prometteurs (micro éolien, micro hydraulique...), le photovoltaïque (PV) apparaît aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti à la production d'électricité d'origine renouvelable pour l'habitat. De plus, la libéralisation du marché de l'électricité qui introduit des changements majeurs dans le domaine de l'énergie. La multiplication des producteurs indépendants et des productions décentralisées, la mixte énergétique et la fluctuation des tarifs en sont les principales conséquences. Dans ce cadre, nous souhaitons répondre à la question suivante : comment l'énergie PV peut elle participer à la production d'électricité pour l'habitat ?

En ce qui concerne notre pays : l'Algérie, l'enjeu du développement des énergies renouvelables est encore plus important. En effet, ces énergies permettront, de plus en plus, de couvrir la croissance nécessaire et légitime des services énergétiques de base dans les domaines du développement rural, de l'habitat, de la santé, de l'éducation puis à long terme, de l'industrie. Ainsi, la situation géographique stratégique de l'Algérie lui permet de favoriser le développement et l'épanouissement de l'utilisation des énergies solaire et éolienne .En effet, vu l'importance de l'intensité du rayonnement solaire reçu (169.440 TWh/an), le plus important de tout le bassin méditerranéen représente 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité et 60 fois la consommation de l'Europe [2], notre pays couvre certains de ses besoin en énergie solaire. Tandis que, l'énergie éolienne qui représente un potentiel important, à la région sud Adrar, très précisément, donne une autre extension pour notre pays pour se diversifier au point de production d'électricité d'origine renouvelable, dans les décennies à venir [1].

Cependant, l'énergie électrique est un élément déterminant pour tout développement socioéconomique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on ne peut s'en passer. [5].

L'énergie solaire peut être exploitée aussi sous la forme d'une énergie photothermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire, à l'aide des dispositifs qu'on l'appelle les capteurs solaires. Les systèmes photothermiques présentent, donc, un intérêt particulier pour les pays en développement. Ils sont susceptibles d'améliorer très rapidement et moyennant un coût minimal, les conditions de vie et de productivité des habitations géographiquement dispersées [3].

Le soleil peut jouer de multiples rôles dans l'habitat. Il peut nous éclairer le jour grâce aux fenêtres, comme il peut aussi nous éclairer la nuit si nous avons capté et stocké l'énergie par les accumulateurs. Dans notre pays l'Algérie, c'est le chauffage et la climatisation qui constituent la part la plus importante du budget énergétique domestique. Pour cela on se limitera à l'étude du chauffage et climatisation par voie solaire en présentant tout d'abord les normes [4] essentielles pour répondre à des besoins de dimensionnement, en terme d'isolation (enveloppe, toit, sol, ...), pour minimiser la consommation d'énergie et pour un confort agréable.

Ce travail est subdivisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est un aperçu général sur les énergies renouvelables.
- Le deuxième chapitre entame les paramètres influençant le confort thermique des occupants à l'intérieur du bâtiment et le calcul des besoins énergétiques pour le chauffage et/ou le refroidissement à satisfaire, sur l'habitation du site de Tlemcen, aussi l'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.
- Le troisième chapitre aborde la méthode des degrés jours pour calculer les besoins énergétique, il s'agit du chauffage et du rafraichissement, de notre habitat étudié, en outre, la modélisation, ensuite la simulation d'un système photovoltaïque autonome par logiciel PVsyst qui correspond à notre habitation.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'analyse des résultats obtenus par la méthode des degrés jours d'une part, et par la simulation de logiciel PVsyst d'autre part.

Références

- [1] FELLAH Boumediene, « Système hybride photovoltaïque éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah », Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 05 Décembre 2012.
- [2] Ministère de l'Energie et des Mines (Algérie), « Guide des Energies Renouvelables », Edition 2007.
- [3] ZIDANI Chafika, « Conception et modélisation des systèmes photothermiques. Applications aux systèmes photothermiques alimentés par fibres optiques », Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Décembre 2012.
- [4] F. BENYAROU, " Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïque, modélisation, dimensionnement et simulation ", Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, (Juillet 2004).
- [5] ABDELHAMID LILIA, « Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur l'Environnement », THESE DOCTORAT, Université de Batna, 26 avril 2012

Chapitre I

Généralités sur les énergies
renouvelables

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur les énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie solaire (photovoltaïque, photothermique). Cette dernière fera l'objet de mon travail de mémoire. On va introduire, ainsi, la définition d'un panneau photovoltaïque, son utilité et on va donner une vue générale sur son mode de fonctionnement.

En parallèle de cette présentation, une évaluation des énergies renouvelables en Algérie, notamment le potentiel solaire et le potentiel éolien, sera proposée à la fin de ce chapitre.

2. Les énergies renouvelables :

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Naturellement décentralisées, il est intéressant de les mettre en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins [3]. La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie. La figure. I.1 fait un zoom sur les énergies renouvelables, La figure. I.2 présente la production mondiale d'électricité en 2005 [2].

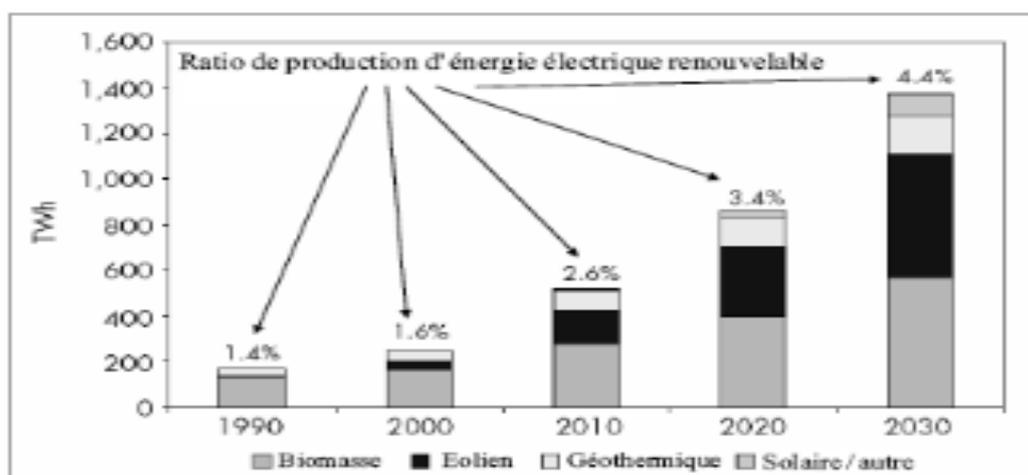


Fig.I.1 : la production mondiale d'électricité basée sur les énergies renouvelables.

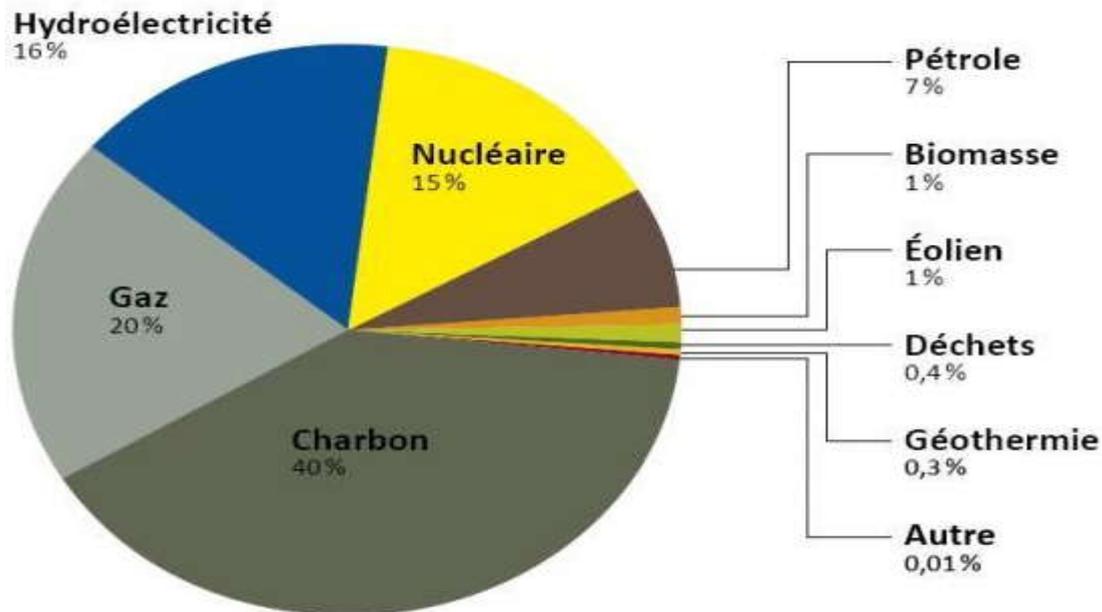


Fig.I.2 : Structure de la production d'électricité mondiale en 2005.

2.1. L'énergie hydraulique

L'hydraulique première des énergies renouvelables au monde, se distingue par sa souplesse d'utilisation, ses atouts écologiques et économiques.

Comme les ancestrales roues entraînées par le débit d'un cours d'eau, les turbines des centrales hydrauliques sont activées par la force de l'eau passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur. Plus la hauteur de la chute d'eau et le débit sont importants plus la puissance électrique développée sera élevée.

Chaque ouvrage hydraulique est donc adapté à la typologie des lieux pour atteindre un rendement optimal.

Notons aussi dans le domaine de l'énergie hydraulique, les ressources marémotrices de la houle et celles des courants marins qui sont très importants, de nombreux travaux dans le monde ont montré la faisabilité de l'exploitation des ressources de la houle. La plus grande usine marémotrice au monde se trouve en France (la Rance) avec une puissance de 240 MW [3].

Le développement attendu de l'énergie éolienne offshore pourrait être avantageusement couplé à une production par les vagues où l'on pourrait mettre en commun les coûteuses infrastructures de génie civil.

2.2 L'énergie de la géothermie

La géothermie consiste à capter la chaleur de la croûte terrestre pour produire du chauffage ou de l'électricité.

Le sous sol est naturellement chaud surtout à grande profondeur, plus on s'enfonce dans les entrailles de la terre, plus les températures augmentent, 3à4°C tous les 100m, cette eau chaude est utilisée pour le chauffage des maisons et autres immeubles [4].

L'exploitation des eaux souterraines et le développement des pompes à chaleurs pourraient faire de la géothermie une des grandes énergies durables de demain.

Le principe de la pompe à chaleur est le suivant un capteur prélève de la chaleur du sol à l'extérieur par exemple sous une pelouse, son origine se trouve d'ailleurs dans le rayonnement solaire, cette chaleur est transmise dans la maison via un plancher chauffant, dans tous les cas le transfert de la chaleur nécessite un fluide caloporteur.

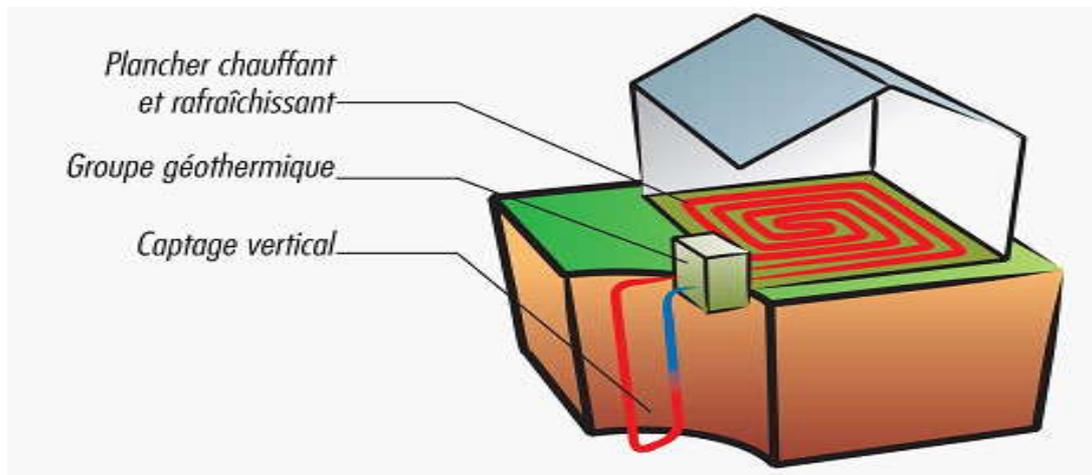


Fig.I.3 : schéma général de la géothermie [20].

La géothermie s'est développée au 20ème siècle dans de nombreux pays pour la production d'électricité, avec des eaux de très hautes températures transformées en Vapeur à titre d'exemple citons la centrale bouillante en GUADLOUPE Française.

Situation actuelle : une vingtaine de pays produisent de l'électricité à partir de la géothermie.

Dans le monde entier, la capacité de production des installations géothermiques dans 18 pays était d'environ 5800 MW en 1990, elle atteint aujourd'hui les 8700 MW.

La géothermie joue un rôle essentiel pour les pays en développement : 22% de l'électricité produite aux philippines, 12% au Salvador 15% en Islande. Le Japon est le premier producteur mondial d'équipement géothermique.

2.3 L'énergie éolienne

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers. Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an [10]. Selon le Global Wind Energy Council (GWEC), le parc éolien pourrait atteindre une puissance installée de 230 GW en 2020 [11], soit plus de 5 fois la puissance installée en 2005 qui était de 40 GW. Le principal inconvénient de cette source d'énergie est l'indisponibilité et l'imprévisibilité du vent.

2.4 L'énergie de la biomasse

Le terme biomasse désigne au sens large l'ensemble de la matière vivante. Depuis le premier choc pétrolier, ce concept s'applique aux produits organiques végétaux utilisés à des fins énergétiques.

La biomasse désigne donc l'ensemble des végétaux capables par le biais de diverses transformations, de restituer l'énergie solaire qu'ils ont stockés, cette énergie solaire est convertie en différentes sources énergétiques tel que :

➤ Chaleur et électricité

Cette énergie est produite par le bois et déchets agricoles (paille), déchets urbains ordures ménagères et déchet industriels du secteur agroalimentaire. Ces déchets subissent des transformations thermochimiques (combustion, pyrolyse, gazéification) permettant principalement de créer de la chaleur et de l'électricité.

➤ Biocarburant

Carburant bioéthanol : l'amidon et le glucose extraits des cultures sucrières (betterave, canne à sucre) et céréalières (blé, maïs) produisent de l'éthanol par procédé de fermentation alcooliques.

Carburants bio gazole : il comprend les végétaux riches en huile (colza, tournesol et soja) l'huile extraite de leurs graines permet de produire du bio gazole qui peut remplacer le gazole actuel pour moteur diesel [19].

2.5 L'énergie solaire thermique et photovoltaïque

L'énergie solaire est l'une des ressources renouvelables les plus abondantes sur terre, le flux d'énergie solaire reçu annuellement sur la surface de la terre représente environ 15000 fois la consommation d'énergie [4]. L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques, le **photothermique** et le **photovoltaïque** figure. I.4.

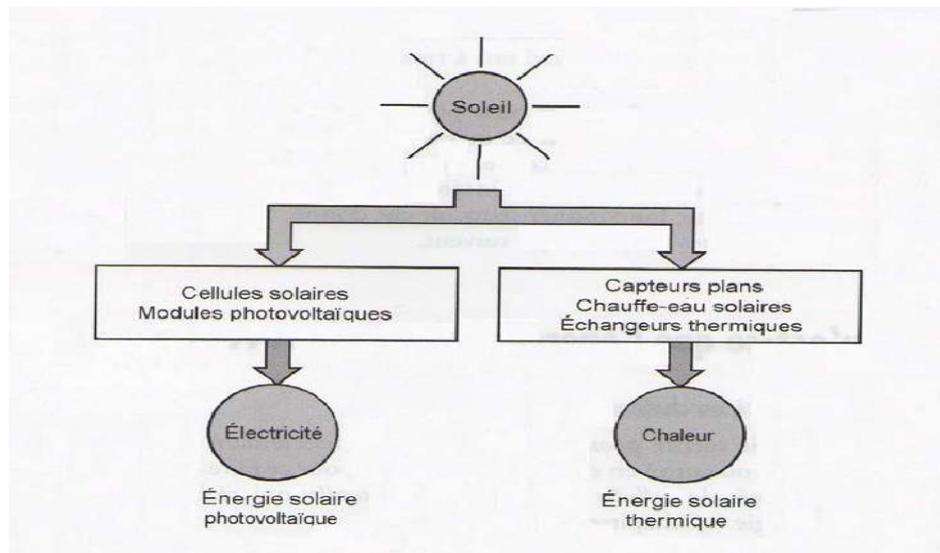


Fig.I.4 : Les deux types d'énergie solaire. [6]

2.5.1 Le photothermique

Les radiations solaires incidentes sont absorbées par le métal noirci qui réémet cette énergie sous forme de radiations de grande longueur d'onde. On fait passer un fluide caloporteur (de l'air ou de l'eau) sur celle-ci, où il se réchauffe [8].

Ce principe est utilisé soit pour fournir de l'eau chaude sanitaire (chauffe-eau solaire) soit encore pour contribuer au chauffage d'une habitation (plancher solaire). L'eau chaude ainsi produite, stockée dans un ballon, (voir la figure. I.5), peut être utilisée de jour comme de nuit. Plusieurs dizaines de milliers de chauffe-eau solaires sont aujourd'hui installés. Dans le nord, le climat moins favorable implique le recours à des chauffe-eau solaires mixtes et à l'électricité comme chauffage d'appoint. La technique récente du « plancher solaire direct » a aujourd'hui dépassé le stade de l'expérimentation pour accéder à celui de la diffusion. Plusieurs dizaines de maisons en sont équipées [18].

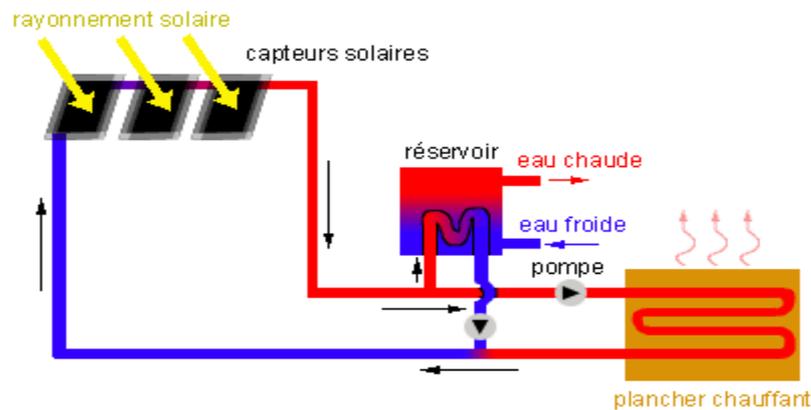


Fig.I.5 : Principe de chauffage et la production d'eau chaude sanitaire [13].

2.5.2 Le photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie [5]. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble [7].

2.5.2.1 Principe de fonctionnement

Découvert par le physicien français A. BECQUEREL dès 1839, L'effet photovoltaïque permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires (photon) en électricité (Volt), par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p, figure. I.6 [9].

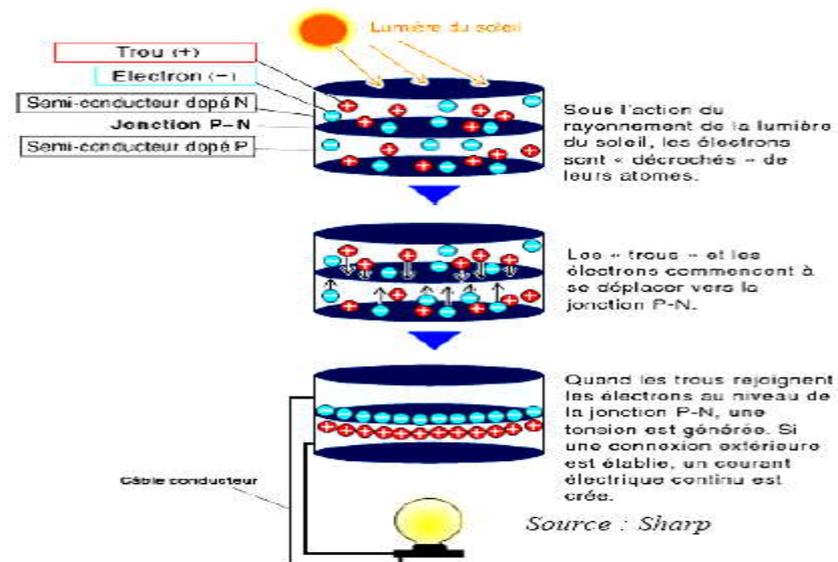


Fig.I.6 : Effet photovoltaïque. [9]

2.5.2.2 Cellules photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque est l'unité de base du système de conversion d'énergie solaire en électricité du type continue directement utilisable ou convertit en alternatif, qui est basée sur le phénomène physique effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.6 V, en fonction du matériau semi conducteur utilisé ainsi que de sa température et du vieillissement de la cellule, cette tension est nommée tension de circuit ouvert (). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit () et dépend fortement du niveau d'éclairement. La cellule solaire est une diode de type spécial, de grande surface et de faible épaisseur [7].

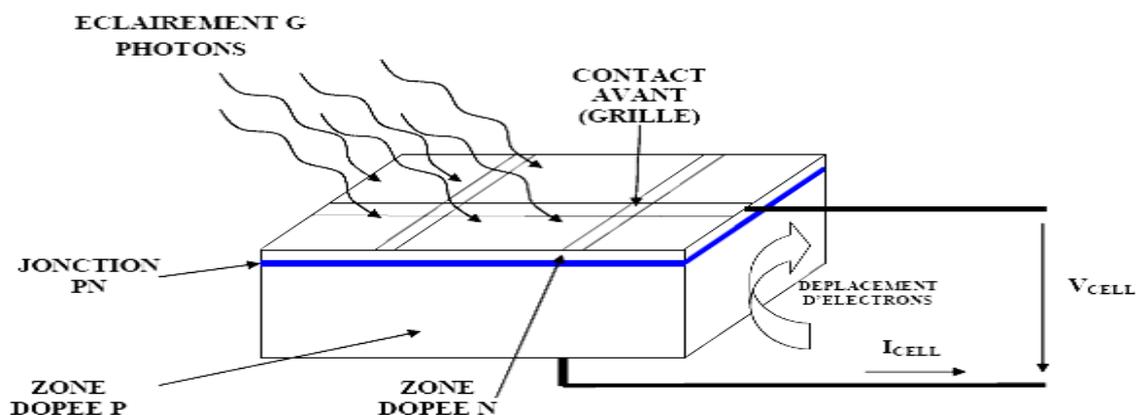


Fig.I.7 : Coupe transversale d'une cellule PV typique [7].

2.5.2.3 Différents types des cellules photovoltaïques

Les cellules solaires sont faites de divers matériaux et différentes structures afin de réduire le coût et d’obtenir une efficacité optimale. Il y a divers types de matériaux de la pile solaire, le silicium monocristallin (c-Si) de rendement d’environ 14-18 %, selon la nature cristalline du matériau utilisé et le procédé de fabrication. Le meilleur rendement en laboratoire sur une petite cellule (4 cm²) est de 24,7 % [14,15]. Par contre actuellement le silicium polycristallin (poly-Si ou mc-Si) est la technologie la plus répandue sur le marché mondial en raison de son bon rendement 13 -16 % pour des coûts de fabrication maîtrisés [14,15]. Il offre actuellement un bon rapport qualité et prix. L'efficacité d'une cellule en silicium amorphe (a-Si) est environ 7-11 % [16], les meilleurs rendements sont obtenus avec des cellules à triples jonctions [16]. La faible épaisseur (quelques µm) les rend moins chères mais leurs rendements restent assez faibles par rapport au c-Si et au (poly-Si ou mc- Si). Cette technologie acquit la seconde place en termes de vente environ 5 % du marché. Ils s’intègrent bien au bâtiment et ont de bons rendements en lumière diffuse ou dans des environnements « chauds ».

Le tableau suivant représente Différents types des cellules photovoltaïques [17].

Matériau	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Silicium monocristallin	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> * Très performant * Stabilité de production. * Méthode de production coûteuse et laborieuse. 	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium polycristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> * Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production, Plus de 50% du marché mondial. 	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	5 à 11% (13% en laboratoire)		<ul style="list-style-type: none"> * Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement si faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois. 	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment

Tableau. I.1 : types des cellules photovoltaïques.

2.5.2.4 Avantages, inconvénients des systèmes photovoltaïques**Avantages**

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.

- D'abord, une haute fiabilité (elle ne comporte pas de pièces mobiles), qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milli-Watt au Méga-Watt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [2].

Inconvénients

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients.

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru.

La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis. [2]

3. Evaluation de l'énergie renouvelable en Algérie

Le potentiel de l'énergie renouvelable en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays.

3.1 Potentiel solaire

Part sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays [12].

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne d'ensoleillement (heurs /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau .I.2: Potentiel solaire en Algérie.

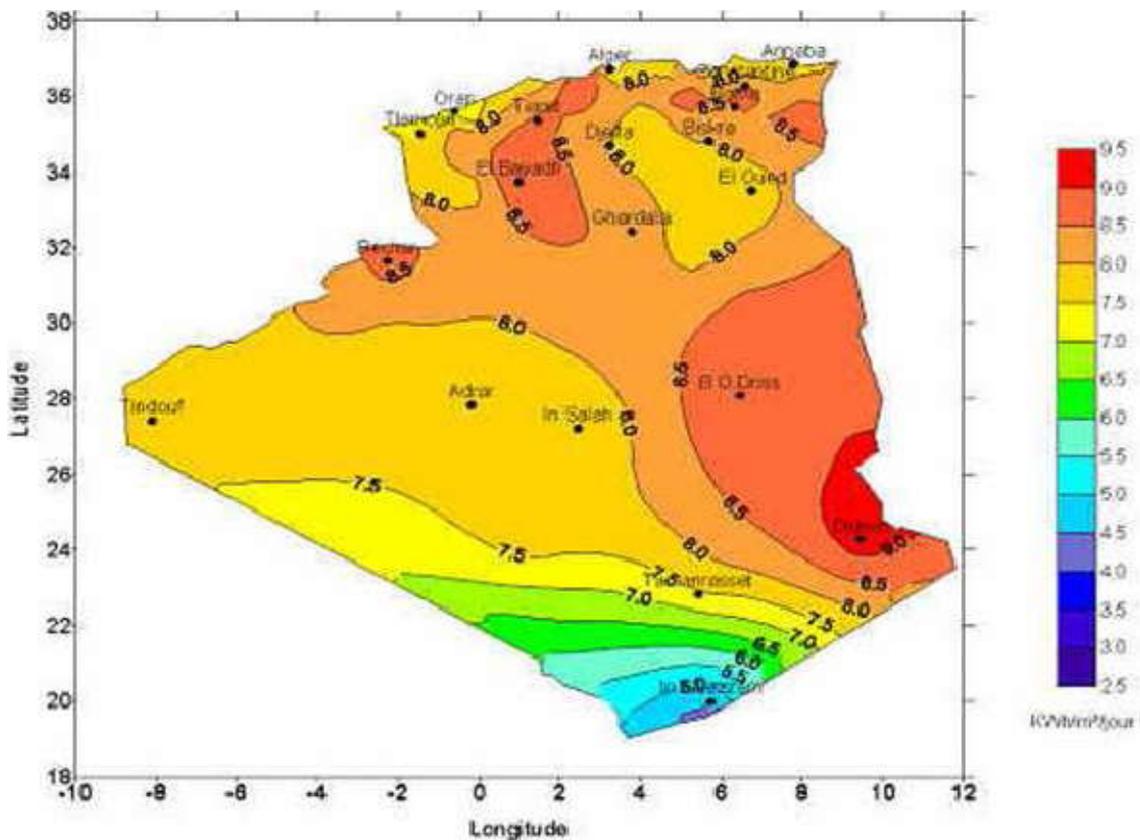


Fig.I.8 : Carte de l'irradiation en Algérie (mois de juillet) [2]

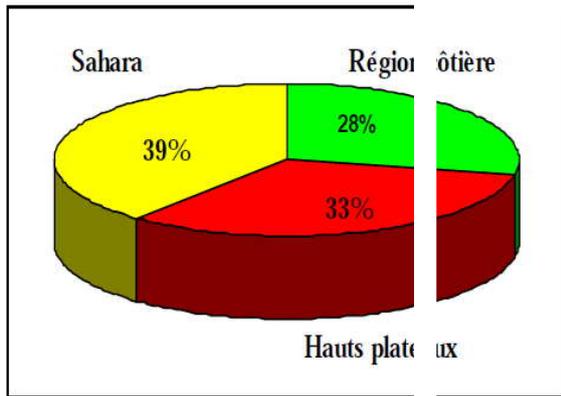


Fig.I.9 : Durée moyenne d'ensoleillement en Algérie [2]

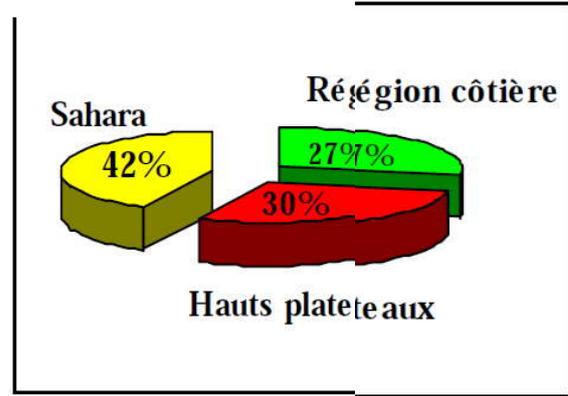


Fig.I.10 : Energie moyenne reçue en Algérie [2]

3.2 Potentiel éolien

Le potentiel éolien diverge selon la situation géographique. Ainsi au nord du pays, le potentiel éolien se caractérise par une vitesse moyenne des vents modérée (1 à 4 m/s) avec des microclimats autour d'Oran, Annaba, sur les hauts plateaux et à Biskra. Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau particulièrement sur les Hauts Plateaux. Au Sud, la vitesse moyenne des vents dépasse les 4m/s, plus particulièrement au sud-ouest, avec des vents qui dépassent les 6m/s dans la région d'Adrar [12].

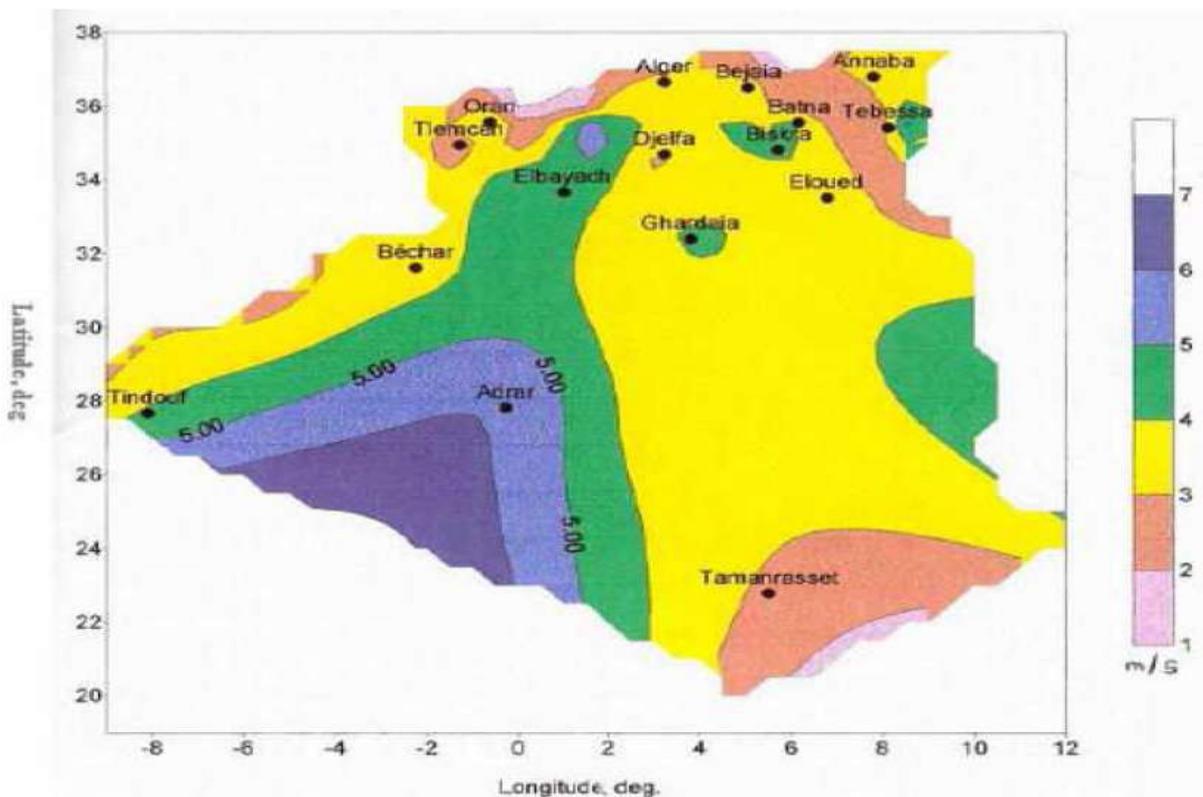


Fig.I.11 : Carte des vents en Algérie [2].

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons défini, d'une manière générale, les différentes ressources énergétiques. On s'est intéressé surtout à l'énergie solaire qui représente une partie importante de notre étude. On a introduit donc la conversion photothermique et la conversion photovoltaïque, qui peuvent nous aider pour se développer dans les chapitres suivants.

Référence :

- [2] S.BELAKEHAL « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables » Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2010
- [3] O. Gergaud, " Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur", Docteur de l'École Normale Supérieure de Cachan 2002.
- [4] A. Mirecki, "Etude comparative des chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance," Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France, Avril 2005.
- [5].B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.
- [6] A.LABOURET, M.VILLOZ, « Energie solaire photovoltaïque », Edition Dunod, Paris, 2006.
- [7] C. ZIDANI, F. BENYAROU et B. BENYOUCEF, « Simulations de la position apparente du soleil et estimation des énergies solaires incidents sur un capteur plan photovoltaïque pour la ville de Tlemcen (Algérie) », Revue énergies renouvelables, Vol.6, pp.69-76, 2003.
- [8] Sacadura. J. F, (2000), 6^{ème} tirage, Initiation aux transferts thermiques,
- [9] B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.
- [10] J.F. Walker, N. Jenkins, "Wind energy technology", John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [11] S .Winjnbergen, "Wind Force 12. A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020", Global Wind Energy Council (GWEC) report, Jun. 2005.
- [12] www.neal-dz.net.
- [13] Z. BENSAID, N.E.CHABANE SARI, B. BENYOUCEF, « Chauffage et Climatisation Thermo-Solaire d'une Habitation », Unité de Recherche des Matériaux et des Energies Renouvelables Université Abou Bekr BELKAÏD – Tlemcen, 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007
- [14] Peter Würfel, "physics of solar cells", Edition 2005 Wiley-VCH Verlag GmbH, Boschstr, 12, D- 69469 Weinheim, Germany, p 148, 15.
- [15] Adolf Goetzberger, Joachim Knobloch Bernhard, " Crystalline Silicon Solar Cells", John Wiley & Sons, p 100 -135.
- [16] Jef Poortmans and Vladimir Arkhipov, " Thin Film Solar Cells Fabrication, Characterization and Applications", John Wiley & Sons, Ltd, Edition 2007 p 1 -37, 237-290.

[17] B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.

[18] S.AMARA, «OPTIMISATION DES APPORTS D'ENERGIES HYBRIDES DANS L'HABITAT ECONOMOME », Thèse de Doctorat, l'Université de Tlemcen.

[19] L.ABDELHAMID « Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur l'Environnement», Thèse de Doctorat, Université Hadj Lakhdar de Batna, 2012.

[20] <http://lefroidindustriel.blogspot.com/2013/04/energies-renouvelables-geothermie-et.html>

Chapitre II

Aspects économique, énergétique et
environnementale d'une habitation
sur le site de Tlemcen

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

1. Introduction

Dans ce deuxième chapitre, tout d'abord nous allons donner la définition d'un habitat, énergétiquement économique, et thermiquement étanche, s'appuyant sur les différents facteurs qui permettent une maison souhaitable (l'enveloppe, ventilation, distribution et récupération de la chaleur, stockage de chaleur et électricité). Nous allons déterminer la notion de confort thermique, et les paramètres qui influencent sur ceci. Par ailleurs nous allons concentrer nos travaux sur l'habitation du site de Tlemcen, construite avec des matériaux locaux et selon les normes internationales. Nous allons évaluer les besoins énergétique avec le nombre de jours pour le chauffage et/ou refroidissement, nous présentons aussi l'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.

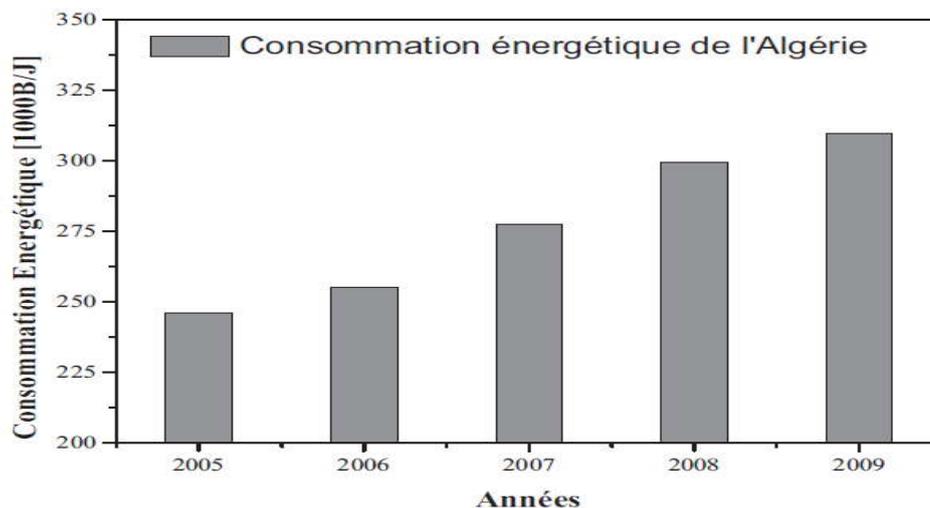


Fig.II.1: Consommation énergétique de l'Algérie [2].

2. L'habitat

En ce qui concerne l'habitat, le renforcement de la réglementation thermique et l'apparition de matériaux isolants efficaces ont déjà réduit la consommation d'énergie de 372 KWh/m²/an, en 1973 à 245KWh/m²/an, aujourd'hui. Toutefois, il reste beaucoup à faire pour atteindre les performances des bâtiments à basse consommation ou habitations bioclimatiques, dites aussi passives, voire à énergies positives ou durables [3,4].

La meilleure façon d'économiser de l'énergie dans un habitat neuf, tout en gardant un degré de confort important pour le résident, est de définir un concept de base s'appuyant sur trois principaux critères: le bioclimatisme, les paramètres de confort et un système adéquat de construction [5].

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

En conséquence, la conception du logement devrait viser la très faible consommation d'énergie, pour cela les étapes requises sont :

- ❖ Réduire la demande énergétique par:
 - L'orientation du bâtiment (plein sud);
 - La diminution des déperditions de chaleur (calfeutrage des fentes, double vitrage,...);
 - La réduction de chaleur et le transport d'air par l'enveloppe;
 - La récupération de la chaleur de l'air puisé pour le chauffage d'air frais à l'entrée;
 - L'utilisation des systèmes à haute efficacité énergétique;
- ❖ Utiliser des sources d'énergie renouvelables;
 - Gains solaires des fenêtres,
 - Utilisation des systèmes solaires thermiques et de biomasse;
 - Utilisation des systèmes photovoltaïques (PV).

Un tel logement, jusqu'ici, coûte jusqu'à 10% de plus que les logements classiques. Cet investissement apporte également des améliorations de confort de plusieurs façons :

- Une meilleure qualité d'air grâce à une ventilation contrôlée et automatisée;
- Une amélioration du confort thermique depuis les murs et en particulier, les surfaces des fenêtres;
- Un meilleur éclairage naturel pour maximiser l'efficacité énergétique;

Afin de tenir compte de ces conditions, nous allons présenter le choix des technologies qui peuvent être appliquées pour la construction des maisons à haut rendement énergétique:

- Traiter l'enveloppe de construction,
- Assurer une ventilation convenable,
- Permettre une distribution de chaleur homogène (souvent à l'aide du système de ventilation),
- Produire et stocker la chaleur,
- Produire de l'électricité.

Toute technologie adoptée dans la construction des habitations doit s'assurer que la chaleur reste à l'intérieur des locaux pendant la saison de chauffe, et à l'extérieur pendant l'été. Pour des raisons de confort et d'économie d'énergie, l'enveloppe doit être hermétique. Par ailleurs, il s'agit de garantir un approvisionnement en air frais, d'où la nécessité d'un système de ventilation. Enfin, il y a lieu de produire et de distribuer des petites quantités de chaleur

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

nécessaire pour l'espace et le chauffage de l'eau. Comme pour le chauffage des logements, le premier objectif est de réduire au minimum les besoins en électricité [8].

2.1 L'enveloppe

La recherche de matériaux à très faible conductivité, ainsi que les travaux sur la maîtrise des ponts thermiques contribuent fortement à l'amélioration des performances des enveloppes.

Les contraintes climatiques sont variables tout au long de l'année, voir même contradictoires entre l'hiver et l'été. L'enveloppe doit s'adapter à son climat local.

Les besoins en chauffage et en climatisation sont les plus grands puits énergétiques d'un bâtiment. En développant l'enveloppe, ces consommations peuvent être significativement réduites et maîtrisées.

Les quantités de chaleur produites par les habitants, par les appareils électroménagers, par le soleil, par le sol sont autant de sources d'énergie que l'enveloppe doit pouvoir utiliser et restituer en saison hivernale. Le vent ainsi que le sol peuvent aider l'enveloppe à conditionner l'atmosphère de l'habitat en saison estivale. Un certain nombre de technologies allant dans ce sens existent déjà : les puits canadiens (ou puits provençaux) permettent un préchauffage et un pré refroidissement de l'air; les parois largement vitrées au sud apportent un gain de chaleur non négligeable; les échangeurs double flux récupèrent l'air pollué pour chauffer l'air neuf; les parois double-peau permettent un préchauffage de l'air et également d'augmenter la ventilation dans et autour du bâtiment [8].

L'enveloppe est alors un véritable échangeur thermique intégrant : convection, rayonnement, chaleur sensible (conduction) et chaleur latente (changement de phase). [6]

2.2 Ventilation (Aération)

La ventilation naturelle, est indispensable à l'obtention d'un air ambiant de bonne qualité. Elle a pour priorité de satisfaire les besoins d'hygiène et de confort. Elle vise en particulier à :

- ✓ apporter de l'air neuf, afin notamment d'éviter les situations de confinement et permettre le bon fonctionnement des appareils à combustion ;
- ✓ évacuer l'air vicié par divers polluants ;
- ✓ lutter contre l'humidité et les condensations.

Une ventilation mécanique est nécessaire. Afin de réduire la consommation d'énergie, la chaleur de l'air ambiant devrait être récupérée avant qu'elle ne soit épuisée. Ainsi, avec un faible budget, l'aération pourrait fournir un service de qualité supérieure, par exemple, éviter

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

la stratification thermique et la propagation des poussières. Pour ajouter une autre application, le système de ventilation peut également être considéré comme moyen de transport de chaleur.

2.3. Distribution et récupération de la chaleur

Pour avoir une bonne distribution de chaleur dans la maison, il faut que la plus part des pièces principales se situent à la façade Sud. C'est-à-dire, il faut que sur cette façade s'ouvrent les pièces les plus fréquentées, généralement, ce sont les chambres et les séjours. En effet, la façade Sud est pourvoyeuse d'énergie et de lumière.

2.4. Production de chaleur

Il s'agit de produire une plus grande quantité de chaleur à moindre coût. Plusieurs solutions, sont proposées :

- La pompe à chaleur, utilisant l'air épuisé de la pièce comme source de chaleur,
- Un échangeur de chaleur de ventilation,

Cependant, le système de chauffage peut délivrer soit 1KW d'électricité, soit 3KW de chaleur. La production d'eau chaude constitue une des applications privilégiées de l'énergie solaire dans le bâtiment, et ce, pour plusieurs raisons. La première tient à la nature du besoin. Les températures sont peu élevées : eau froide à température proche de l'ambiance ; et l'eau chaude entre 50 et 60°C. Une caractéristique intéressante de la production d'eau chaude sanitaire est la faible variation des besoins au cours de l'année, contrairement au chauffage. [7]. Pour des raisons écologiques, une solution évidente est le système solaire thermique.

Avec seulement 1 à 2m² de capteur par personne, on peut couvrir la moitié de la demande en eau chaude. En fonctionnant toute l'année, leurs coûts d'investissement sont très vite amortis. Certains pensent augmenter la surface du capteur par exemple, de 6m² à 20m² ou plus, et d'augmenter également le réservoir de stockage de 500 litres à 2000 litres, en vue de à une partie du besoin en eau chaude. Ces modifications, néanmoins, doivent tenir compte de la courte saison de chauffage du logement à haute performance [8].

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

2.5. Stockage de la chaleur

Le stockage de la chaleur est assuré, de manière passive, par la masse thermique du bâtiment et de ses composants internes et, de manière active, par un ballon d'eau chaude. Les matériaux à changement en phase, destinés à accroître l'inertie thermique des parois internes du bâtiment, sont encore en phase de développement [1].

2.6. Électricité

Il s'agit de la plus chère forme d'énergie qui consomme une grande quantité d'énergie primaire, il est fortement souhaitable de la produire à partir des radiations solaires frappant l'enveloppe du bâtiment. La conversion photovoltaïque de la lumière en électricité est une technologie prouvée, et fiable au fil des décennies, mais relativement plus coûteuse et avec des rendements faibles. [8]

3. le confort thermique

Le confort thermique correspond à un état d'équilibre et hydrique entre l'homme et son environnement [1], il est très complexe et a fait l'objet de plusieurs études. L'étude du confort thermique doit donc tenir compte de toutes ces considérations (McIntyre, 1980 ; Parsons, 2002). [9,10]

Quelques soit le type de construction, il est nécessaire de définir les conditions de confort à l'intérieur d'un bâtiment et ce pour établir un climat intérieur confortable (les «conditions de confort» ou «température de confort»). Car un certain nombre de facteurs influent sur l'équilibre thermique du corps humain, l'humidité et la circulation de l'air en plus du rayonnement et la température de l'air [8].

En 1978 Humphreys [11] a établi une relation entre la température de confort et la température moyenne extérieure :

$$T_c = 13,5 + 0,54T_0 \quad (1)$$

En hiver, la température extérieure est pratiquement toujours en dessous des températures de confort; il faut réduire les déperditions de chaleur vers l'extérieur, pour cela il fallait une isolation au niveau de paroi, ainsi qu'au niveau des matériaux qui la constituent. L'isolation doit être optimisée en fonction de la construction et du climat local.

Durant la saison chaude il s'agit de trouver des solutions pour éviter les surchauffes des logements et pour cela il faut tenir compte des points suivants.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

- ✓ L'orientation des surface vitrées ainsi que leur protection est indispensable car elles représentent 2/3 des apports solaires, leur bonne orientation permettra de limiter les surchauffes en été et de limiter les déperditions en hiver. Ainsi, veuillez utiliser des volets et de mettre aussi en place des protections solaires. Cela vous permettra d'avoir de bons apports d'énergie en hiver (ainsi que de limiter les déperditions) et de les limiter en été.
- ✓ Le choix des matériaux lors de la construction est également indispensable. Si vous utilisez des matériaux à forte inertie, par ce biais, votre habitation va stocker plus facilement la chaleur dans les murs et planchers. Plus l'inertie est important, plus votre logement se réchauffera et se refroidira lentement. Des matériaux tels que le béton, la brique pleine, etc. ont une forte inertie.
- ✓ L'isolation est un élément fondamental, il permettra de profiter au maximum de l'inertie de votre logement.
- ✓ La végétation peut également vous permettre, de la même façon, que les volets et les stores, de limiter l'apport de chaleur, durant la saison chaude.
- ✓ Utiliser les stores et les volets pour limiter les apports solaires dans la maison, le jour, et (les ouvrir pendant la nuit, en créant un courant d'air et un rafraîchissement) ouvrir les fenêtres en créant un courant d'air, la nuit pour rafraîchir.

4. Paramètres influençant le confort thermique

Outre la température de l'air, le confort thermique dépend aussi de la température des surfaces délimitatrices, calculée à partir des radiations solaires incidentes, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air.

Dans cette étude, nous allons concentrer nos travaux sur l'habitation du site de Tlemcen.

4.1 Caractéristiques géographiques

Tlemcen est située au nord-ouest de l'Algérie, à 520 km au sud-ouest d'Alger, à une latitude de 34.56°, une longitude de -1.19° et une altitude de 830 m. Elle est caractérisée par des conditions climatiques assez particulières, des étés chauds et des hivers rigoureux.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

4.2 Température de l'air

La relation adaptative entre la température de confort et la température extérieure peut être utilisée pour aider à concevoir l'intérieur des bâtiments (Fig.II.4). La température intérieure de confort (T_c) est calculée à partir des températures extérieures moyennes (T_m) et tracée sur une base mensuelle au même titre que la moyenne mensuelle du maximum journalier (T_{max}), et du minimum journalier (T_{min}) et de la température de l'air extérieur moyenne (T_m) [8, 18].

Mois	T. max [°C]	T. moy[°C]	T. min [°C]	T. Conf [°C]
Janvier	14,5	10,8	5,3	19,33
Février	16	11,3	6,3	19,6
Mars	18	13,7	7,6	20,9
Avril	19,8	15,5	8,7	21,87
Mai	23,6	18,7	11,3	23,6
Juin	28,8	23,4	15,1	26,13
Juillet	33	25,7	18,1	27,37
Aout	33,6	26,1	18,9	27,59
Septembre	29,1	22,9	16,1	25,86
Octobre	24,1	19,4	12,9	23,97
Novembre	18,7	14,3	9,1	21,22
Décembre	16,7	11,7	7,2	19,81

Tableau .II.1 : Température de l'air du site de Tlemcen.

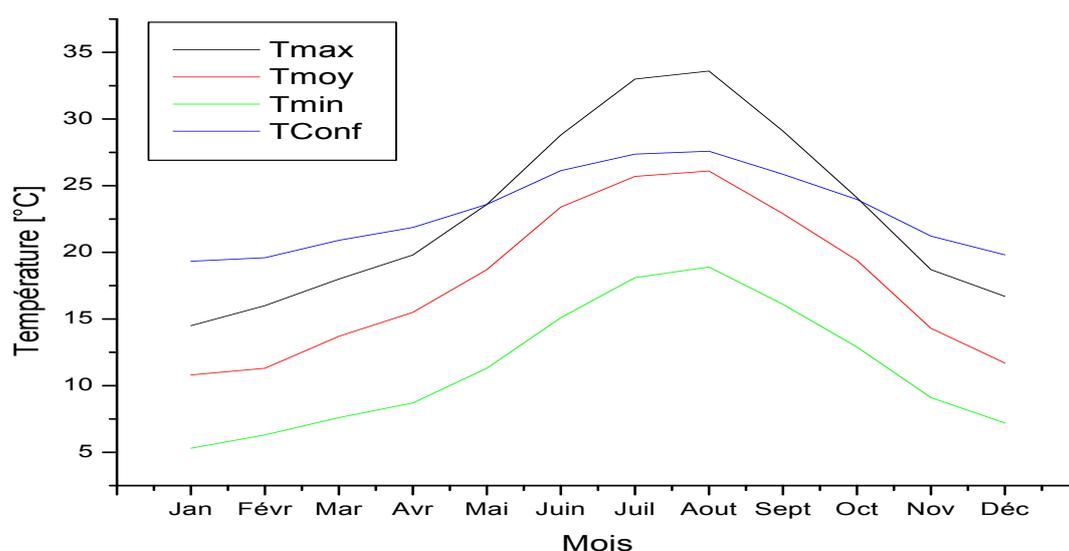


Fig.II.2 : Variations saisonnières des températures du site de Tlemcen.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

Les courbes de températures consignées sur la Fig.II.2, montrent les variations saisonnières de la température moyenne de confort, T_c , à Tlemcen, et son rapport avec la moyenne journalière maximum, minimum et la température extérieure moyenne T_m . La relation utilisée pour calculer la température de confort à partir de la température extérieure est donnée par Humphreys (1978) [8].

De telles courbes aident le concepteur à juger si le chauffage et/ou le refroidissement passif est possible pour un tel climat. Le rapport entre la température de confort et l'intervalle des températures extérieures montre si le refroidissement est nécessaire durant la période d'été ou le chauffage durant la période d'hiver pour maintenir le bâtiment confortable. Cette méthode a été employée par Roaf et al, 2001 pour définir le confort intérieur [14].

4.3 Radiations solaires

Toute utilisation du rayonnement solaire doit tenir compte des conditions climatiques locales et régionales. Il est largement admis que tous les processus atmosphériques observés sont la conséquence du rayonnement solaire reçu.

Ainsi, la mesure du rayonnement solaire revêt un caractère spécial [12].

Pour cela, nous avons calculé la variation annuelle du rayonnement global direct, diffus horizontal et le global pour un plan incliné (Fig.II.3) [13]. Comme le montre la Fig.II.3, la plus grande croissance pour l'ensemble des rayonnements est située entre février et mars et que le maximum est obtenu en juillet pour l'horizontal, avec une légère stabilité du rayonnement global plan incliné entre mars et octobre. Les valeurs annuelles du rayonnement solaire diffus représentent 35-44% du rayonnement global.

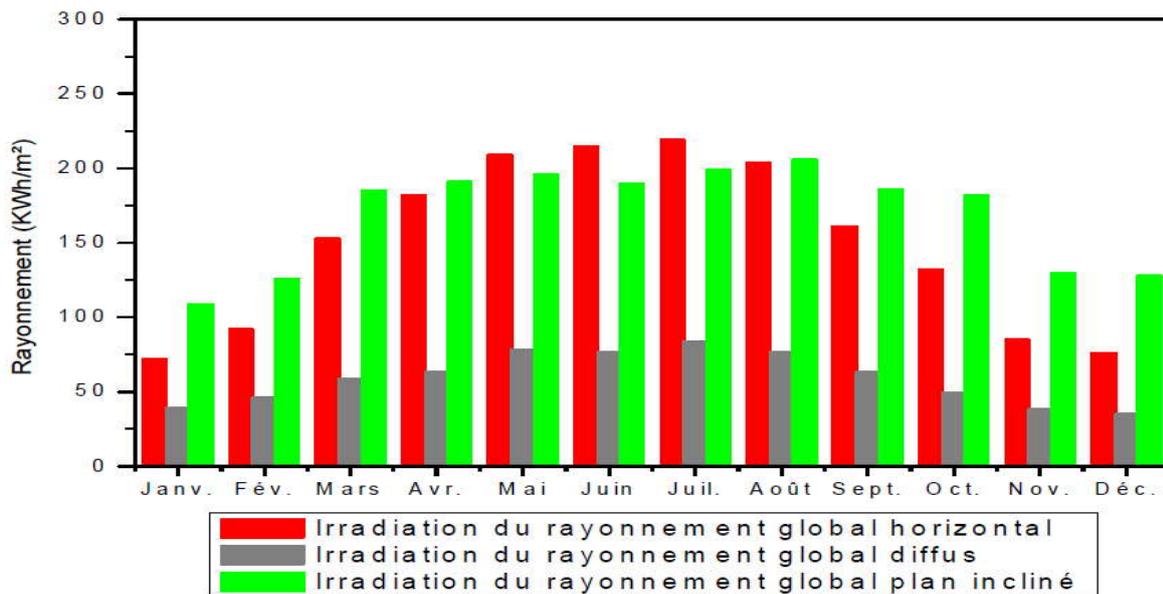


Fig.II.3 : Variation du rayonnement global, diffus horizontal, ainsi que le global plan incliné [8].

4.4 L'humidité relative

L'humidité atmosphérique joue un rôle primordial dans le confort du bâtiment. A des températures de l'air élevées, conjuguées à une humidité excessive, il y a un inconfort qui est ressenti par les occupants. La ville de Tlemcen est caractérisée par une humidité relative modérée, qui en général, ne crée pas d'inconfort.

En étudiant la variation annuelle de l'humidité relative, nous notons que le maximum est observé au cours des mois de janvier et décembre, avec une légère décroissance de janvier à mars, ainsi qu'un minimum durant le mois de juillet.

Comme le montre la Fig.II.4, la valeur annuelle moyenne de l'humidité relative pour le site de Tlemcen est de 66% [8].

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

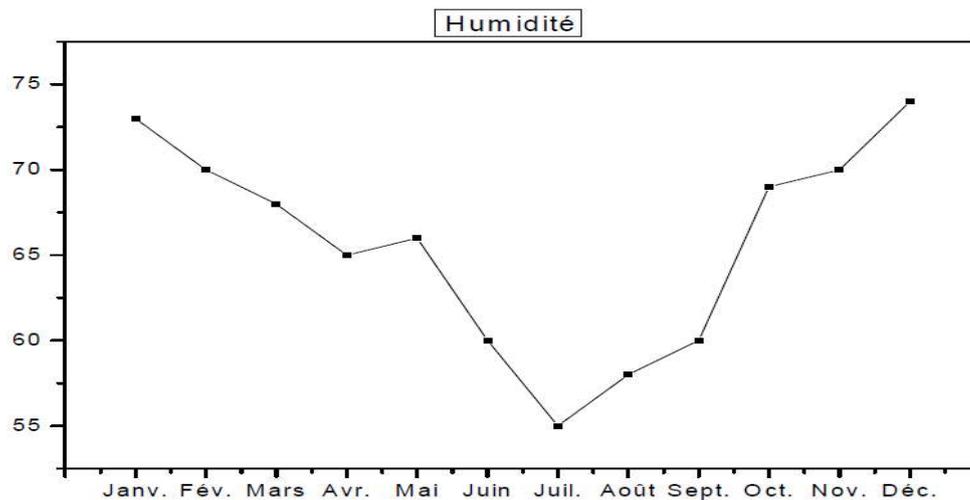


Fig.II.4 : Variation mensuelle de l'humidité relative (%) du site de Tlemcen [8].

4.5 Vitesse de l'air

La vitesse de l'air à l'intérieur des bâtiments est relativement faible, allant de 0 à 0,5 m/s, à moins qu'il y ait une ventilation naturelle ou forcée. Puisque la vitesse de l'air fluctue, la mesure doit être prise entre 3 et 5 minutes, pour obtenir une valeur moyenne raisonnable. L'instrument le plus généralement utilisé est l'anémomètre thermique [12].

5. Description de l'habitat étudié:

Une maison individuelle composée de trois chambres, un séjour, la maison construite avec des matériaux locaux située sur un site de Tlemcen, le nombre d'occupants est de 5 personnes.

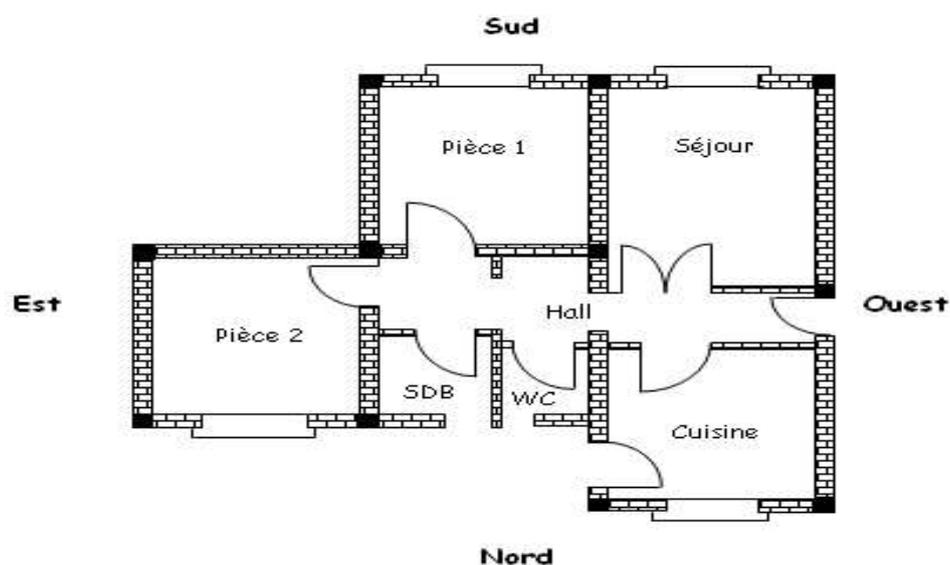


Fig.II.5 : la distribution des pièces dans la maison.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

6. Parois de l'enveloppe de l'habitat étudié :

Le tableau ci-dessous donne les matériaux constituant les parois (mur extérieur, toit et plancher bas) de l'enveloppe de l'habitat. En calculant les résistances thermiques.

Les coefficients de transmission thermique U sont déduits par la suite pour chaque paroi.

Matériaux constituant le mur extérieur [1] :

Matériau	Epaisseur e(cm)	Conductivité thermique λ (W/mK)	Résistance thermique R (m ² K /W)	Schéma du mur extérieur
1/h _i			0.11	
Plâtre	1	0.520		
Mortier de ciment	2	1.4		
Brique à 8 trous			0.7	
Air peu ventilée	5		0.085	
Brique à 8 trous			0.7	
Mortier de ciment	2	1.4		
1/h _e			0.06	
			R_{ME}=1.7028	

Tableau. II.2 : Matériaux constituant le mur extérieur.

$$R_{ME} = \sum R = R_i + \frac{e_{\text{plâtre}}}{\lambda_{\text{plâtre}}} + \frac{e_{\text{mortier}}}{\lambda_{\text{mortier}}} + R_{\text{brique}} + R_{\text{air}} + R_{\text{brique}} + \frac{e_{\text{mortier}}}{\lambda_{\text{mortier}}} + R_e \quad (2)$$

$$U_{ME} = \frac{1}{R_{ME}} = 0,587 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

Matériaux constituant le toit [1] :

Matériau	Epaisseur e(cm)	Conductivité thermique λ (W/mK)	Résistance thermique R(m ² K /W)	Schéma du toit
1/h _i			0.09	
Plâtre	1	0.520		
Béton hourdis allégé	12		0.110	
Polystyrène	10	0.04		
Bitume	2	0.042		
			R_{ME}=3.105	

Tableau .II.3 : Matériaux constituant le toit.

$$R_T = \sum R = R_i + \frac{e_{\text{plâtre}}}{\lambda_{\text{plâtre}}} + R_{\text{Hourdis}} + R_{\text{air}} + \frac{e_{\text{polyst}}}{\lambda_{\text{polyst}}} + \frac{e_{\text{bitume}}}{\lambda_{\text{bitume}}} \quad (3)$$

$$U_T = \frac{1}{R_T} = 0,322 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Matériaux constituant le plancher bas [1]:

Matériau	Epaisseur r e(cm)	Conductivité thermique λ (W/mK)	Résistance thermique R(m ² K /W)	Schéma du plancher bas
1/h _i			0.17	
Carrelage	2		0.0017	
Sable+Mortier	3	0.1		
Béton	15	1.75		
Polystyrène	6	0.04		
Béton	10	1.75		
			R_{SOL}=2.1145	

Tableau .II.4 : Matériaux constituant le plancher bas.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

$$R_{pE} = \sum R = R_i + R_{\text{carrelage}} + \frac{e_{\text{mortier}}}{\lambda_{\text{mortier}}} + \frac{e_{\text{Béton}}}{\lambda_{\text{Béton}}} + \frac{e_{\text{polyst}}}{\lambda_{\text{polyst}}} + \frac{e_{\text{Béton}}}{\lambda_{\text{Béton}}} \quad (4)$$

$$U_{pE} = \frac{1}{R_{pE}} = 0,473 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Les fenêtres (porte fenêtres) et les portes

Nous avons choisi les fenêtres à double vitrage, dont le coefficient de conductivité thermique est $\lambda_{\text{vitrage}} = 1,5 \text{ W/m K}$, avec une surface totale de $S = 15,244 \text{ m}^2$, d'où le coefficient de transmission thermique du vitrage $U_{\text{vitrage}} = 22,86 \text{ W/K}$.

Les portes en bois, nous prenons en considération la porte extérieure d'une surface $S_{pE} = 2,75 \text{ m}^2$, avec une conductivité de $\lambda_{\text{bois}} = 2,5 \text{ W/m K}$, d'où $U_p = 6,875 \text{ W/K}$.

Le chauffage est responsable pour environ 75% de l'énergie consommée par une maison conventionnelle en Belgique. Depuis mai 2010, la région wallonne a renforcé sa réglementation PEB ou « performance énergétique des bâtiments » pour la rendre conforme aux normes européennes. Les performances sont exprimées par des valeurs U_{max} dans le tableau ci-dessous [1].

Toitures	$U_{max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Murs	$U_{max} = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Sols en contact avec l'extérieur	$U_{max} = 0,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Autres sols (en contact avec la terre, au dessus d'une cave...)	$U_{max} = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Si on compare les valeurs des U_{paroi} de l'habitat étudié ;

$U_{ME} = 0,587 \text{ W/m}^2\text{K}$ Légèrement supérieur à la valeur fixée par la norme belge,

$U_T = 0,322 \text{ W/m}^2\text{K}$ Correspond à la norme,

$U_{pE} = 0,473 \text{ W/m}^2\text{K}$ Correspond à la norme,

7. Besoins énergétiques

7.1 Nombre de degré jours pour le chauffage et/ou le refroidissement

Indépendamment des variations de température dans l'environnement extérieur, les variations de la température de l'air dans les bâtiments sont d'un intérêt capital pour le confort des occupants. Pour l'évaluation des besoins énergétiques et dans un souci de maintien du confort à l'intérieur les variations des températures intérieures sont essentielles. Afin de calculer les besoins énergétiques, certains travaux ont introduit la notion du nombre de degré jours.

Cette quantité est, dans le cas où nous voulons chauffer durant la période hivernale ou refroidir durant la période estivale, le nombre de degré jour unifié. Le nombre de degré jour est défini comme la somme des écarts des températures moyennes journalières et la température que nous voulons maintenir constante à l'intérieur du bâtiment [8].

Afin d'évaluer le nombre de degré jour unifié (DJU) pour le chauffage et le refroidissement pour le site de Tlemcen, la connaissance des températures moyennes horaires et mensuelles est nécessaire pour un dimensionnement adéquat des générateurs photo thermiques, des serres agricoles et pour la climatisation des maisons. A cet effet, nous présentons les résultats de la modélisation des températures ambiantes du site de Tlemcen (Fig.II.6) [15].

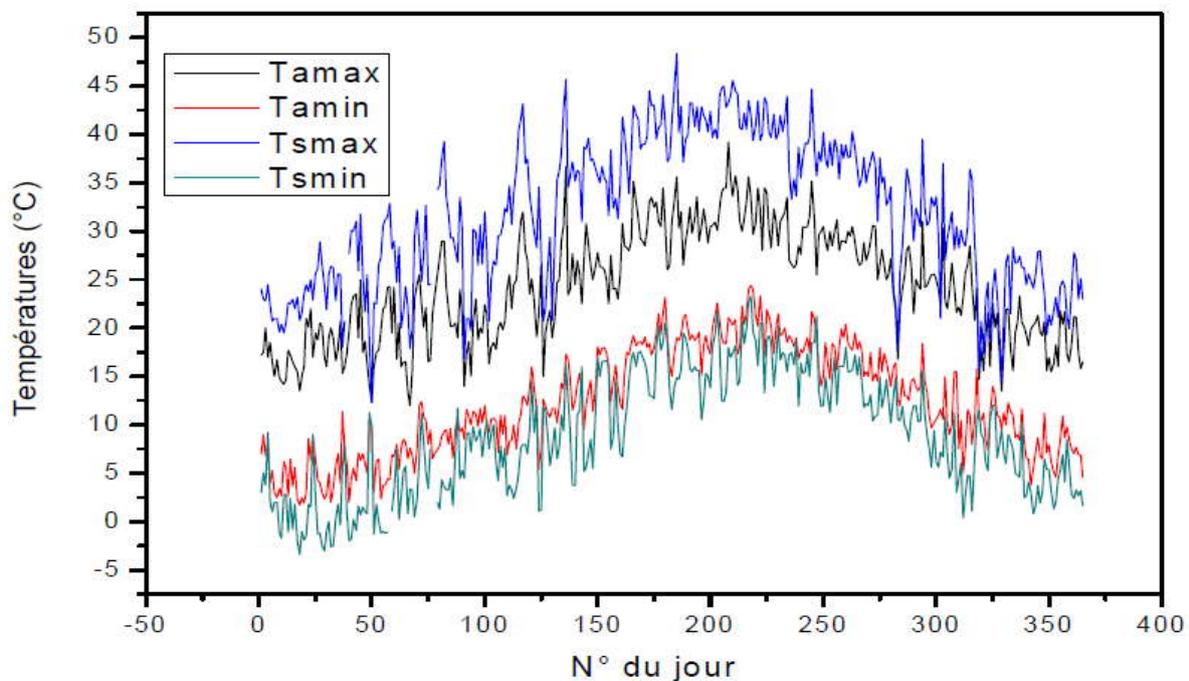


Fig.II.6 : Variation des Températures journalières (Max et Min) ambiantes et au sol du site de TLEMEN [8].

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

A la lumière des résultats obtenus et présentés sur la Fig.II.6, l'écart entre les températures maximales et minimales du site de Tlemcen ne dépasse pas 10°C quelle, que soit la saison.

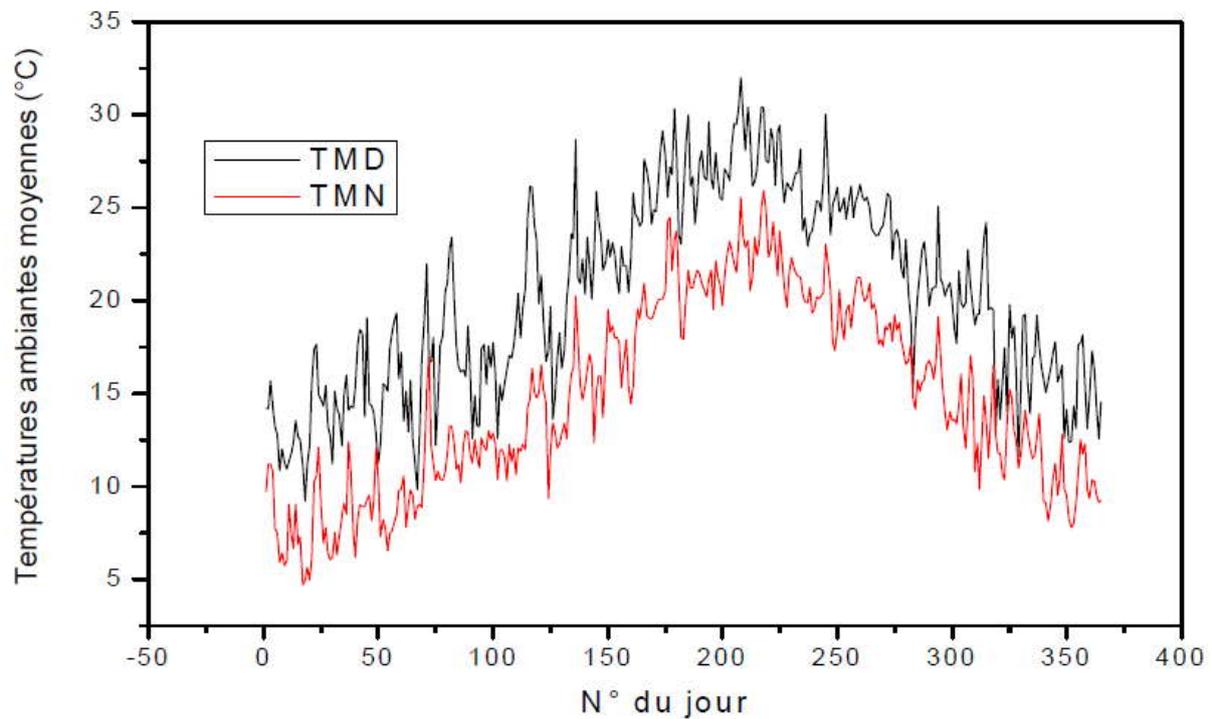


Fig.II.7: Variation journalière des températures ambiantes moyennes diurnes (TMD) et nocturnes (TMN) du site de TLEMEN [8].

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

A partir des données enregistrées présentées dans la Fig.II.7, nous pouvons tirer les valeurs consignées dans le tableau II.5, ci après [8].

Mois	T_c	Température moyennes ambiantes	D_j pour le chauffage			D_j pour la climatisation		
			15°C	T_c	18°C	20°C	T_c	25°C
Janvier	19,4184	10.43	141.41	192.5	234.41			
Février	20,1879	12.01	83.54	134	167.54			
Mars	21,4245	13.9	50.06	146	127.88			
Avril	22,1697	15.2	24	125.5	92.48			
Mai	23,706	17.89	5.24	91	33.82			
Juin	25,92	22.11				30.13	30	3.48
Juillet	27,2646	24.46				77.98	8	12.52
Aout	27,189	24.19				68.93	19	12.33
Septembre	26,109	22.38				18.18	27	1.53
Octobre	23,9841	18.5	12.91	93.5				
Novembre	22,0644	15.56	19.13	117.5	76.31			
Décembre	20,5119	12.95	65.31	152	156.54			
Total			401.6	1052	888.98			

Tableau .II.5 : Nombre de degré jours pour le chauffage et/ou le refroidissement .

D'après ce tableau, le site de Tlemcen est caractérisé par une durée de chauffage beaucoup plus longue (d'octobre à mai) dont le nombre de degré jour :

- Pour une température de confort (15°C), $D_j = 401.6$
- Pour une température de confort (18°C), $D_j = 888.98$
- Pour la température de confort calculé pour chaque jour, $D_j = 1052$

Et une courte durée de refroidissement de juin à septembre dont :

- Pour une température de confort (22°C), $D_j = 195.22$
- Pour une température de confort (25°C), $D_j = 29.86$
- Pour la température de confort calculé pour chaque jour, $D_j = 84$

Après avoir calculé le nombre du degré jour, il est intéressant de dimensionner le bâtiment pour calculer les besoins énergétiques pour le chauffage et/ou le refroidissement.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

8. Caractéristiques de la maison choisie

Dans notre étude nous avons choisi une maison type non raccordé au réseau de distribution d'énergie classique et équipée de l'ensemble des appareils permettant de fournir le confort aux occupants. Par ailleurs dans notre cas nous supposons que l'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année et que Les équipements domestiques fonctionnent sous une tension standard 220V-50Hz (tension secteur) [16].

9. Bilan énergétique

Sur le Tableau II.6 nous présentons l'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.

		Puissance (W)	Durée d'utilisation (heures)	Consommation journalière (Wh)
Éclairage	Chambres d'adultes	22	4	88
	Chambres d'enfants	22	5	110
	Salle de séjour	22	6	132
	Couloir	22	2	44
	Salle de bain	22	2	44
	Toilette	22	1	22
	Cuisine	22	7	254
Équipement	Réfrigérateur	120	8(hiver)/12(été)	960/1440
	Téléviseur	75	7	525
	Ventilateur	100	4	400
	Divers	100	2	200
Total E_{cj}				2679/3159

Tableau II.6 : L'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.

10. Détermination de la consommation énergétique

La valeur du nombre d'heures de consommation [17] est déterminée en fonction des consommations :

- ❖ Éclairage qui dépend :
 - a. Heure du lever et du coucher du soleil qui est fonction de :
 - Situation géographique du site ;

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

- Correction due au décalage horaire par rapport au temps universel ;
 - Correction due au décalage du faisceau de longitude du lieu (3mn/degrés) ;
 - Correction due à la variation saisonnière de l'équation du temps.
- b. Des heures du lever et du coucher des membres de la famille (lever 7h, couché 23h).
- ❖ Équipements :
- a. Réfrigérateur : le nombre d'heures de fonctionnement du compresseur dépend de la température du milieu environnante. Pour cette raison nous supposons que :
- Durant la période hivernale (Octobre - Avril) le compresseur ne fonctionne que 8h/24h ;
 - Durant la période estivale celui-ci fonctionne 12h/24h.
- b. Ventilateur : Il n'est sollicité que durant la période chaude (mai – septembre) [16].

Conclusion :

Dans ce qui précède, On a bien défini la notion de confort thermique sur un habitat situé sur un site, (Tlemcen). On a évalué les besoins énergétique avec le nombre de jours pour le chauffage et/ou refroidissement, on a présenté aussi l'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

Référence

- [1] R. KHARCHI «Etude énergétique de chauffage, rafraichissement et eau chaude sanitaire d'une maison type en Algérie », Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, juillet 2013,
- [2] - Eklöf C., Gehlin S. TED (1996) - « *Mobile Equipment for Thermal Response Test* ». Master of Science Thesis 1996:198E, Luleå University of Technology, Sweden.
- [3] Sabonnadière. J. C, Quenard. D, (2007), Nouvelles technologies de l'énergie4, « Vers les bâtiments à énergie positive », Hermes-Lavoisier,
- [4] Maugard. A, Visier. J. C, Quénard. D, (2005), Le bâtiment à énergie positive, Futuribles, 304,
- [5] Communiqués de presse, Environnement, (24 septembre 2007), Maisons bioclimatiques sur Nantes, MCE44,
- [6] Faure. X, (2005), Enveloppe hybride pour des bâtiments à hautes performances énergétiques, Journée Rencontre de Projets, Maison Autonome,
- [7] Amara. S, Virgone. J and Benyoucef. B. (2007), Etude d'un système de production et stockage d'eau chaude sanitaire pour le site de Tlemcen, Comptes heliothechnique, 36B, 3-7,
- [9] McIntyre. D. A, (1980), Indoor Climate, Barking, Applied Science Publishers.
- [10] Parsons. K. C, (2002), Human Thermal Environments, 2nd edn, Oxford, Blackwell Scientific.
- [11] Humphreys. M. A, (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors, in Buildings Research and Practice, 6(2), 92-105.
- [12] Santamouris. M, Asimakopoulos. D, (2001), passive cooling of buildings
- [13] Amara. S, (2004), Optimisation d'un procédé économique de chauffage d'une habitation par voie solaire. Application au site de Tlemcen, Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [14] Roaf. S. C, Fuentes. M, Taylor. S, (2001), The eco-house design guide, London, Architectural Press.
- [15] Amara. S, Zidani. C, Benaissa. D, Benyarou. F, Benyoucef. B, (2006), Modélisation des températures diurnes et nocturnes du site de TLEMEN, Physical and Chemical News, Volume 27, 59-64.
- [16] B.FELLAH, «Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah », Mémoire de Magister, Décembre 2012.
- [17] Ministère de l'Energie et des Mines (Algérie), « Guide des Energies Renouvelables », Edition 2007, pp. 38-40.

Chapitre II Aspects économique, énergétique et environnementale d'une habitation sur le site de Tlemcen

[18] BOUKLI HACENE.M.A, «Aspects Energétiques, Economiques et Environnementaux d'une Habitation Ecologique », Thèse de Doctorat.

Chapitre III

Modélisation et Simulation de
système d'apport énergétique de
source photovoltaïque et thermique

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

1. Introduction

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le 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 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Sud du pays. Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh [2]. Il serait judicieux d'en profiter et utiliser cette énergie pour le chauffage et le rafraîchissement de l'habitat qui est responsable du quart des émissions des gaz à effet de serre. La méthode des degrés jours est la plus appropriée pour l'analyse énergétique mensuelle et annuelle de l'habitat, en considérant l'efficacité et les conditions d'utilisation du bâtiment qui varient en fonction de la température extérieure [1].

Dans une première partie de ce chapitre, nous allons utiliser la méthode des degrés jours pour calculer les besoins énergétique, il s'agit du chauffage et du rafraichissement, de notre habitat étudié.

Une deuxième partie est consacrée à la modélisation, ensuite avec logiciel PVsyst nous allons faire la simulation d'un système photovoltaïque autonome qui correspond à notre habitat.

2. La température de point d'équilibre

La température de point d'équilibre T_{base} (appelée température de base) d'un bâtiment est définie comme étant la valeur de la température extérieure au moins qui, pour la valeur spécifiée T_i de la température intérieure, la perte totale de chaleur Q_{gain} est égale au gain de chaleur du soleil, les occupants, l'éclairage et etc [3].

$$T_{\text{base}} = T_i - \frac{Q_{\text{gain}}}{K_{\text{tot}}} \quad (1)$$

Où K_{tot} est le coefficient de pertes de chaleur total de l'habitat (W/K).

Le chauffage est demandé lorsque $T_{\text{base}} < T_{\text{ext}}$, le taux de consommation d'énergie pour système de chauffage est :

$$Q_{\text{cons}} = \frac{K_{\text{tot}}}{\eta_h} [T_{\text{base}} - T_{\text{ext}}(\theta)]^+ \quad (2)$$

Où η_h est l'efficacité de l'installation de chauffage,

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

θ est le temps, et le signe plus au-dessus du support indique que seules les valeurs positives doivent être comptés.

Si T_{base} , K_{tot} et η_h sont constants, la consommation annuelle de chauffage peut être écrite comme une intégrale :

$$Q_{cons} = \frac{K_{tot}}{\eta_h} \int [T_{base} - T_{ext}(\theta)]^+ d\theta \quad (3)$$

3. Méthode de degrés jours

La méthode des degrés jours pour l'analyse des besoins de chauffage et rafraîchissement de l'habitat pour différentes températures de base a été utilisée [4] pour le calcul de la consommation annuelle de chauffage et de refroidissement.

Si on utilise la valeur moyenne journalière de la température extérieure pour l'évaluation de l'intégrale, les degrés jours de chauffage DJc sont obtenus [5] :

$$DJ_C(T_{base}) = \sum_{jour} (T_{base} - T_{ext})^+ \quad (4)$$

Ici la sommation est de s'étendre sur toute l'année ou au cours de la saison de chauffage, en termes de degrés-jours, la sommation annuelle de chauffage est :

$$Q_{cons} = \frac{K_{tot}}{\eta_h} DJ_C(T_{base}) \quad (5)$$

La valeur de T_{base} prise est de 18°C.

3.1. Demande énergétique de chauffage par la méthode degrés jours

La demande énergétique de chaleur utile d'un bâtiment dépend des qualités thermiques de son enveloppe, de ses déperditions par ventilation, de sa situation, de ses capacités à bénéficier des apports gratuits et de son mode d'occupation.

Cette demande énergétique peut s'écrire comme suite :

$$Q_{D,C} = D_T + D_V \dots (Wh) \dots \quad (6)$$

Le coefficient des pertes par transmission thermique H_T , exprimé en Watt par degré Kelvin (W/K), s'écrit comme suit :

$$H_T = U \times A \dots (W/K) \quad (7)$$

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

Où :

U est le coefficient de transmission thermique global du bâtiment considéré, exprimé en W/m^2K ,

A est la surface de déperdition du bâtiment, exprimée en m^2 .

Les déperditions par ventilation sont dus au réchauffage de l'air puisé à l'extérieur de l'enveloppe du l'habitat en remplacement de l'air vicié. Exprimées en watt par degré kelvin, le coefficient des pertes par ventilation s'écrit comme suit :

$$H_v = c_p \times \beta \times V \dots (W/K) \quad (8)$$

Les degrés jours équivalents de chauffage (DJ_c) sont la somme de tous les degrés jours de chacun des jours de la période choisie, pour lesquels la température de non-chauffage a été supérieure à la température sans chauffage.

Les degrés jours équivalents de chauffage peuvent s'écrire comme suit :

$$DJ_c = \sum_{j=1}^{j=n} (T_{nc} - T_{sc}) \dots (^\circ\text{jour}) \quad (9)$$

j est l'indice de la période choisie,

La température de non chauffage (T_{nc}) est la température, à partir de laquelle on peut interrompre le chauffage des locaux, compte tenu des apports gratuits internes, la valeur prise est de 18°C (la température de base).

Cette température dépend donc de la température intérieure moyenne et de la valorisation des apports gratuits. Cette valorisation dépend des pertes du bâtiment.

La température sans chauffage (T_{sc}) est la température qui serait obtenue dans un bâtiment non chauffé et non occupé. Cette température est égale à la température extérieure moyenne.

La demande de chauffage s'exprime pour une journée selon la méthode des degrés jours :

$$Q_{D,C} = 24 \times [(U \times A) + (c_p \times \beta \times V)] \times DJ_c \dots (Wh) \quad (10)$$

Avec la méthode des degrés jours on calcul les pertes thermique par ventilation :

$$D_v = H_v \times DJ_c \dots (Wh) \quad (11)$$

Les pertes thermiques par transmission surfacique :

$$D_T = H_T \times DJ_c \dots (Wh) \quad (12)$$

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

3.2. Demande énergétique de froid de l'habitat par la méthode degrés jours

Les déperditions de chaleur par transmission et par ventilation dans le cas de rafraîchissement sont calculées par la méthode des degrés jours de la même façon que pour le chauffage.

Les degrés jours équivalents de froid DJ_F sont la somme de tous les degrés jours de chacun des jours de la période choisie, pour lesquels la température de non-climatisation a été supérieure à la température sans climatisation (température de base).

Les degrés jours équivalents en froid peuvent s'écrire comme suit :

$$DJ_F = \sum_{j=1}^{j=n} (T_{NF} - T_{SF}) \dots (\text{°jour}) \quad (13)$$

Où : i est l'indice de la période choisie,

La température de non-climatisation (T_{NF}) est la température à partir de laquelle on peut déclencher le conditionnement d'air dans les locaux, cette température est égale à la température extérieure.

La température sans climatisation (T_{SF}) est la température qui serait obtenue dans un bâtiment avec conditionnement d'air. Cette température est fixée à 25°C.

La demande énergétique de froid $Q_{D,F}$:

$$Q_{D,F} = [(U \times A) + (c_p \times \beta \times V)] \times DJ_F \dots (Wh) \quad (14)$$

3.3. Demande énergétique d'eau chaude sanitaire

Les modèles de production d'eau chaude sanitaire, déterminent la demande d'énergie pour chauffer l'eau.

Connaissant les volumes d'eau chaude à produire, pour calculer les quantités d'énergie nécessaires à la production d'eau chaude sanitaire.

La quantité d'énergie nécessaire Q_{ECS} pour produire l'eau chaude est donnée par [6] :

$$Q_{ECS} = c_{p\theta} \rho_{\theta} V_l (T_c - T_f) N \quad (15)$$

V_l est le volume d'eau chaude à obtenir, et T_c est la température demandée d'eau chaude, et les deux étant désignés par l'utilisateur.

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

C_{pe} est la capacité calorifique de l'eau ($4200 \text{ (J/kg)/}^\circ\text{C}$), ρ_e sa masse volumique (1 kg/l), T_f est la température de l'eau froide et N le nombre de jours du mois considéré.

4. Installation à trois systèmes de stockage (ECS, chauffage et froid)

Notre choix s'est porté sur le système à double stockage qui est plus simple à gérer, vu que les températures demandées pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage sont très différentes (voir figure III.1).

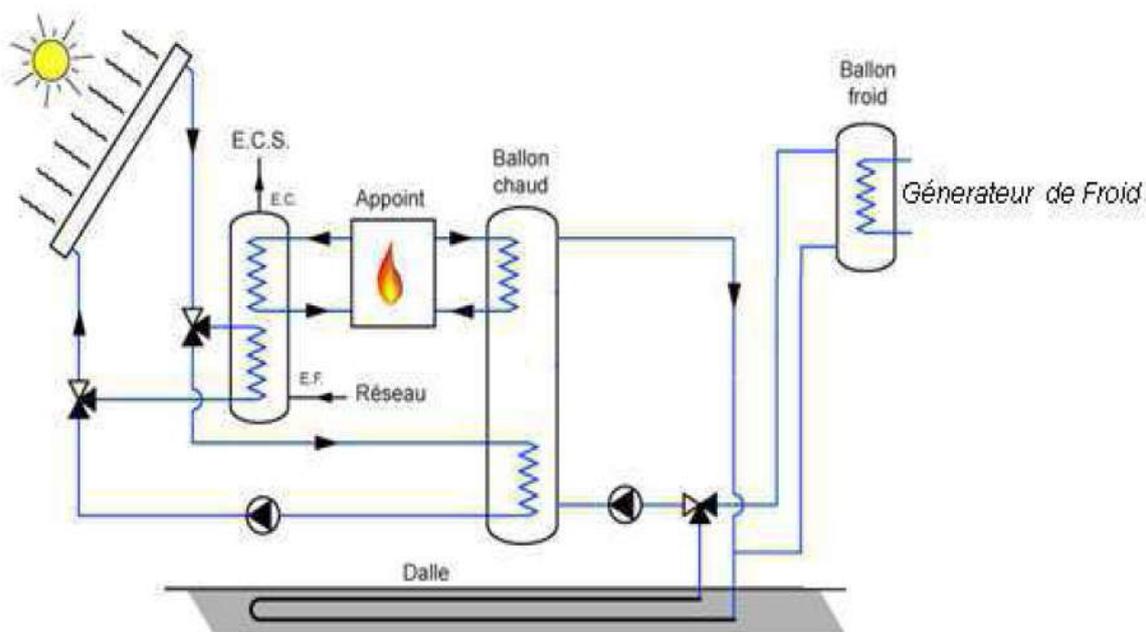


Fig.III.1 : Schéma de l'installation chauffage/eau chaude sanitaire/conditionnement d'air par l'énergie solaire (F. Vercheval de l'unité TERM, UCL, Belgique).

4.1 Capacité des ballons de stockage

4.1.1 Eau chaude sanitaire

Le nombre d'occupant dans notre habitat est de 04 personnes, et la consommation moyenne 35 litres par jours et par personne.

$$V_{ECS} = 160 \text{ litres}$$

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

4.1.2 Chauffage

Suivant les études faites sur la relation volume de stockage/température maximale de l'eau, le meilleur compromis serait de 100 litres par m² de capteur.

Pour déterminer le volume de ballon de stockage pour le chauffage, nous estimons pour un jour ou deux d'autonomie, de cela on prend à partir de la monotone des charges la demande de chauffage la plus importante, c'est-à-dire Q_C de 40,52 kWh, et on calcule de l'équation de stockage [7] :

$$Q_C = m c_{pe} (T_e - T_s) = m c_{pe} \Delta T \quad (16)$$

La température superficielle maximale de surface des sols finis préconisé par le DTU 65,8 dans les bâtiments d'habitation est de 28°C (on estime la température de sortie du plancher chauffant de $\approx 32^\circ\text{C}$). Conformément au DTU, la température du fluide chauffant ne doit pas excéder 50°C.

Avec un ΔT (entrée et sortie du ballon) de $\approx 18^\circ\text{C}$, on trouve un volume de $V_c \approx 2\text{ m}^3$ pour un jour d'autonomie et de $V_c \approx 3,8\text{ m}^3$ pour deux jours d'autonomie.

4.1.3. Rafraîchissement

Pour déterminer le volume du ballon de stockage pour le rafraîchissement, nous estimons pour un jour ou deux d'autonomie, de cela on prend à partir de la monotone des charges la demande de froid la plus importante c'est-à-dire Q_F de 107,778 kWh pour un DJ_F de 10,6/25 et de 72,30 kWh pour un DJ_F de 4,6/25, et on calcule de l'équation de stockage :

$$Q_F = m c_{pe} (T_e - T_s) = m c_{pe} \Delta T \quad (17)$$

La température superficielle maximale de surface des sols finis préconisé est de 25°C (on estime la température de sortie du plancher rafraîchissant de $\approx 26^\circ\text{C}$).

Avec un ΔT (entrée et sortie du ballon) de $\approx 25^\circ\text{C}$, on trouve un volume de $V_F \approx 8,7\text{ m}^3$ pour un jour d'autonomie et de $V_F \approx 10,15\text{ m}^3$ pour deux jours d'autonomie.

5. Dimensionnement de Système Solaire Combiné (Chauffage + ECS)

Il permet de couvrir 40 à 60 % des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire. Ce pourcentage dépend fortement des besoins énergétiques et de la surface de capteurs installés.

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

La taille de l'installation est de l'ordre de 22 m² de capteurs solaires pour 4 à 5 personnes. L'inclinaison des capteurs doit être comprise entre 45 et 75° / H.



Fig.III.2 : Installations solaires thermiques

6. Systèmes photovoltaïques autonomes

Dans le cas d'installations photovoltaïques autonomes, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation,..) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée (éclairage,..). Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230 volts alternatifs (Fig.III.3) [8].

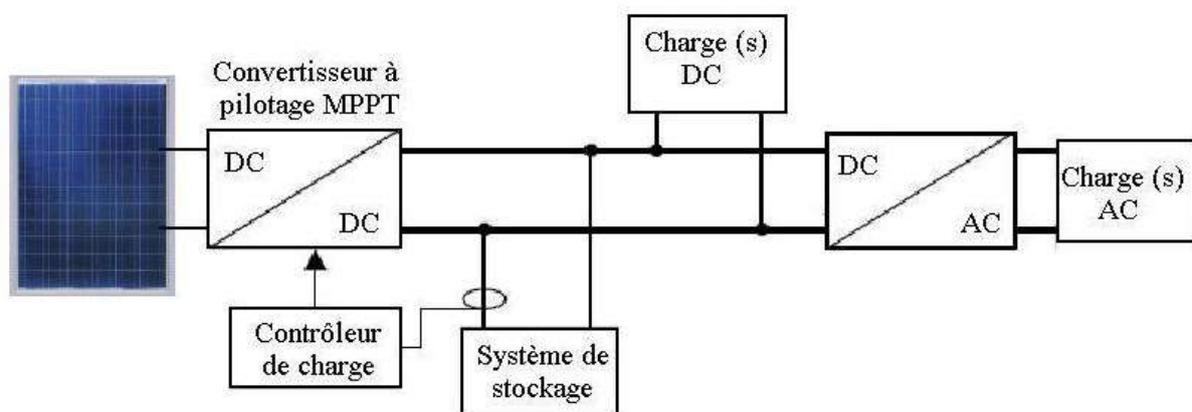


Fig.III.3 : Système autonome [8].

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

La réalisation des installations photovoltaïques exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision. L'installation sous dimensionnée reste une installation qui manque de fiabilité, tandis qu'une installation surdimensionnée va nous conduire à un coût plus élevé.

D'une façon générale, la maîtrise du dimensionnement global est basée sur les différentes caractéristiques techniques des sous-systèmes constituant l'installation photovoltaïque (le générateur PV, les batteries, régulateurs et convertisseurs,) d'un côté et les méthodes de dimensionnement utiles d'autre côté.

Un autre critère très important intervenant sur la fiabilité des installations PV, est la disponibilité d'une base des données de gisement météorologiques fiable des sites d'installation.

Le logiciel PVsyst dans sa version 5.31 permet de dimensionner les installations photovoltaïques autonomes, à travers une méthode de calcul basée sur des modèles mathématiques purement numériques assurant [9]:

- L'estimation du rayonnement solaire journalier et annuelle reçu au niveau du site d'implantation;
- L'estimation du besoin énergétique de l'installation,
- Le calcul de la taille du générateur photovoltaïque (GPV) nécessaire, basant sur le calcul du rendement de module PV, ainsi que mode de leurs branchements (séries/parallèles);
- Le calcul de la capacité du champ de stockage d'énergie électrique (les batteries) et leurs modes de branchement (séries/parallèles);
- Le calcul du coût global de l'installation.

Les modèles mathématiques proposés permettent de faire une liaison entre le rayonnement et le système de production d'énergie, une liaison entre le système de production et le système de stockage et une liaison entre l'énergie produite par l'installation et la consommation moyenne de la charge avec une adaptation optimale du système qui correspond à un coût minimale de l'installation.

7. Description de la méthode proposée

7.1 Modélisation de la partie de production d'énergie

La modélisation de la partie de production d'énergie (le générateur photovoltaïque) nécessite une modélisation des rayonnements solaires inclinés sur ce dernier.

7.1.1 Modélisation des rayonnements solaires

L'absence des stations de mesures au niveau des sites d'implantation nous oblige d'utiliser un modèle de calcul basé sur des méthodes semi empiriques pour calculer le rayonnement solaire reçu au niveau du sol [10]. Les paramètres du modèle dépendent:

- de la région définie par la latitude, la longitude et l'altitude;
- de la saison de l'année et l'heure du jour;
- l'albédo du site d'implantation.

La méthode de calcul est divisée en deux parties. La première calcule les paramètres qui sont indépendants de l'inclinaison de la surface de captation, comme le rayonnement direct et diffus sur un plan horizontal, l'angle zénithal du soleil, et le deuxième calcul le rayonnement incident sur une surface inclinée.

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{2\pi(\text{jour}-81)}{365} \right] \quad (18)$$

δ : Déclinaison, (°),

$$\omega_1 = -\text{Arc cos}[-\text{tg } L . \text{tg } \delta] \quad (19)$$

ω : Angle solaire, (°)

$$RHA = B_0 \left\{ \left[1 + \frac{(0,033 \cdot \cos(2\pi \cdot \text{jour}))}{365} \right] \right\} \quad (20)$$

RHA : Irradiation extraterrestre, (Wh/m²)

B_0 : Constante solaire, (1367 W/m²)

$$\sin \alpha = \sin L . \sin \delta . \sin \omega + \cos L . \cos \delta \quad (21)$$

α : Hauteur du soleil, (°)

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

$$RHD = RHA \cdot \tau_d \quad (22)$$

RHD : Irradiation horizontale diffuse, (Wh/m²)

τ_d : Transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement diffus.

$$RHDR = RHA \cdot \tau_b \quad (23)$$

RHDR : Irradiation horizontale directe, (Wh/m²)

τ_b : Transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement direct

$$RHG = RHD + RHDR \quad (24)$$

RHG : Rayonnement horizontal global, (W/m²)

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot \exp\left(\frac{-K}{\sin \alpha}\right) \quad (25)$$

$$\tau_d = 0,2711 - 0,294 \cdot \tau_b \quad (26)$$

$$RID = \frac{RHD}{2} \cdot [(1 + \cos \beta) + R \cdot (1 - \cos \beta)] \quad (27)$$

RID : Irradiation inclinée diffuse, (Wh/m²)

β : Angle d'inclinaison, (°)

$$RIDR = RHDR \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \quad (28)$$

RIDR : Irradiation inclinée directe, (Wh/m²)

$$RIG = RID + RIDR \quad (29)$$

RIG : Rayonnement global reçu sur un plan incliné [W/m²]

On calcule l'irradiation journalière moyenne exprimée en (Wh/m²) par l'intégration de l'équation (29) sur la durée d'un jour.

$$IRGM = \int_T^{T_c} RIG dt \quad (30)$$

IRGM : Irradiation journalière moyenne, [Wh/m²]

Tc : Température de la cellule, (°C)

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

Une optimisation est été faite en ajustant l'angle d'inclinaison du générateur photovoltaïque, de telle sorte à ce que le panneau solaire reçoit le maximum d'énergie [10]. Pour assurer le bon fonctionnement de l'installation à dimensionner en hiver comme en été, on prend en considération la période où le rayonnement solaire est le plus défavorable. Notre logiciel montre l'évolution au cours du temps, du rayonnement journalière et annuelle reçue sur un plan horizontal ou incliné.

7.1.2 Modélisation du générateur photovoltaïque (GPV)

Une fois qu'on a estimé l'irradiation solaire journalière du site d'installation et déterminé la consommation journalière moyenne, il faudra dimensionner correctement le générateur photovoltaïque (GPV), qui nécessite l'identification du comportement d'un module photovoltaïque dans les conditions réelles du site d'installation. Dans ce logiciel, on a utilisé le modèle à cinq paramètres, qui permet d'effectuer une analyse et une évaluation des performances d'un module, les plus proches de la réalité. Ce modèle représente le module solaire comme source de courant en parallèle avec une diode, une résistance montée en série représente la résistance des contacts, une autre en parallèle dite la résistance shunt, représentant les courants de fuites.

Le schéma équivalent du modèle est le suivant [11]:

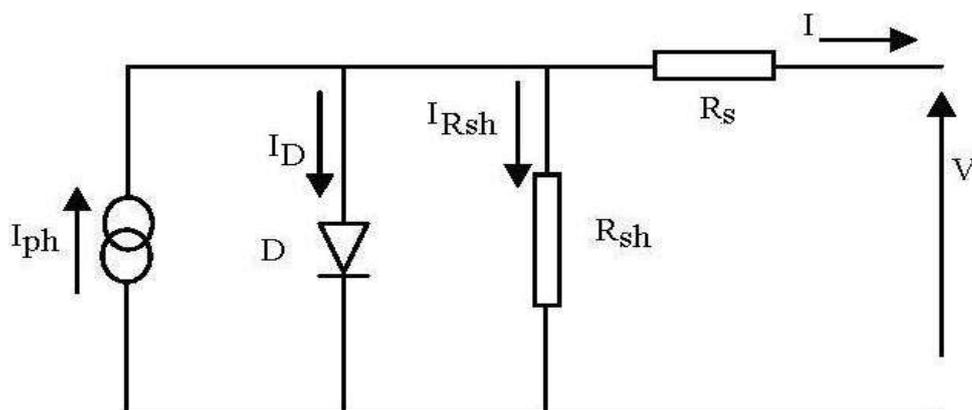


Fig. III.4: Circuit équivalent du GPV[8].

L'équation du modèle du GPV est donné par:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{mKT}\right) - 1 \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (31)$$

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

I_L : Photo courant, (A)

R_s : Résistance série, (Ω)

R_{sh} : Résistance shunt, (Ω)

On peut déterminer les paramètres du modèle à partir des données du constructeur (V_{OC}, I_{SC}, V_m, I_m). Une fois les paramètres (m, I_1, R_s, I_0, R_{sh}), sont déterminés, la caractéristique I-V est calculée par des méthodes numériques [11,12].

Dans notre étude entretenue, le rendement de la conversion photovoltaïque est un paramètre sensible à la variation de la température et du rayonnement. Le rendement moyen est donné par la relation suivante [11,9].

$$\eta_m = \eta_0 \cdot [1 - \gamma(T_c - 20)] \quad (32)$$

η_m : Rendement du module

η_0 : Rendement du générateur PV au CTS (1000 W/m² et 25 °C)

γ : Coefficient de température

T_c : Température de la cellule, (°C)

$$\text{Avec : } T_c = T_a + \text{IRGM} \times \left(\frac{\text{NOCT} - 20}{800} \right) \quad (33)$$

T_a : Température ambiante, (°C)

IRGM: Irradiation journalière moyenne, [Wh/m²]

NOCT: Température nominale D'opération de la cellule, (°C)

7.1.3 Calcul de la taille du générateur PV

La taille du GPV est l'aire occupée par l'ensemble des modules photovoltaïques montés en série et en parallèle, pour satisfaire les besoins énergétiques de l'utilisateur.

$$\text{Area} = NMS \times NMP \times S_{cel} \quad (43)$$

Area: Surface du générateur, (m²)

NMS: Nombre des modules en série

NMP: Nombre des modules en parallèle

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

S_{cel} : Surface du module, (m²)

$$NMS = V_{ins}/V_{mno} \quad (35)$$

V_{ins} : Tension d'installation, (V)

V_{mno} : Tension nom du module, (V)

Considérant le rendement de la batterie et le rendement du convertisseur, le rendement du système peut s'écrire [12].

$$\eta_{sys} = \eta_g \times \eta_B \times \eta_C \quad (36)$$

η_B : Rendement de la batterie

η_C : Rendement de l'onduleur

$$NMP = \left[FS \cdot \frac{CJM}{IRGM \times \eta_g \times \eta_B \times \eta_C \times S_{cel} \times NMS} \right] \quad (37)$$

FS : Facteur de sécurité

$IRGM$: Irradiation journalière moyenne, [Wh/m²]

CJM : Consommation journalière moyenne, (Wh/m²)

NMP : Nombre des modules en parallèle

7.2 Modélisation numérique d'accumulateur

Le modèle mathématique décrit le fonctionnement du système d'accumulation d'énergie électrique, dont notre logiciel de dimensionnement, est représenté sur la figure suivante (Fig. 5).

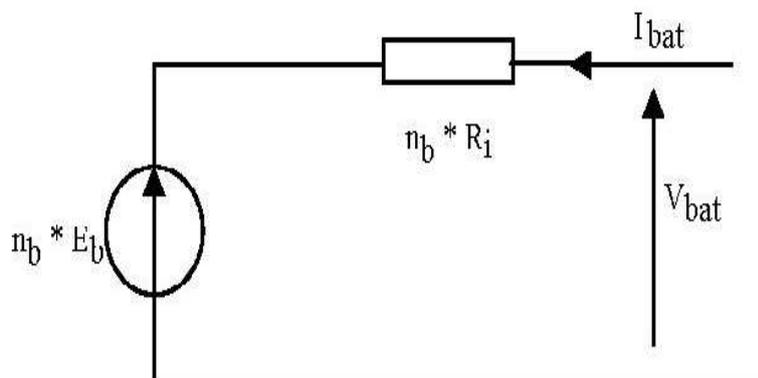


Fig.III.5: Circuit équivalente de n_b éléments de batteries en série [8].

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

Alors pour n_b éléments en série, nous pouvons écrire l'équation:

$$V_{bat} = n_b \cdot E_b + n_b \cdot R_i \cdot I_{bat} \quad (38)$$

V_{bat} : Tension de la batterie, (V)

E_b : Force électromotrice batterie, (V)

n_b : Nombre d'éléments de batterie

R_i : Résistance interne de la batterie, (Ω)

I_{bat} : Courant de la batterie, (A)

Et le courant de la batterie sera donné par:

$$I_{bat} = \frac{V_{bat} - n_b \cdot E_b}{n_b \cdot R_i} \quad (39)$$

Pratiquement, pour la gestion d'énergie du système, il sera plus commode de définir des profils de puissance, d'où l'idée d'imposer une consigne de puissance plutôt que de la tension, ce qui permettra de gagner en précision d'évaluation lors de la modélisation et également du suivi d'état de charge. L'évaluation du courant est alors calculée à partir de la tension aux bornes de la batterie, V_{bat} :

$$\begin{cases} I_{bat} = \frac{P_{bat}}{V_{bat}} \\ V_{bat} = n_b \cdot E_b + n_b \cdot R_i \cdot I_{bat} \end{cases} \quad (40)$$

La capacité de la batterie exprime la quantité d'énergie C_{bat} que peut restituer la batterie, en fonction du courant moyenne de décharge $\overline{I_{bat}}$. Son expression est établie à partir du courant I_{10} correspondant au régime de fonctionnement C_{10} (C_{10} est la capacité en Ah, de la batterie en régime de décharge à courant constant durant 10 heures: $C_{10} = 10 \cdot I_{10}$).

$$\frac{C_{bat}}{C_{10}} = \frac{1,67}{1 + 0,67(\overline{I_{bat}}/I_{10})^{0,9}} \times (1 + 0,005 \cdot \Delta T) \quad (41)$$

Où ΔT est l'échauffement de l'accumulateur par rapport à une température ambiante de 25°C (supposé identique pour tous les éléments).

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

7.2.1 Calcul de la capacité du parc de batteries

Pour dimensionner la capacité du parc de batterie, on a adopté la méthode suivante[13,14]:

- Calculer la consommation journalière moyenne (CJM);
- Déterminer le nombre de jour d'autonomie (J_{aut}) dont on souhaite bénéficier;
- Déterminer la profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie (D_m) d'après le type de batterie utilisée;
- Calculer la capacité (C_{acc}) de la batterie, en appliquant la formule suivante (25):

Alors:

$$C_{acc} = \frac{CJM J_{auto}}{V_b \cdot \eta_{acc} \cdot D_m} \quad (42)$$

C_{acc} : Capacité de la batterie de stockage, (Ah)

J_{aut} : Jours d'autonomie, (J)

D_m : Décharge profonde de la batterie

$$NB = \frac{C_{acc}}{C_B} \quad (43)$$

NB : Nombre total de batterie

C_B : Coût de la batterie

$$NBP = \frac{NB}{NBS} \quad (44)$$

NBP : Nombre de batteries en parallèle

NBS: Nombre de batteries en série

$$NBS = \frac{V_{instal}}{V_{acc}} \quad (45)$$

V_{inst} : Tension d'installation, (V)

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

7.2.2 La fenêtre des paramètres du site

Lorsque l'utilisateur lance la simulation de système étudié, la fenêtre suivante sera affichée (Fig.III.6). Pour un site donné de la base de données des sites. L'utilisateur doit introduire les paramètres du site géographique.

Paramètres du site géographique

Coordonnées Géographiques | Météo mensuelle

Lieu

Nom du site: Tlemcen

Pays: Algeria Région: Afrique

Latitude: 34.56 (Decimal) / 34 34 (Deg. min.) (+ = Nord, - = Hemisph. Sud)

Longitude: -1.19 (Decimal) / -1 11 (Deg. min.) (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude: 830 M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire: 1 Correspondant à une différence moyenne

Temps Légal - Temps Solaire = 1h 5m

Localisation du Projet

Vous pouvez redéfinir ici le nom du site (de votre projet), et éventuellement ses coordonnées géographiques. Pour définir de nouvelles valeurs météo, veuillez définir un nouveau site dans la base de données, options "Outils" / "Lieu géographique", ou importez un site par "Outils" / "Importation données météo"

Trajectoires du soleil

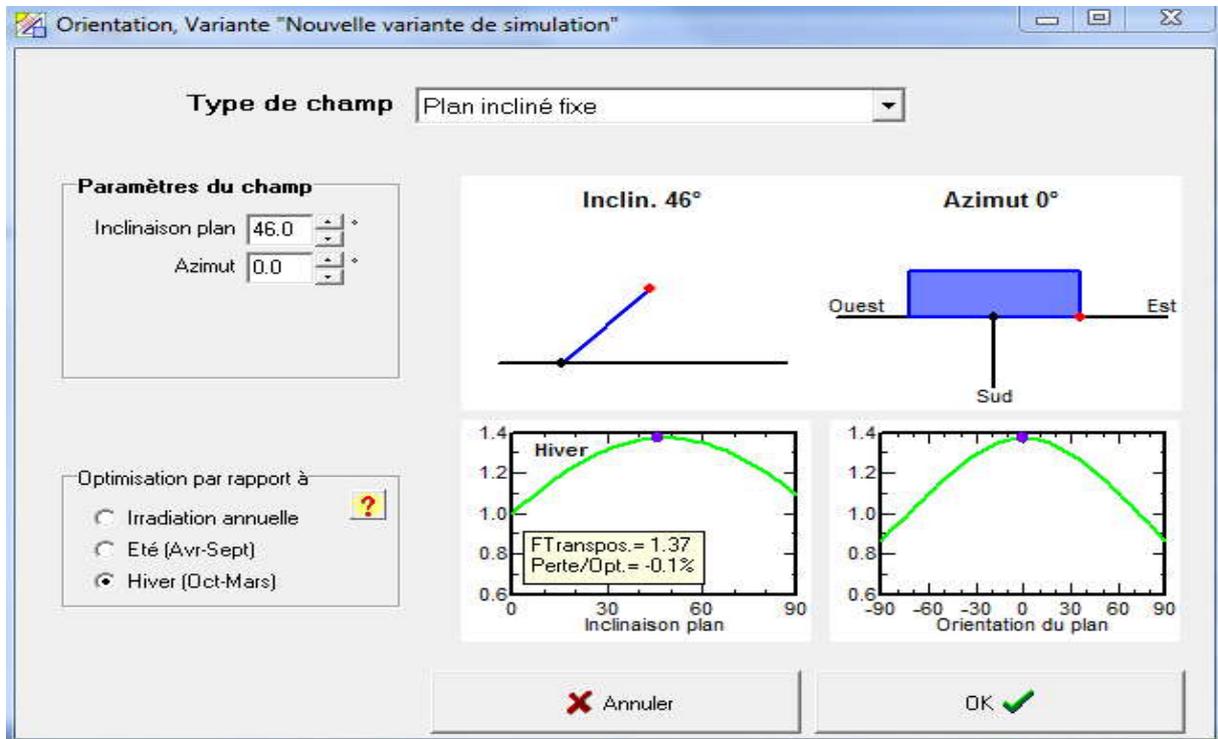
Imprimer

Annuler OK

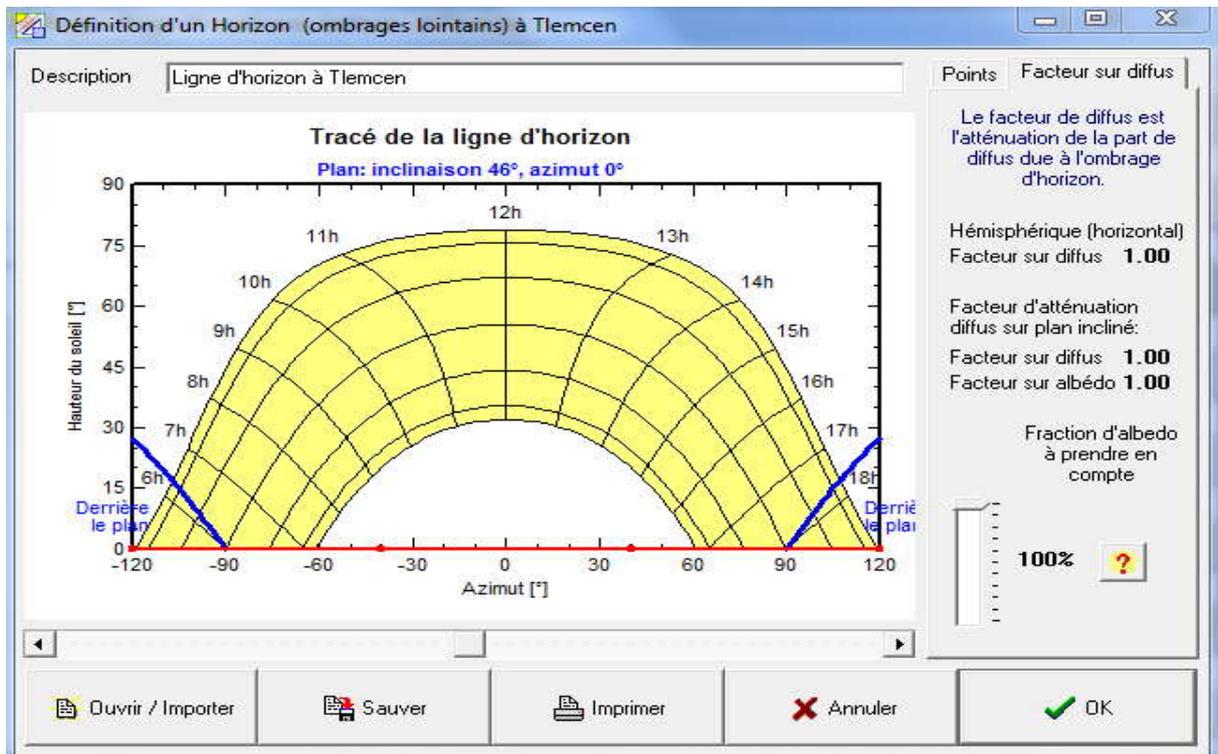
Fig.III.6 : Paramètres du site géographique.

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

Après, l'utilisateur devrait déterminer l'orientation, ainsi l'inclinaison de panneau, ce qui est présenté dans la fenêtre suivante,



La fenêtre suivante sera affichée pour donner ligne d'horizon à Tlemcen



Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

8. Calcul du besoin énergétique

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est basé sur l'évaluation des besoins en énergie électrique (consommation journalière moyenne CJM) de l'utilisateur.

La figure III.7, montre la fenêtre du logiciel PVsyst pour calculer la CJM.

Consumption definition by:

- Year
- Seasons
- Months

Week-end use: Use only during 7 days in a week

Model: Load, Save

Daily consumptions:

Number		Power	Mean Daily use	Daily energy
10	Fluorescent lamps	18 W/lamp	5.0 h/day	900 Wh
3	TV / Magnetoscope / PC	75 W/app.	3.0 h/day	675 Wh
3	Domestic appliances	0 W/app.	0.0 h/day	0 Wh
2	Fridge / Deep-freeze		0.60 kWh/day	1200 Wh
1	Dish-washer, Cloth-washer		1.20 kWh/day	1200 Wh
	Other uses	0 W tot	0.0 h/day	0 Wh
	Stand-by consumers	0 W tot	24h/day	0 Wh

Appliances info, Hourly distribution, Total daily energy: 3975 Wh/day, Total monthly energy: 119.3 kWh/month

Back, Other profile, Cancel, Next

Fig.III.7 : utilisation quotidienne de l'énergie.

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

9. Simulation de système PV autonome appliquée sur notre habitat :

Cette partie, est basée sur la simulation de système de production d'énergie et de stockage.

Le tableau suivant définit la batterie choisie :

Modèle	Dural SC
Fabricant	Electrona
Nom de fichier	Electrona_12V100A.BTR
Technologie	Pb-acide, ouverte, démarrage
Nombre d'éléments	6
Tension nominale	2.0 V/Cell
Capacité nominale	100 Ah
Résistance interne	1.00 mOhm/Cell
Efficacité coulombique	97.0%
Largeur	272 mm
Profondeur	203 mm
Hauteur	385 mm
Poids	44.5 Kg
Nombres de batteries	15
tension de la batterie pack	12 V
capacité globale	1500 Ah
énergie stockée	18.0 Kwh

Tableau .III.1 : Les paramètres de la batterie choisie.

Le tableau suivant définit le module choisi :

Modèle	BP 580F
Fabricant	BP SOLAR
Nom de fichier	BPSOLAR_BP580F.PAN
Technologie	Si-mono
Puissance nominale	80.0 W
Courant de court-circuit I_{sc}	5.00 A
Point de puissance max I_{mpp}	4.44 A
T_{Ref}	25°C
Circuit ouvert V_{co}	22.00 V
V_{mpp}	18.00 V
Résistance parall	160 Ohm
Résistance serie	0.255 Ohm
Nombre de cellules en séries	36
Longueur	1188 mm

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

Largeur	530 mm
Epaisseur	43.0 mm
Poids	7.50 Kg
Surface de module	0.630 m ²
Nombre des modules	18
Ordre de tension à 50°C	15.7 V
Ordre de courant	81.8 A
Puissance	1.4 KWp

Tableau .III.2 : les paramètres du module choisi.

La représentation finale de notre système photovoltaïque autonome, est représentée dans la figure suivante

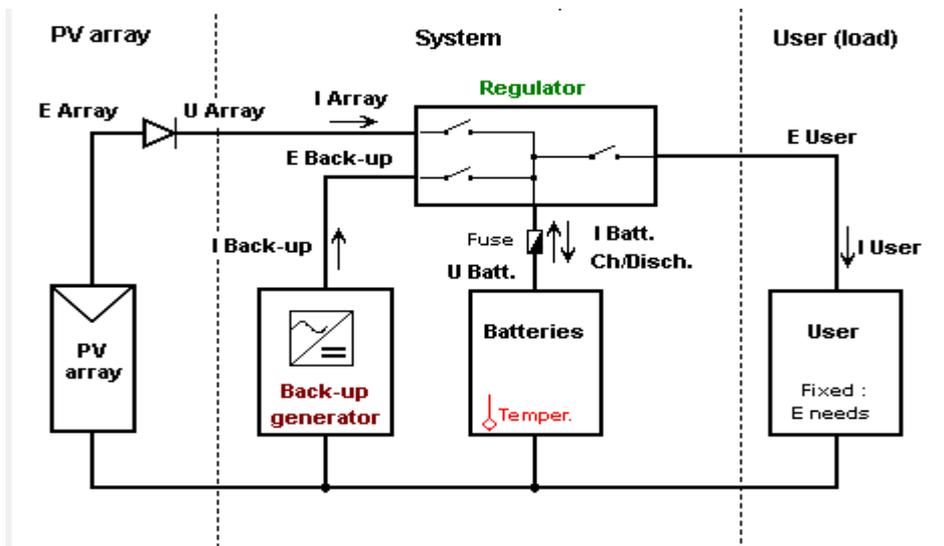


Fig.III.8 : La représentation de Système autonome

10. Calcul du coût de l'installation PV

Dans notre travail, on a adopté une méthode simplifiée pour le calcul du coût d'une installation photovoltaïque selon le modèle suivant [8]:

$$CT = C_{GPV} + C_B + C_{Reg} + C_{ond} + C_0 \quad (46)$$

CT : Coût total initial du système

C_{GPV} : Coût du générateur PV

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

C_B : Coût du parc de stockage

C_{reg} : Coût du régulateur à installer

C_{ond} : Coût de l'onduleur, si besoin

C_0 : Coût indirect

Alors que le coût de revient en kW/h du système PV est donnée par:

$$C_{PVkW/h} = \frac{C_{TDV}}{C_{ons}} \quad (47)$$

C_{TDV} : Coût total estimé pour une durée de vie de l'installation prévue

C_{ons} : Consommation annuelle du système

Et C_{TDV} représente le coût total estimé pour une durées de vie de l'installation préavis, donnée par:

$$C_{TDV} = CT + C_{OM} + C_{RB} \quad (48)$$

CT : Coût total initial du système

C_{OM} : Coût d'opération et maintenance

C_{RB} : Coût de remplacement (Batteries)

11. Installation solaire photovoltaïque PV sur notre habitat :

- Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
- L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.
- Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

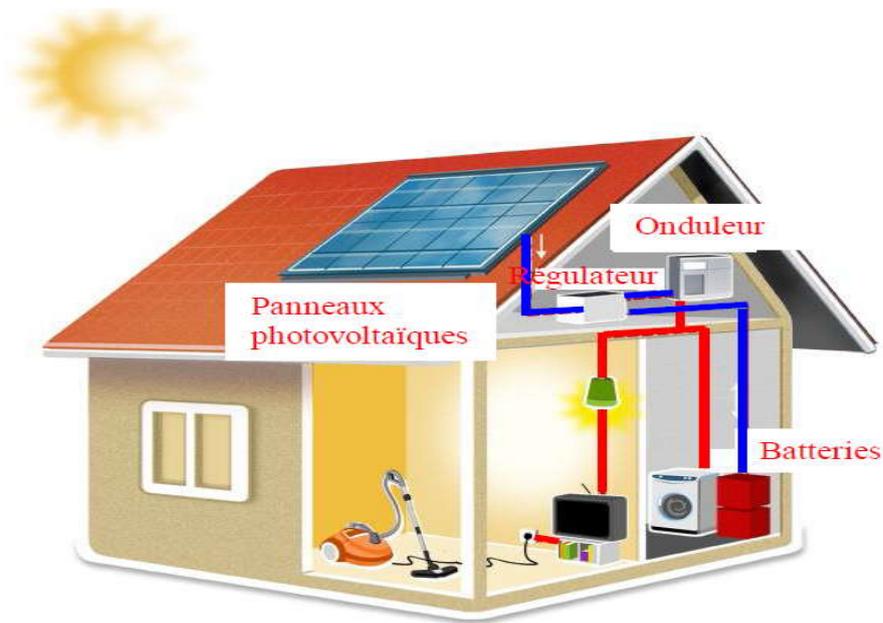


Fig.III.10 : Construction d'une installation photovoltaïque pour une alimentation électrique autonome.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthode des degrés jours pour l'analyse énergétique mensuelle et annuelle de notre habitat en étude. Nous avons également optimisé les besoins de chauffage et rafraîchissement de l'habitat pour différentes températures de base qui ont été utilisées pour le calcul de la consommation annuelle de chauffage et de refroidissement.

En ce qui concerne la partie photovoltaïque, notre étude était basée sur la modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque autonome avec logiciel PVsyst. Nous avons calculé les besoins énergétiques de notre habitat. Ainsi, le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour notre habitation est 18 modules chacun a une surface de 0.630m^2 .

Enfin, les méthodes que nous avons utilisées répondent convenablement à nos questions sur les besoins énergétiques de notre habitat.

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

Référence :

- [1] R.KHARCHI, B.BENYOUCEF, « Analyse des besoins énergétiques en chauffage et en rafraîchissement : Cas de trois sites d'Algérie ».
- [2] Ministère de l'énergie et des Mines;
<http://www.memalgeria.org/francais/index.php?page=potentiels>.
- [3] ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), CHAPTER 31, ENERGY ESTIMATING AND MODELING METHODS.
- [4] Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian, Dan Liao, « Evaluation on energy and thermal performance for residential envelopes in hot summer and cold winter zone of China », Applied Energy 86 (2009) 1970–1985.
- [5] ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), CHAPTER 31, ENERGY ESTIMATING AND MODELING METHODS 2001.
- [6] William A.BECKMAN, SANFORD A.KLEIN & JOHN A.DUFFIE « SOLAR HEATING DESIGN, by the f-chart Method », wiley-interscience publication.
- [7] Jaques BERNARD, « Energie solaire, calculs et optimisation », éditions Ellipses 2004.
- [8] H. Belmili1, M. Ayad, E.M. Berkouk et M. Haddadi, « Optimisation de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes - Exemples d'applications, éclairage et pompage au fil du soleil », Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 27 – 39.
- [9] S. Labeled, 'PVSIZING, une Méthode Simple pour Dimensionner les Installations Photovoltaïques', Congrès sur les Energies Renouvelables, la Maîtrise de l'Energie et l'Environnement, CEME'97, Biskra, pp. 25 – 30, 1997.
- [10] A. Moumami, N. Hamani, N. Moumami et Z. Mokhtari, 'Estimation du Rayonnement Solaire par deux Approches Semi Empiriques dans le Site de Biskra', Séminaire International sur la Physique Energétique, SIPE'8, Béchar, 2006.
- [11] J. Hofierka and M. Suri, 'The Solar Radiation Model for Open Source GIS: Implementation and Applications', In M. Ciolli and P. Zatelli (Eds), Proceedings Conference, 'Open Source GIS-GRASS user's Conference 2002', Trento, Italy, September 11-13, 2002.
- [12] E. Negro, 'PC Simulation and Sizing of PV Systems', Workshop on Materials Science and Physics of Non-Conventional Energy Sources, France, September 1993.
- [13] I. Hadj Mohammed, 'Modélisation du Générateur Photovoltaïque', Mémoire de Magister; Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2003.

Chapitre 3 Modélisation et Simulation de système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique

[14] J. Royer et al, 'Le Pompage Photovoltaïque', Manuel de cours, Institut de l'Énergie des Pays ayant en commun l'usage du Français, Québec (Canada), 1998.

Chapitre IV

Interprétation des Résultats et
Discussion

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse des résultats obtenus dans la partie précédente. Ces résultats qui ont été interprétés, d'une part, par la méthode des degrés jours pour le chauffage et le rafraîchissement ; et d'autre part, par la simulation qu'on a fait par logiciel PVsyst concernant l'énergie fournie par le système PV, l'énergie utilisée, l'énergie manquante...

Nous allons discuter, plus précisément, sur les courbes réalisées après la simulation des modèles proposés dans le Chapitre 3.

2. Résultat obtenus par la méthode des degrés jours

2.1 Chauffage sans apport solaire

La figure 1 donne les déperditions thermiques de l'enveloppe par transmission surfacique et par ventilation. Les déperditions par les parois de l'enveloppe sont conformes aux normes sur l'isolation thermique du bâtiment, 10% par le toit peut être diminué en isolant plus, mais cette valeur reste moindre, 19% par les murs extérieurs ne sont pas très importants vu la composition de la paroi. Les déperditions par ventilation sont plus importants, ils atteignent 32% et équivalent à 2904 kWh/an [1].

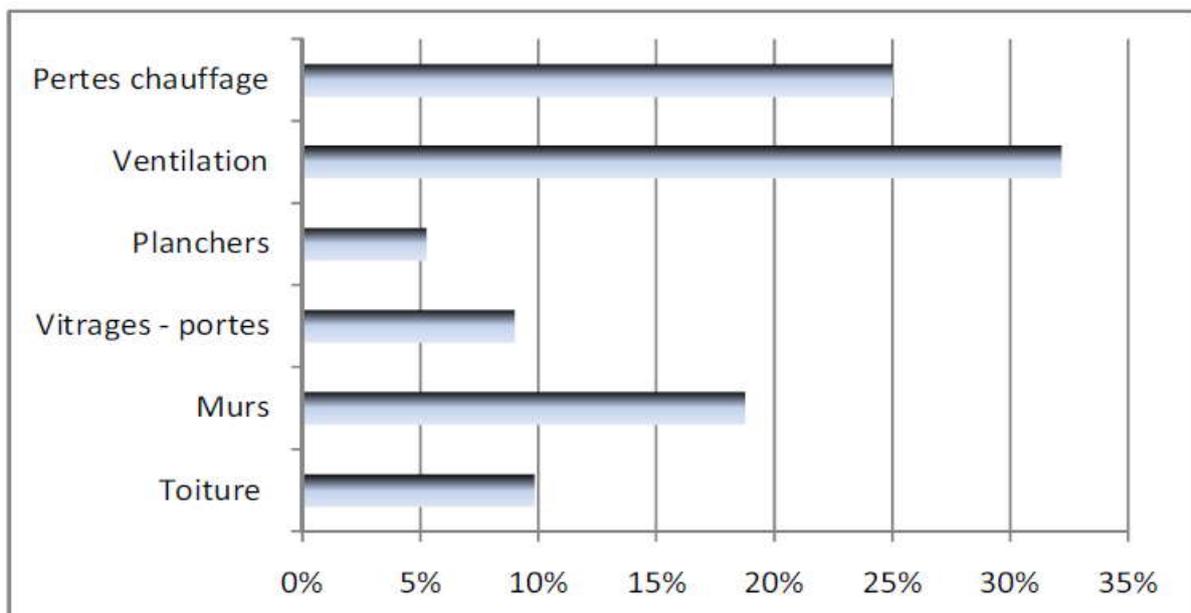


Fig.IV.1: Déperditions thermique de l'enveloppe de l'habitat.

La figure 2 représente les degrés jours de chauffage sur base de 18°C et 15°C, ainsi que la température de l'air extérieur pendant une année (2008).

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

Ils atteignent leur maximum en décembre, 229°jour sur base de 18°C et 136,3°jours sur base de 15°C [1].

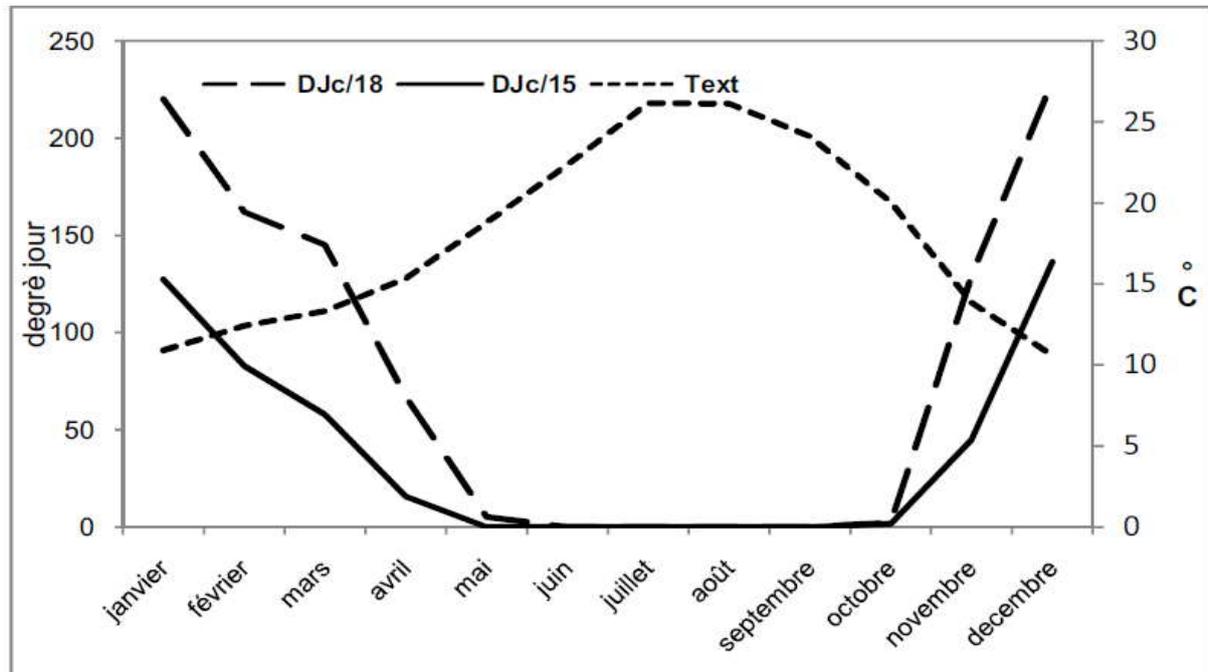


Fig.IV.2 : Degrés jours de chauffage sur différentes températures de base.

La figure 3 montre la demande de chauffage pour l'année 2008 sur base de 18°C et 15°C. La demande de chauffage est plus importante dans le cas où la température de base est de 18°C, elle atteint la valeur de 1355 kWh en décembre, par contre celle calculée sur base de 15°C, elle est de 805,94 kWh pour le même mois.

La demande de chauffage sur base de 18°C est très faible en mois de mai, elle est de 30,75 kWh, puisque la température extérieure est de 16 à 17°C pendant trois jours de cette année (2008). Par contre sur base de 15°C, la demande de chauffage est nulle en ce même mois.

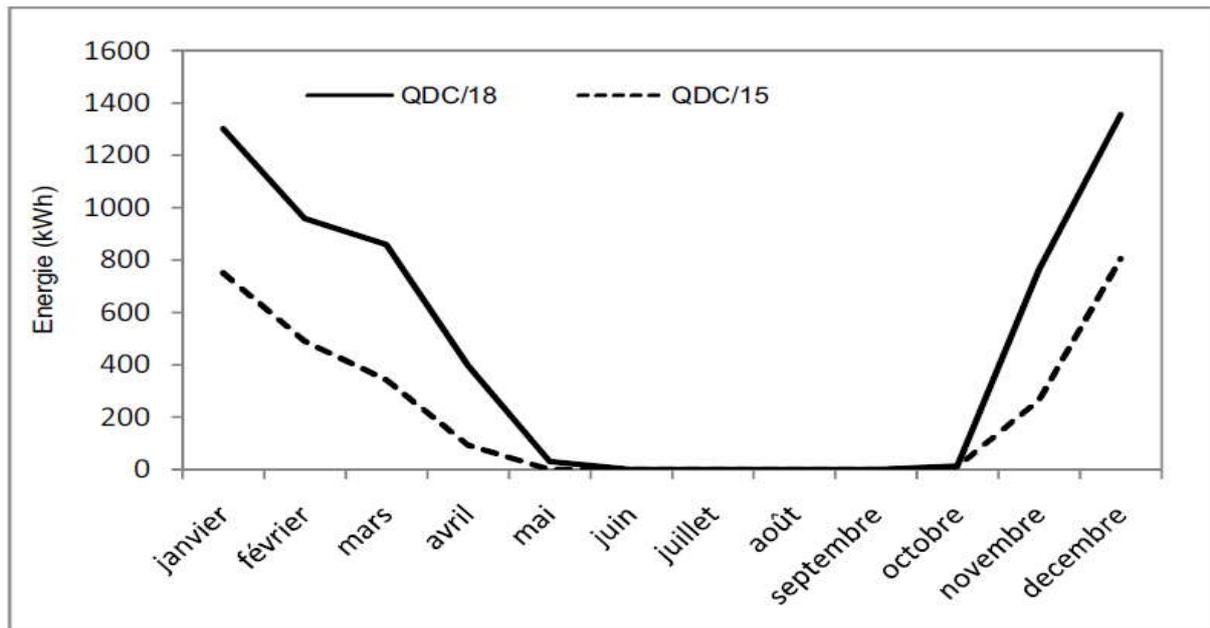


Fig.IV.3 : Demande énergétique de chauffage sur base de 18°C et 15°C pour l’année 2008.

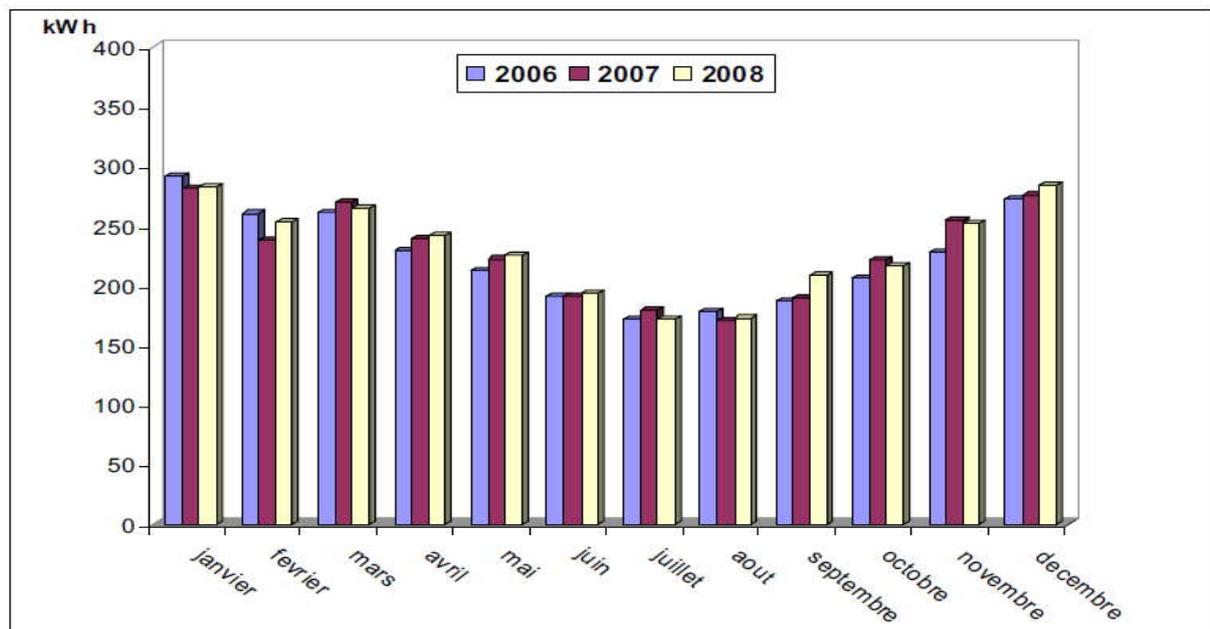


Fig.IV.4 : Demande énergétique en Eau Chaude Sanitaire.

La figure 4. Donne la demande en eau chaude sanitaire pendant toute l’année pour une famille de 05 personnes, pour une consommation journalière de 35 litres par personne.

Nous avons une consommation d’eau chaude sanitaire presque constante pendant l’année, légèrement faible en période estivale, vu que la demande est fonction de la température de l’eau de réseau, qui dépend de la température extérieure [1].

La demande atteint les 280 kWh en janvier pour les trois années successives, et 171 kWh en juillet et août.

2.2. Apports solaires

Pour comprendre l'évolution des apports solaires sur les parois opaques et vitrées, nous devons analyser les variations de l'éclairement solaire sur une surface horizontale (toiture) et l'éclairement solaire sur une paroi verticale (vitrages).

La figure 5 ,6 montrent les variations pendant l'année, ces valeurs sont des valeurs moyennes prises sur une période de 10 ans.

La figure 5 montre les gains solaires par les vitrages.

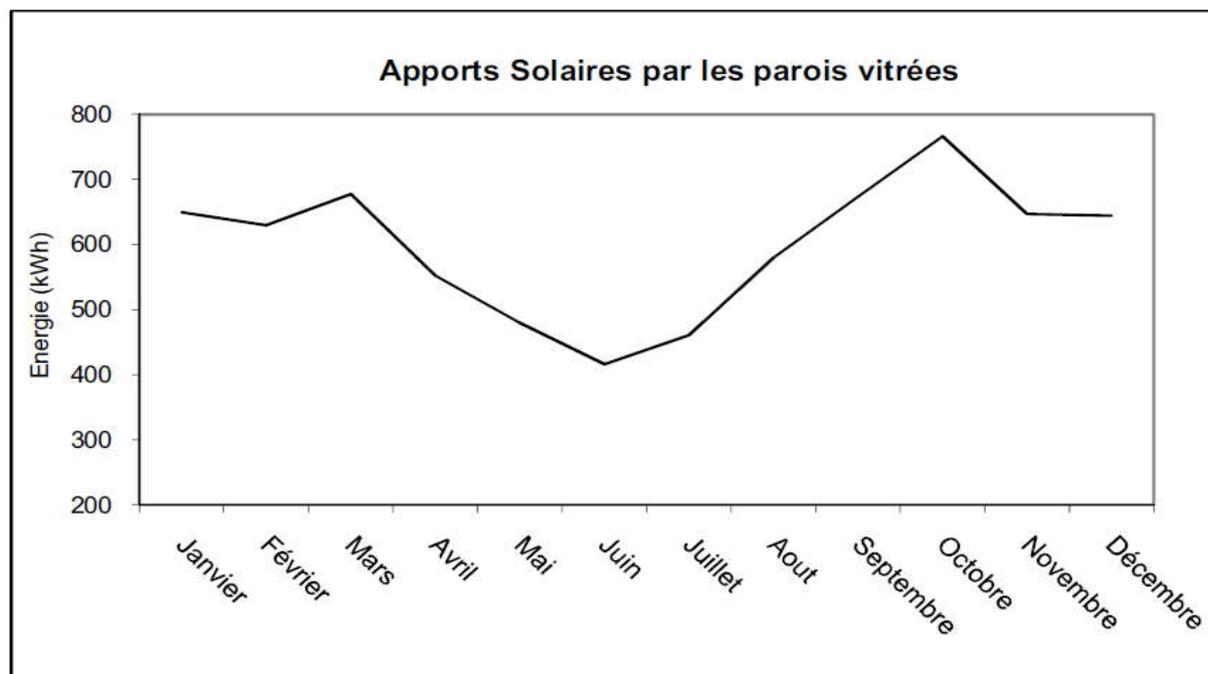


Fig.IV.5 Apports solaires par les parois vitrées.

De la même manière, la figure 6 représente les apports thermiques par le toit et varie proportionnellement à l'éclairement solaire sur une surface horizontale.

On voit que les apports thermiques par la toiture sont très importants en période estivale surtout en juillet (2008), ce qui est défavorable, puisque nous devons rafraichir pour avoir le confort.

Par contre en janvier, les valeurs sont négatives (-40 kWh), donc nous avons des déperditions par le toit, et là nous devons penser à récupérer cette chaleur en chauffant plus [1].

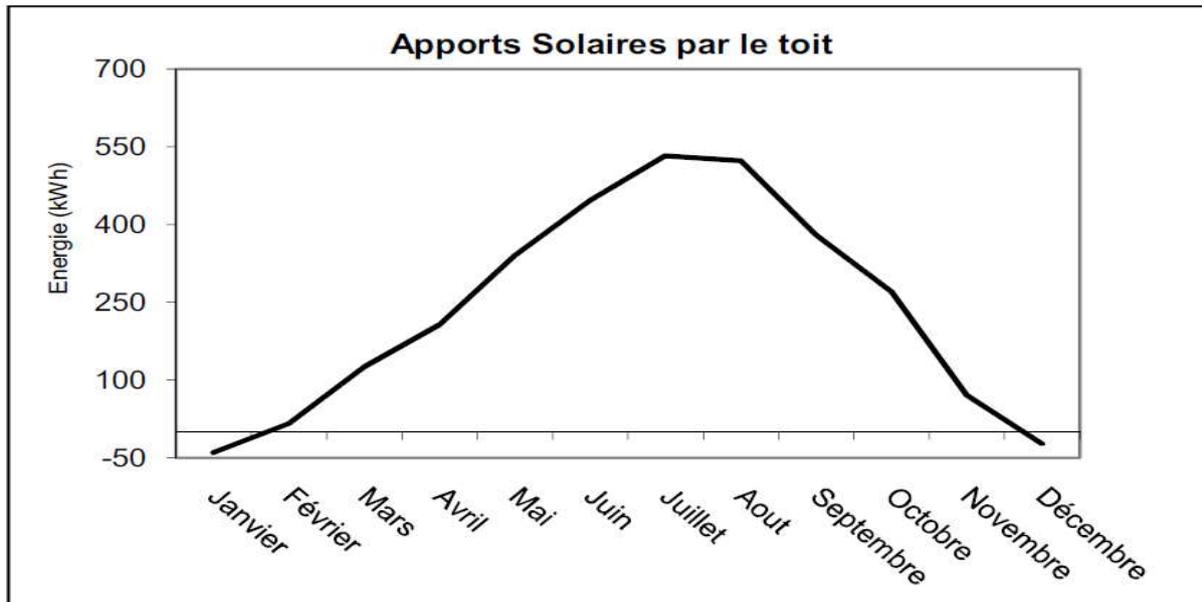


Fig.IV.6 : Apports solaires transmis par le toit.

2.3. chauffage avec apports gratuits

La figure 13 montre la demande de chauffage pendant une année, et cela dans le cas où on néglige les apports gratuits (solaires et internes) et dans le cas où on les inclut dans nos calculs [3].

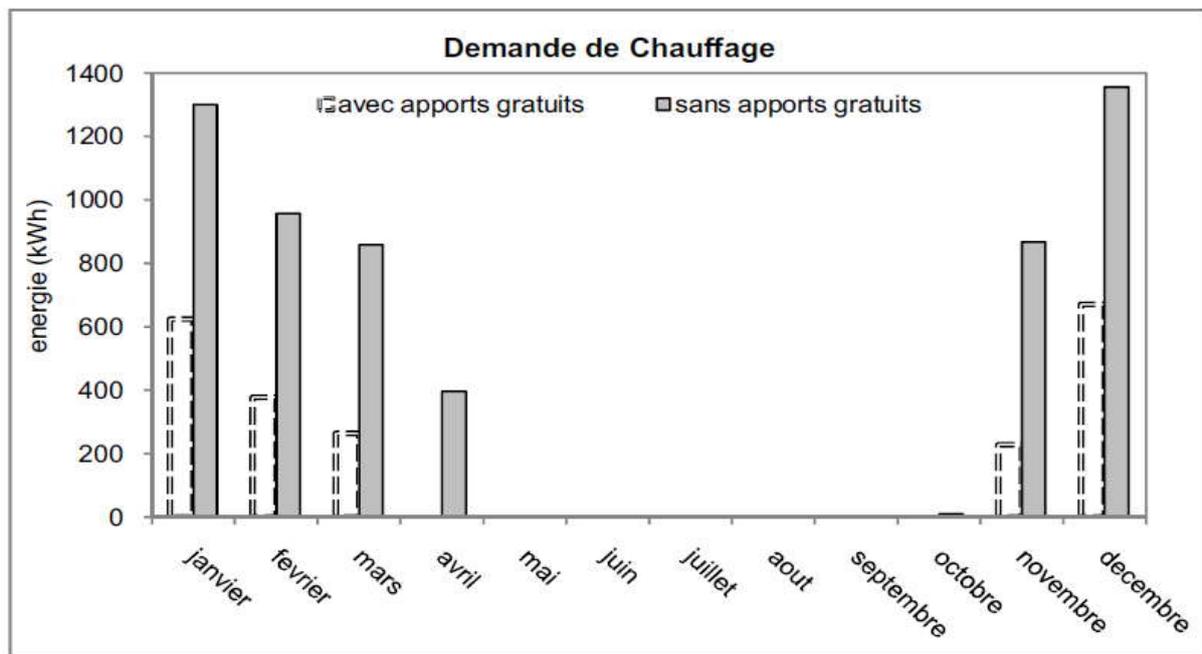


Fig.IV.7 : Demande énergétique mensuelle de chauffage.

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

Les apports thermiques reçu par l'habitat diminue clairement la demande de chauffage et arrive jusqu'à la moitié.

Sans les apports thermiques gratuits, la demande est de 1300 kWh en janvier, en incluant ces derniers la demande atteint 624 kWh avec un taux d'utilisation de 0,7.

Sans apports thermiques, nous avons besoin de chauffer au mois d'Avril, alors qu'en les incluant, la demande de chauffage est nulle.

2.4. Rafrachissement sans les apports gratuits

La figure 8 montre la demande de rafraichissement dans les deux cas, c'est-à-dire sur base de 22°C et 25°C. Ces calculs sont faits en ignorant les apports solaires et internes, ce qui fait qu'ils sont moindres, nous verrons plus tard la différence.

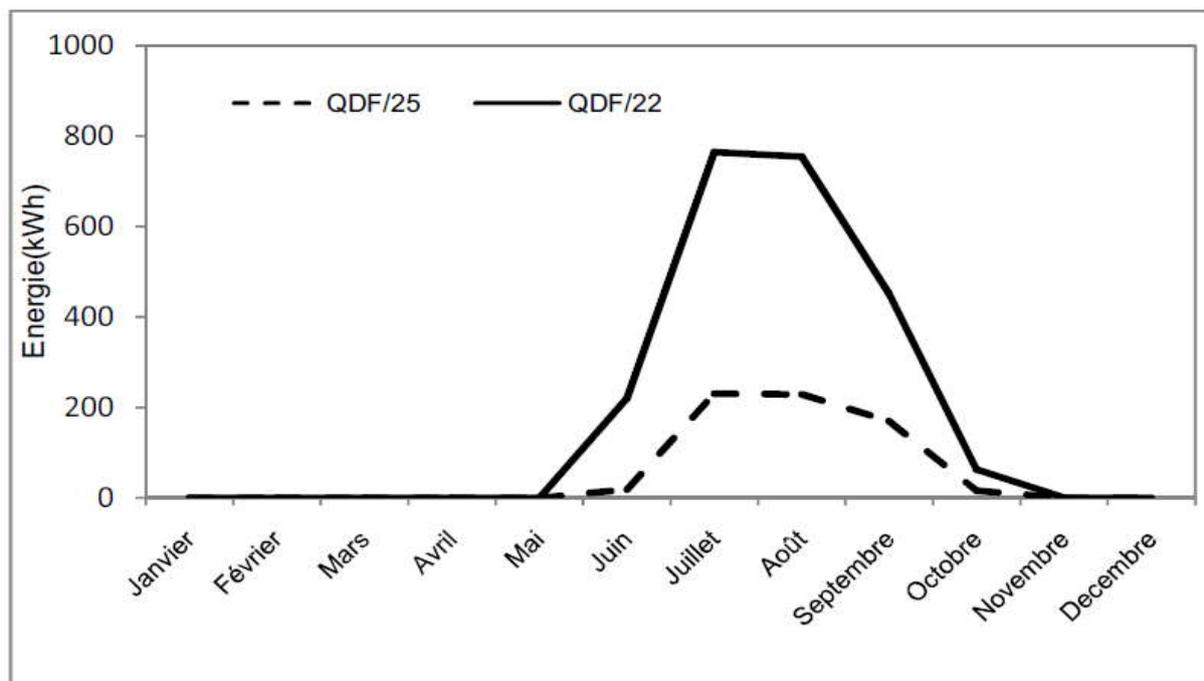


Fig.IV.8 : Demande énergétique de froid sur base de 22°C et 25°C pour l'année 2008.

2.5. Rafrachissement en incluant les apports gratuits

La figure 9 montre la demande de rafraîchissement en prenant en considération les apports gratuits. Nous avons tracé les résultats obtenus dans les deux cas, avec et sans apports, et cela pour montrer l'influence de ces derniers sur la demande énergétique.

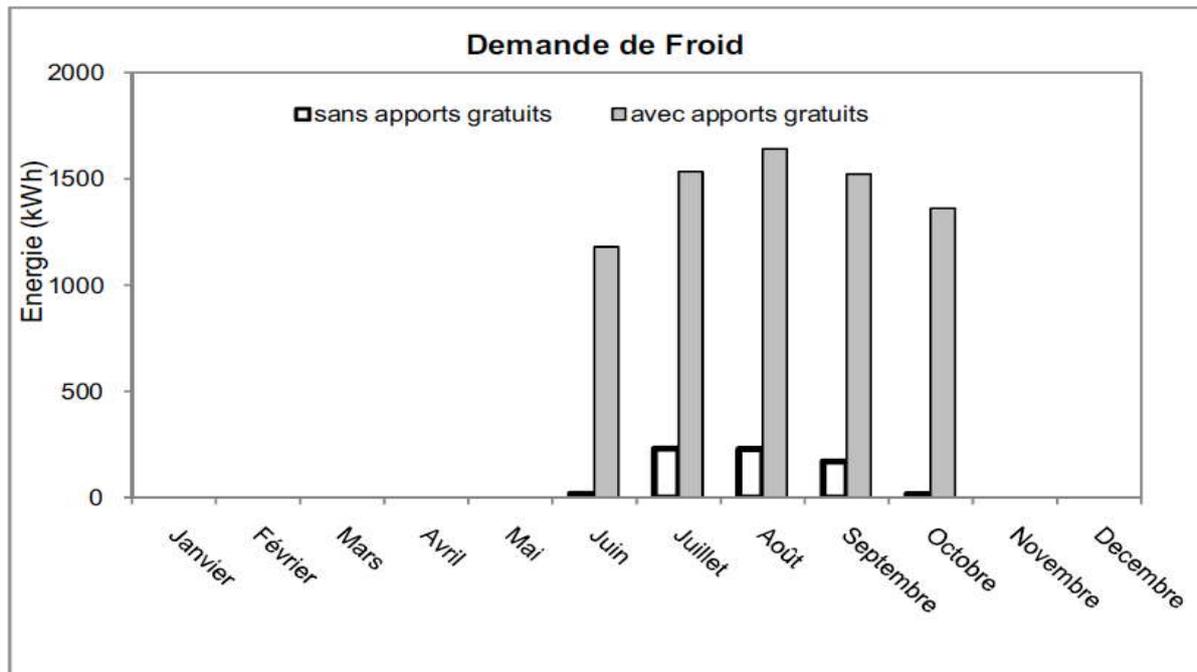


Fig.IV.9 : Demande énergétique mensuelle de froid (rafraîchissement) sur base de 25°C.

On observe que le cas où les apports sont pris en considération, la demande est très importante, sans les apports gratuits, nous devons rafraîchir seulement trois mois (juillet, aout et septembre) et la demande est de l'ordre de 200 à 230 kWh, alors que dans le cas réel, avec les apports gratuits qui influent dans le confort thermique, la demande est de l'ordre de 1500 kWh et cela pendant 5 mois [1].

3. Résultat de système photovoltaïque autonome étudié :

Dans cette partie, nous allons interpréter les résultats de système PV autonome

3.1. Le comportement du module selon irradiation incidente [w /m²]

Quand l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque croît, les courbes I-V se décalent vers les valeurs croissantes permettant au module de produire une puissance électrique plus importante; les points de puissance maximale sont marqués par un rond la figure 10.

Donc l'irradiation incidente influence sur le comportement du module.

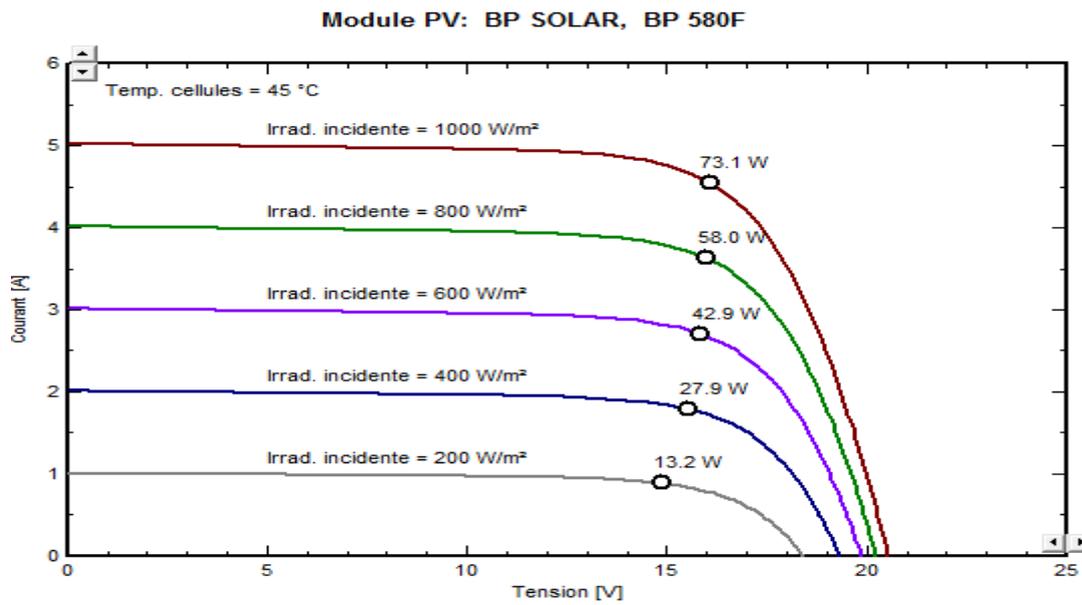


Fig.IV.10 : Le comportement du module selon irradiation incidente [w /m²].

3.2. Le comportement du module selon la température

La figure 11 montre que le courant augmente très rapidement lorsque la température s’élève et engendre une décroissance moins prononcée de la tension de circuit ouvert, ce qui fait une baisse relative de la puissance disponible.

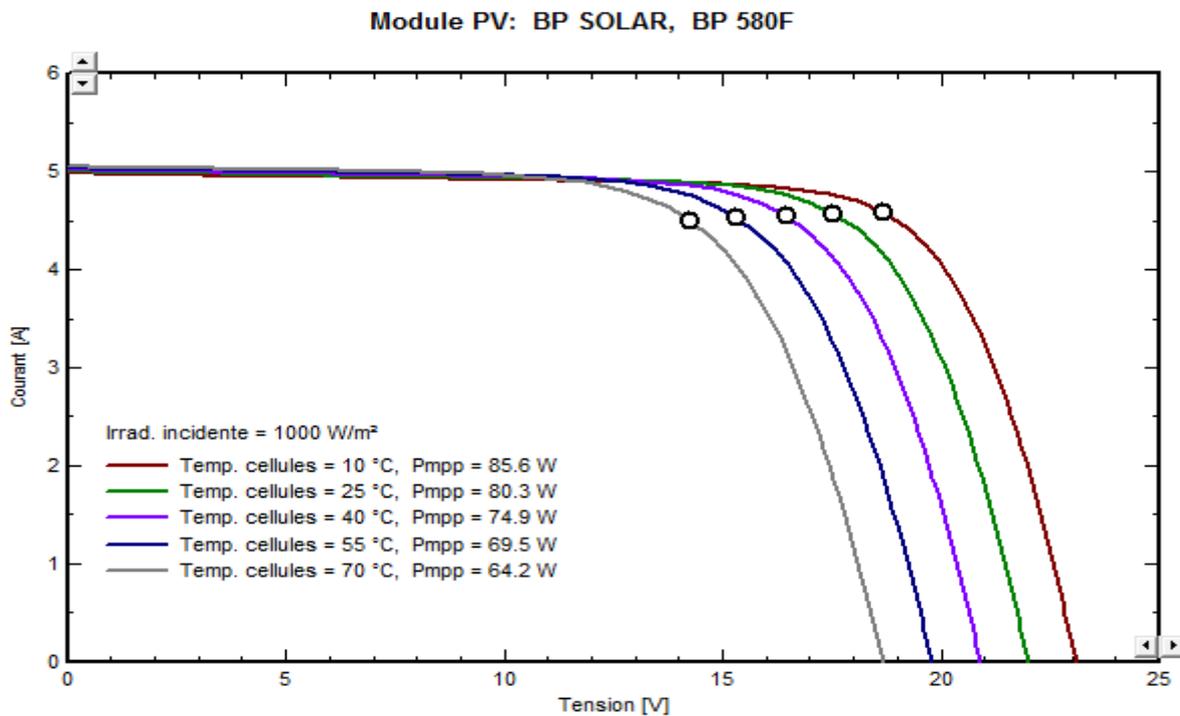


Fig.IV.11 : Le comportement du module selon la température.

3.3. Le comportement du module selon la résistance en série

Les performances d'une cellule photovoltaïque sont d'autant plus dégradées que R_s est grande ou que R_{sh} est faible. La figure 12 montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique I-V. Cette influence se traduit par une diminution de la pente de la courbe $I = f(V)$ dans la zone où le panneau fonctionne comme source de tension, à droite du point de puissance maximum (m sur la figure). La chute de tension correspondante est liée au courant généré par le panneau [2].

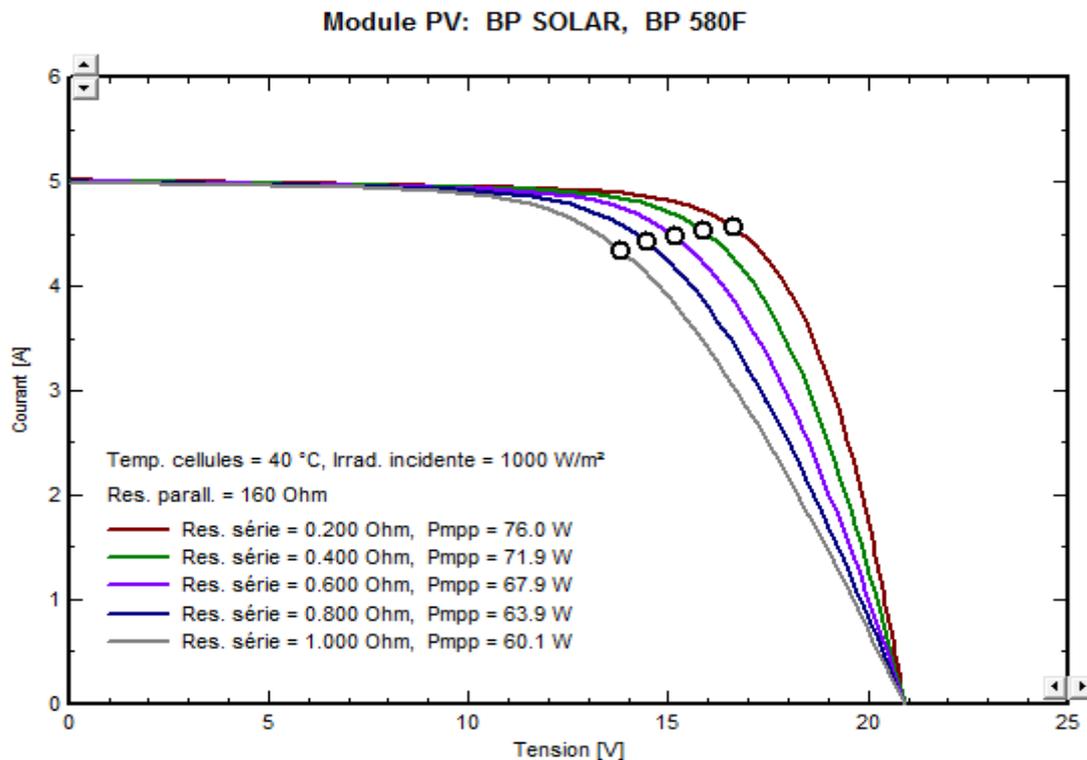


Fig.IV.12 : Le comportement du module selon la résistance en série.

3.4. Le comportement du module selon la résistance en parallèle

La résistance shunt est liée directement au processus de fabrication, et son influence ne se fait sentir que pour de très faibles valeurs du courant. La figure 13 montre que cette influence se traduit par une augmentation de la pente de la courbe I-V du panneau dans la zone correspondante à un fonctionnement comme une source de courant. Ceci provient du fait qu'il faut soustraire du photo-courant, outre le courant direct de diode, un courant supplémentaire variant linéairement avec la tension développée [2].

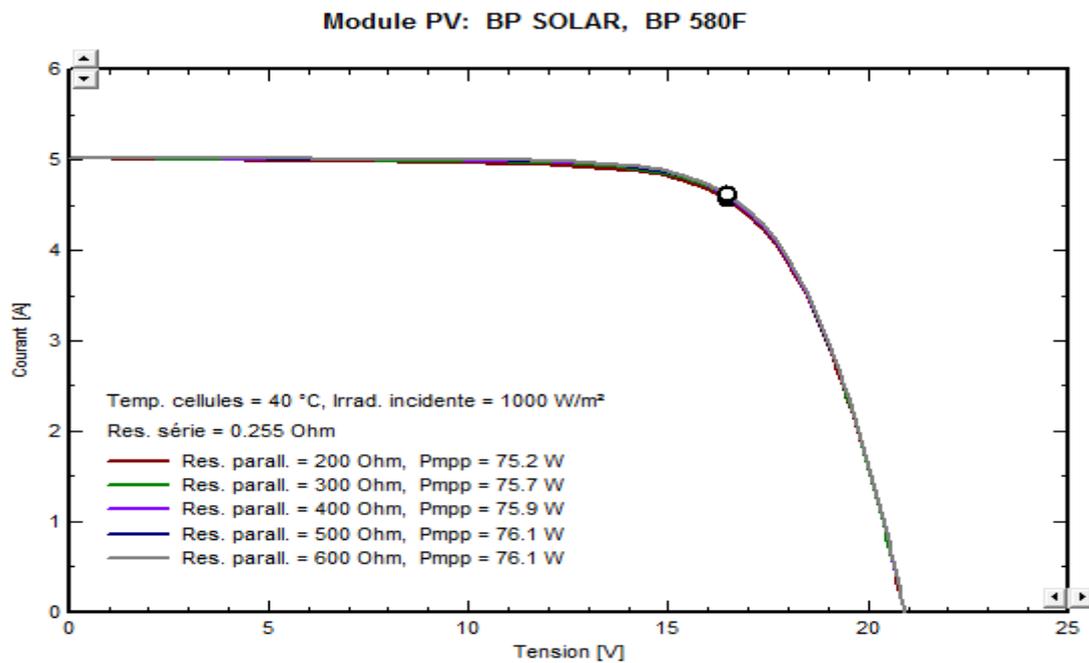


Fig.IV.13 : Le comportement du module selon la résistance en parallèle.

3.5. Tension d'un élément de la batterie en fonction du modèle

La batterie de 2 A, ça prend 58.3 heures pour charger, par ailleurs la batterie de 10 A, prend 12.2 heures pour charger, et la batterie de 20 A son temps de charge est 6heurs. Ce qui est présenté dans la figure 14.

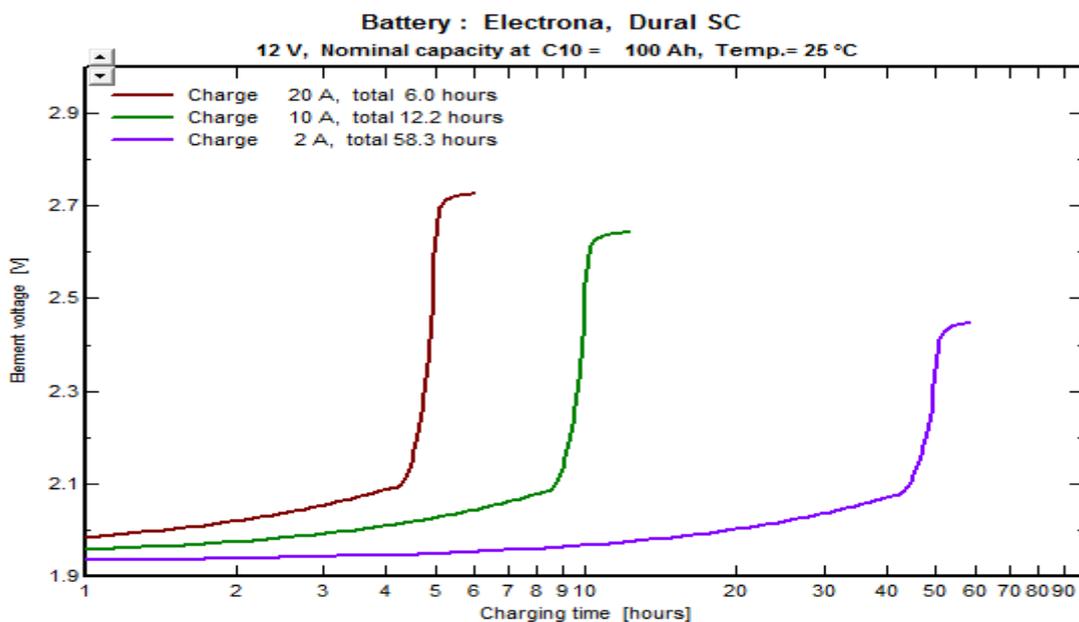


Fig.IV.14 : Le chargement de batterie.

La figure 15 montre que en mode décharge la batterie de 2 A, ça demande 50heurs pour décharge, et la batterie de 20 A, il décharge pendant 5heurs,

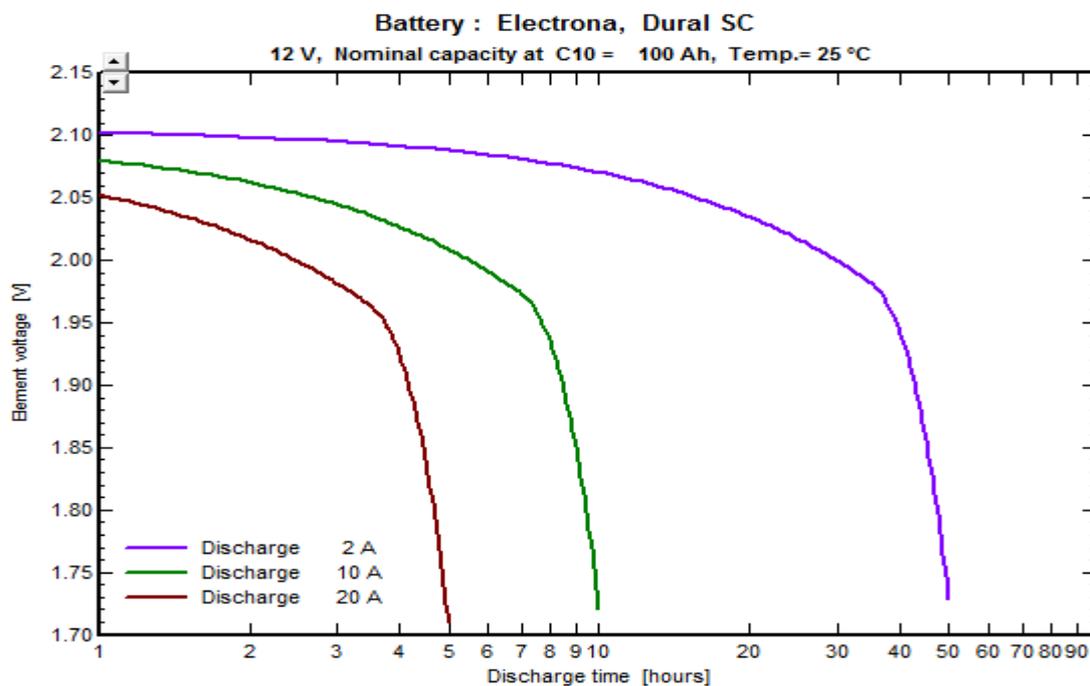


Fig.IV.15 : Le déchargement de batterie.

3.6. Rapport de simulation

Système isolé avec batteries : paramètres de simulation				
Projet	Projet PV isolé avec batteries at Tlemcen			
Site géographique	Tlemcen	Pays Algeria		
Situation	Latitude 34.6°N	Longitude 1.2°W	Altitude 830m	Albédo 0.20
Données météo	Tlemcen ; Données horaires synthétique			
Orientation plan capteurs	Inclinaison 46°		Azimut 0°	
Caractéristique du champ de capteurs				
Module PV Si-mono	Modèle BP580F	Fabricant BP SOLAR		

Nombres de modules PV	En série 1 module	En parallèle 18 chaines
Nombres total de modules PV	Nombres de modules 18	Puissance unitaire 80Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC) 1.44 KWc	Aux cond. De fonct KWc (50°)
Caractéristiques de fonct. Du champ (50°C)	Umpp 16V	Imp 82A
Surface totale	Surface modules 11.3m ²	Surface cellule 9.3m ²
Paramètres du système	Type de système	Système isolé avec batteries
Batterie	Modèle Dural SC	Fabricant Electrona
Caractéristique du banc de batteries	Tension 12V	Capacité nominale 1500Ah
Nombre d'unités	15 en parallèle	Température Fixée (20°C)
Régulateur	Modèle General Purpose Default	Technologie Undefined
Seuils de régulation batterie	Charge 13.7 /13.1V	Décharge 11.8 /12.6V
Commande génératrice d'appoint 11.8/12.9V		
Besoins de l'utilisateur	Consommation domestique constante sur moyenne 4.0 Kwh/jour	
	Consommation domestique sur l'année globale 1451 Kwh/an	

3.7. Besoins de l'utilisateur :

Valeurs annuelles

	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lampes fluorescentes	10	18W/lampe	5h/jour	900Wh/jour
TV/Magnétoscope	3	75W/app	3h/jour	675Wh/jour
Frigo/Congélateur	2		600Wh/jour	1200Wh/jour
Machines à laver	1		1200Wh/jour	1200Wh/jour
Energie journalière totale				3975Wh/jour

Tableau .IV.1 : Les besoins journalière.

3.8. Résultats principaux de la simulation :

L'énergie disponible est de 1918 Kwh/an, par ailleurs l'énergie utilisée 1377 Kwh/an. L'indice de performance (PR) vaut 56.1% et la fraction solaire (SF) vaut 94.9%.

La figure19 représente la production normalisée (par Wc installé)

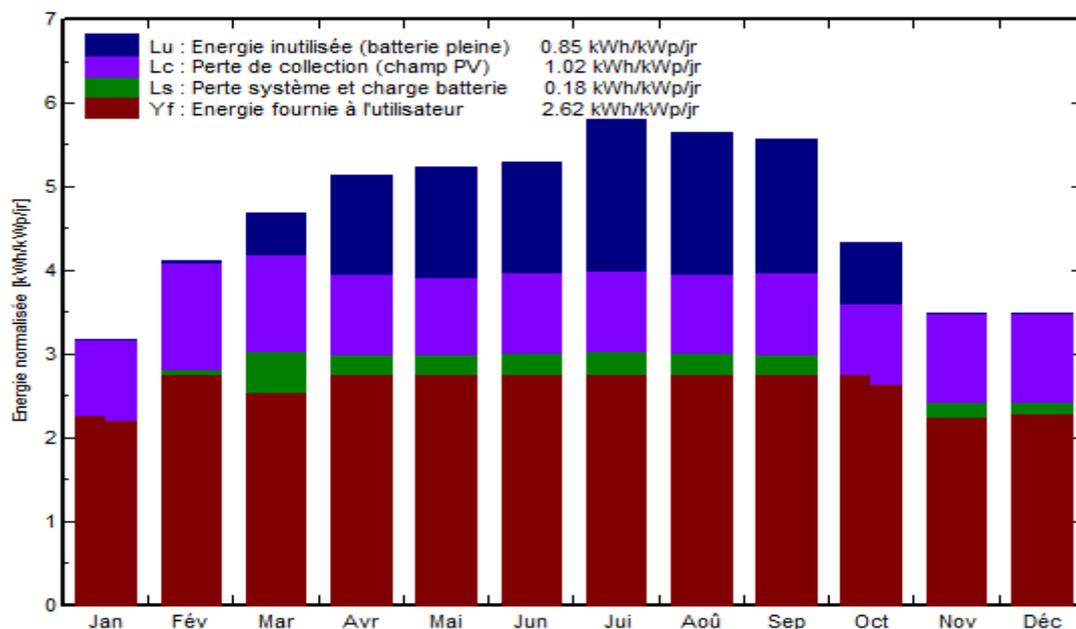


Fig.IV.16 : la production normalisée (par Wc installé) : puissance nominale 1.44 KWc

La figure 20 montre indice de performance durant toute l'année

Nous remarquons que la fraction solaire est supérieure à l'indice de performance, ce qui confirme que notre Système isolé avec batteries est faisable.

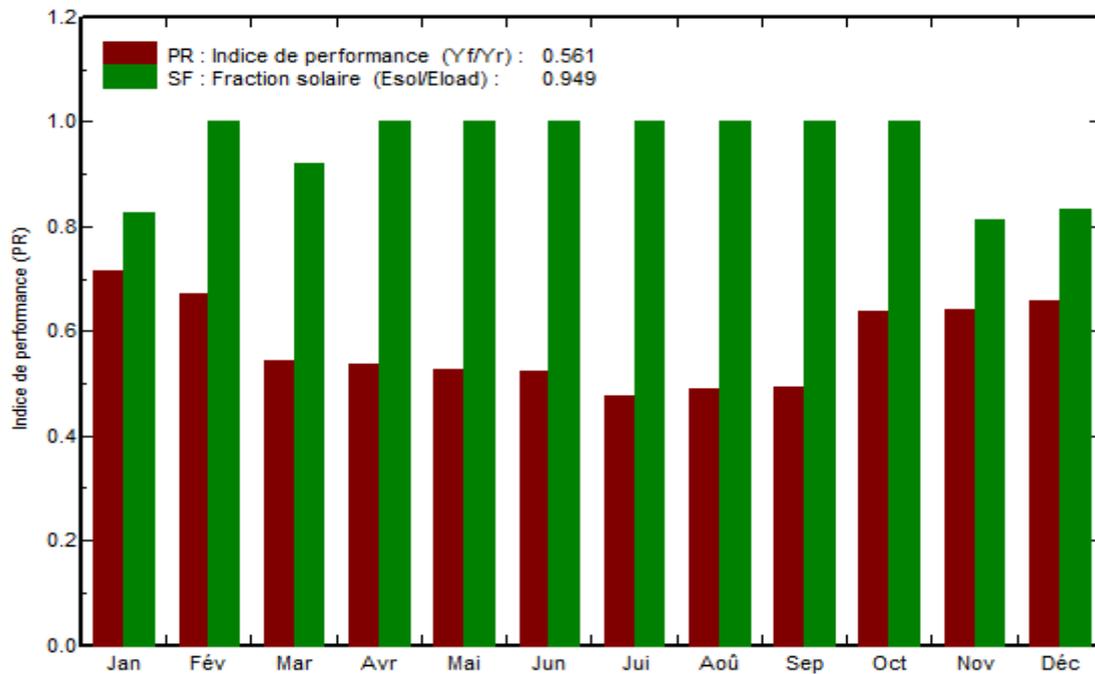
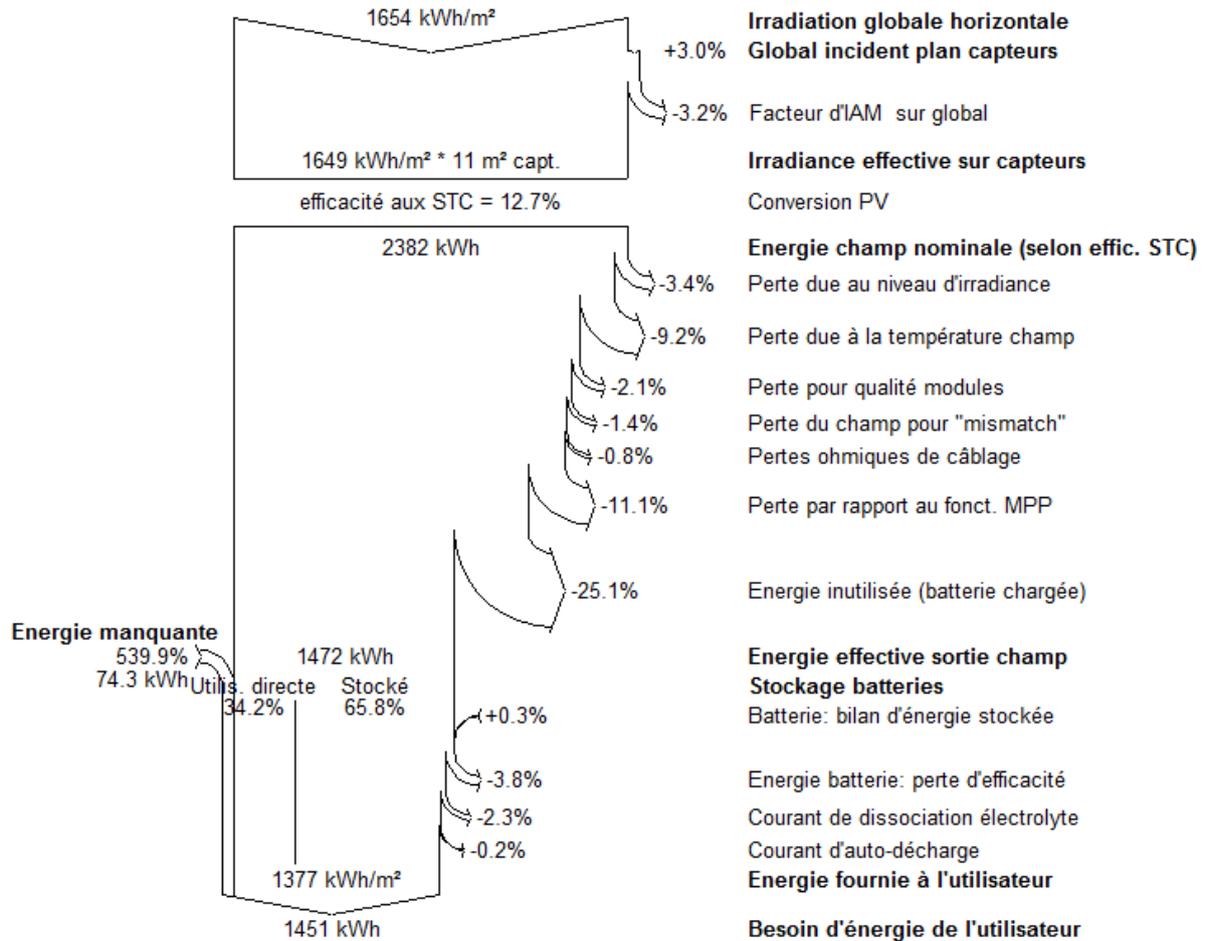


Fig.IV.17 : Indice de performance (PR), et fraction solaire (SF).

3.9. Diagramme des pertes sur l'année entière

Dans le diagramme suivant, les étapes des énergies, depuis que nous avons reçu d'énergie sur 1m², jusqu'à l'énergie fournie à l'utilisateur, avec toutes les pertes qu'on peut avoir.



Conclusion

Nous pouvons conclure que sur la base des résultats obtenus, nous pouvons déduire que la méthode de degrés jours est compatible avec les besoins de chauffage et de refroidissement selon les saisons.

En ce qui concerne la partie photovoltaïque nous pouvons conclure que les influences de l'éclairement et de la température sur la puissance pouvant être délivrée par un panneau PV sont importantes. Lorsque l'irradiation varie pour une température donnée, le courant varie proportionnellement à l'irradiation. Dans un même temps, la tension varie très peu. Par contre, si la température croît à irradiation constante, la tension V décroît alors que le courant I croît légèrement. De ces données, on peut estimer qu'en fonction des conditions de fonctionnement auxquelles nous allons soumettre le panneau, nous pouvons en déduire la puissance qu'il va pouvoir délivrer.

Référence :

- [1] R. KHARCHI «Etude énergétique de chauffage, rafraichissement et eau chaude sanitaire d'une maison type en Algérie », Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, juillet 2013,
- [2] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud et I. Youm, « Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque », Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3 (2008) 473 – 483.
- [3] Kharchi R, Benyoucef B and Belhamel M, « Influence of passive solar gains on the energy consumption of a typical house in Algiers » Revue des Energies Renouvelables Vol.14 N°3 (2011) 417– 425.

Conclusion Générale

L'objectif de notre travail était d'étudier et d'analyser un système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique appliqué à une habitation individuelle sur le site de Tlemcen.

Ce mémoire est divisé en quatre parties :

Dans la première partie, nous avons abordé des généralités sur les énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie solaire (photovoltaïque, photothermique).

Dans une deuxième partie, nous avons défini notre habitat étudié, qui est énergétiquement économique, et thermiquement étanche s'appuyant sur les différents facteurs qui permettent une maison souhaitable (l'enveloppe, ventilation, distribution et récupération de la chaleur, stockage de chaleur et électricité), en outre, nous avons déterminé la notion du confort thermique et les paramètres qui influencent sur ceci : la température de l'air, les caractéristiques géographiques, les radiations solaires incidentes, l'humidité relative et la vitesse de l'air. Dans la même partie, nous avons évalué les besoins énergétiques avec le nombre de jours pour le chauffage et/ou refroidissement et aussi l'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j (l'éclairage et l'équipement électroménager) que nous l'avons trouvé entre 2547 Wh et 3027 Wh.

Dans la troisième partie, nous avons fait appel à la méthode de degrés jours pour l'analyse des besoins de chauffage et rafraîchissement de l'habitat. Afin d'obtenir les degrés jours de chauffage, nous avons utilisé la valeur moyenne journalière de la température extérieure. En revanche, les pertes thermiques par ventilation et par transmission surfacique sont calculées, en outre, nous avons calculé la capacité de stockage de ballon, pour l'eau chaude sanitaire, que nous l'avons trouvé $V_{ECS} = 160 \text{ litres}$ pour 4 à 5 personnes, pour le chauffage nous avons trouvé un volume de $V_c \approx 2 \text{ m}^3$ pour un jour d'autonomie et de $V_c \approx 3,8 \text{ m}^3$ pour deux jours d'autonomie, et pour le rafraîchissement un volume de $V_f \approx 8,7 \text{ m}^3$ pour un jour d'autonomie et de $V_f \approx 10,15 \text{ m}^3$ pour deux jours d'autonomie. La taille de l'installation est souvent de l'ordre de 15 m² de capteurs solaires pour 150 m² habitables, 4 à 5 personnes. L'inclinaison des capteurs doit être comprise entre 45 et 75° / H. Dans la même partie, nous avons proposé des modèles mathématiques pour le système photovoltaïque, qui permettent de faire une liaison entre le rayonnement et le système de production d'énergie, une liaison entre le

système de production et le système de stockage, et une liaison entre l'énergie produite par l'installation et la consommation moyenne de la charge. A la fin de cette partie, nous avons lancé la simulation de système PV par logiciel **PVsyst**, dans le premier lieu, nous avons introduit les paramètres du site géographique, après, nous avons déterminé l'orientation, ainsi, l'inclinaison, en suite, nous avons obtenu les lignes d'horizon à Tlemcen. Après, nous avons calculé la consommation journalière en énergie électrique de notre habitat, pour pouvoir calculer le nombre de batterie et leurs capacités de stockage, aussi, le nombre de modules et leurs puissances. Enfin, nous avons obtenu la présentation finale de système PV autonome.

La quatrième partie est consacrée à l'analyse des résultats que nous avons obtenus auparavant, de chauffage et de rafraichissement par la méthode de degrés jour. En premier lieu, nous avons interprété les résultats de chauffage, sans et avec apport solaire, pour comprendre l'évolution de ceux-ci sur les parois opaques et vitrées. Alors, les apports solaires et internes ont un impact très fort sur la consommation énergétique. Sans les apports thermiques gratuits, la demande est de 1300 kWh en janvier. Si en incluant ces derniers, la demande atteint 624 kWh. Ensuite, nous avons fait la même chose avec le rafraichissement, le cas où les apports gratuits sont pris en considération, la demande est très importante. Sans les apports gratuits, nous devons rafraichir seulement trois mois (juillet, aout et septembre) et la demande est de l'ordre de 200 à 230 kWh. Pourtant, dans le cas réel, avec les apports gratuits qui influent dans le confort thermique, la demande est de l'ordre de 1500 kWh et cela pendant 5 mois. En ce qui concerne les résultats de système photovoltaïque, nous avons interprété le comportement du module selon l'irradiation solaire, la température, la résistance (en série et en parallèle), et même le comportement de batterie. Nous avons trouvé que la surface globale du module 11.3m², avec 15 batteries de 12V.

Enfin, nos résultats pourraient être intéressants d'un point de vue énergétique. En effet, l'installation à trois systèmes de stockage (ECS, chauffage et froid), que nous avons faite, répond aux besoins énergétiques de notre habitat. En outre, le système PV autonome répond aux besoins énergétiques en électricité de l'habitat étudié.

Liste des figures

- Figure .I.1 : la production mondiale d'électricité basée sur les énergies renouvelables.
- Figure .I.2 : Structure de la production d'électricité mondiale en 2005.
- Figure .I.3 : schéma général de la géothermie
- Figure .I.4 : Les deux types d'énergie solaire.
- Figure .I.5 : Principe de chauffage et la production d'eau chaude sanitaire
- Figure .I.6 : Effet photovoltaïque.
- Figure .I.7 : Coupe transversale d'une cellule PV typique
- Figure .I.8 : Carte de l'irradiation en Algérie (mois de juillet)
- Figure .I.9 : Durée moyenne d'ensoleillement en Algérie
- Figure .I.10 : Energie moyenne reçue en Algérie
- Figure .I.11 : Carte des vents en Algérie
- Figure .II.1: Consommation énergétique de l'Algérie
- Figure .II.2 : Variations saisonnières des températures du site de Tlemcen.
- Figure .II.3 : Variation du rayonnement global, diffus horizontal, ainsi que le global plan incliné
- Figure .II.4 : Variation mensuelle de l'humidité relative (%) du site de Tlemcen
- Figure .II.5 : la distribution des pièces dans la maison
- Figure .II.6 : Variation des Températures journalières (Max et Min) ambiantes et au sol du site de TLEMEN
- Figure .II.7: Variation journalière des températures ambiantes moyennes diurnes (TMD) et nocturnes (TMN) du site de TLEMEN
- Figure .III.1 : Schéma de l'installation chauffage/eau chaude sanitaire/conditionnement d'air par l'énergie solaire (F. Vercheval de l'unité TERM, UCL, Belgique).
- Figure .III.2 : Installations solaires thermiques

Figure .III.3 : Système autonome

Figure. III.4: Circuit équivalent du GPV

Figure .III.5: Circuit équivalente de n_b éléments de batteries en série

Figure .III.6 : Paramètres du site géographique.

Figure .III.7 : utilisation quotidienne de l'énergie.

Figure .III.8 : La représentation de Système autonome

Figure .III.10 : Construction d'une installation photovoltaïque pour une alimentation électrique autonome.

Figure .IV.1: Déperditions thermique de l'enveloppe de l'habitat

Figure .IV.2 : Degrés jours de chauffage sur différentes températures de base.

Figure .IV.3 : Demande énergétique de chauffage sur base de 18°C et 15°C pour l'année 2008.

Figure .IV.4 : Demande énergétique en Eau Chaude Sanitaire.

Figure .IV.5 Apports solaires par les parois vitrées.

Figure .IV.6 : Apports solaires transmis par le toit.

Figure .IV.7 : Demande énergétique mensuelle de chauffage

Figure .IV.8 : Demande énergétique de froid sur base de 22°C et 25°C pour l'année 2008.

Figure .IV.9 : Demande énergétique mensuelle de froid (rafraichissement) sur base de 25°C.

Figure .IV.10 : Le comportement du module selon irradiation incidente [w /m^2].

Figure .IV.11 : Le comportement du module selon la température.

Figure .IV.12 : Le comportement du module selon la résistance en série.

Figure .IV.13 : Le comportement du module selon la résistance en parallèle.

Liste des figures

Figure .IV.14 : Le chargement de batterie.

Figure .IV.15 : Le déchargement de batterie.

Figure .IV.16 : la production normalisée (par W_c installé) : puissance nominale 1.44 KWc

Figure .IV.17 : Indice de performance (PR), et fraction solaire (SF).

Chapitre I

Tableau .I.1 : types des cellules photovoltaïques.

Tableau .I.2: Potentiel solaire en Algerie.

Chapitre II

Tableau .II.2 : Matériaux constituant le mur extérieur.

Tableau .II.3 : Matériaux constituant le toit.

Tableau .II.4 : Matériaux constituant le plancher bas.

Tableau .II.5 : Nombre de degré jours pour le chauffage et/ou le refroidissement.

Tableau II.6 : L'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.

Chapitre III

Tableau .III.1 : Les paramètres de la batterie choisie.

Tableau .III.2 : les paramètres du module choisi.

Chapitre IV

Tableau .IV.1 : Les besoins journalière.

E : épaisseur (m)

λ : Conductivité thermique (W/mK)

R : Résistance thermique (m^2K / W)

U : coefficient de transmission thermique

DJU : nombre de degré jour unifié

T_{base} : Température de base

T_i : Température intérieure

Q_{gain} : Gain de chaleur

K_{tot} : Coefficient de pertes de chaleur total de l'habitat (W / K)

η_h : L'efficacité de l'installation de chauffage

DJc : degrés jours de chauffage

$Q_{D,C}$, $Q_{D,F}$: Déperditions de chaleur mensuelles par transmission et par ventilation (kWh)

D_T : Déperditions de chaleur par transmission (kWh)

D_V : Déperditions de chaleur par ventilation (kWh)

H_T : Coefficient des pertes par transmission thermique (W)

A : Surface de déperdition du bâtiment, (m^2)

c_p : Chaleur volumique de l'air égale à 0.34 (Wh/ m^3K).

β : Taux de renouvellement d'air du local (h^{-1})

V : Ventilation

T_{nc} : Température de non chauffage

T_{sc} : Température sans chauffage

DJ_F : Degrés jours de rafraîchissement

T_{NF} : Température de non-climatisation

T_{SF} : Température sans climatisation

V_t : Volume d'eau chaude à obtenir

T_c : Température demandée d'eau chaude

C_{pe} : Capacité calorifique de l'eau (4200 (J/kg)/°C)

ρ_e : Masse volumique (1 kg/l)

T_f : Température de l'eau froide

N : Nombre de jours du mois considéré

δ : Déclinaison, (°),

ω : Angle solaire, (°)

RHA : Irradiation extraterrestre, (Wh/m²)

B_0 : Constante solaire, (1367 W/m²)

α : Hauteur du soleil, (°)

RHD : Irradiation horizontale diffuse, (Wh/m²)

τ_d : Transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement diffus.

RHDR : Irradiation horizontale directe, (Wh/m²)

τ_b : Transmissivité de l'atmosphère pour le rayonnement direct

RHG : Rayonnement horizontal global, (W/m²)

RID : Irradiation inclinée diffuse, (Wh/m²)

β : Angle d'inclinaison, (°)

RIDR : Irradiation inclinée directe, (Wh/m²)

RIG : Rayonnement global reçu sur un plan incliné (W/m²)

IRGM : Irradiation journalière moyenne, (Wh/m²)

T_c : Température de la cellule, (°C)

I_L : Photo courant, (A)

R_s : Résistance série, (Ω)

R_{sh} : Résistance shunt, (Ω)

η_m : Rendement du module

η₀ : Rendement du générateur PV au CTS (1000 W/m² et 25 °C)

γ : Coefficient de température

T_c : Température de la cellule, (°C)

T_a : Température ambiante, (°C)

IRGM : Irradiation journalière moyenne, (Wh/m²)

NOCT : Température nominale D'opération de la cellule, (°C)

Area : Surface du générateur, (m²)

NMS : Nombre des modules en série

NMP : Nombre des modules en parallèle

S_{cel} : Surface du module, (m²)

V_{ins} : Tension d'installation, (V)

V_{mo} : Tension nom du module, (V)

η_B : Rendement de la batterie

η_c : Rendement de l'onduleur

FS : Facteur de sécurité

$IRGM$: Irradiation journalière moyenne, (Wh/m²)

CJM : Consommation journalière moyenne, (Wh/m²)

NMP : Nombre des modules en parallèle

V_{bat} : Tension de la batterie, (V)

E_b : Force électromotrice batterie, (V)

n_b : Nombre d'éléments de batterie

R_i : Résistance interne de la batterie, (Ω)

I_{bat} : Courant de la batterie, (A)

C_{acc} : Capacité de la batterie de stockage, (Ah)

J_{aut} : Jours d'autonomie, (J)

D_m : Décharge profonde de la batterie

NB : Nombre total de batterie

C_B : Coût de la batterie

NBP : Nombre de batteries en parallèle

NBS : Nombre de batteries en série

V_{inst} : Tension d'installation, (V)

CJM : consommation journalière moyenne

CT : Coût total initial du système

C_{GPV} : Coût du générateur PV

C_B : Coût du parc de stockage

C_{reg} : Coût du régulateur à installer

C_{ond} : Coût de l'onduleur, si besoin

C_0 : Coût indirect

$C_{\text{T DV}}$: Coût total estimé pour une durée de vie de l'installation prévue

Cons : Consommation annuelle du système

CT : Coût total initial du système

C_{OM} : Coût d'opération et maintenance

C_{RB} : Coût de remplacement (Batteries)

Résumé

L'habitat individuel, à conception architecturale bien conçue et thermiquement étanche et isolé, est une maison énergétiquement économique. Qui Assure son autonomie énergétique durable par une installation d'énergie de source renouvelable photovoltaïque et thermique.

Ce travail consiste à étudier et analyser un système d'apport énergétique de source photovoltaïque et thermique appliqué à l'habitation individuelle, sur le site de Tlemcen, construite avec des matériaux locaux et selon les normes internationales.

La méthode des degrés jours est utilisée pour l'analyse de la demande énergétique de l'habitat, en chauffage et en rafraîchissement. La demande en eau chaude sanitaire est évaluée selon la méthode analytique.

La modélisation et la simulation de système PV autonome permettent de calculer la consommation énergétique journalière en électricité Wh. Ainsi, le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour l'habitat.

Mots clés : Energie photovoltaïque – Energie thermique – Apport solaire – Climatologie – Simulation thermique.

Abstract

The individual housing in architectural design and thermally sealed and insulated, is an energy economic house. Ensure its sustainable energy independence, by a photovoltaic and thermal renewable source energy facility.

This work is to study and analyze an energy intake of source system photovoltaic and thermal, applied to the individual dwelling on the site of Tlemcen, built with local materials and according to international standards.

The degree days method to define and analyze the energy demand of housing, it is hot water, heating and cooling.

Modeling and simulation of autonomous PV system, used to calculate the daily energy consumption in Wh electricity. Thus, the number of photovoltaic modules required for the habitat.

Keywords : Photovoltaics - Thermal energy - Solar gain - Climatology - Thermal Simulation.

الملخص

إن السكن الفردي ذو التصميم المعماري المحكم والعازل للحرارة، يعتبر سكونا اقتصاديا لطاقة. ويضمن استقلالية طاقته عن طريق نظام الطاقة الكهروضوئية والحرارية.

يقوم هذا العمل بدراسة و تحليل نظام الطاقة الكهروضوئية والحرارية، المطبق على سكن فردي في منطقة تلمسان، الذي تم بنائه بمواد محلية وفق المعايير الدولية.

تم استخدام أسلوب درجة الأيام لتحليل الطلب على الطاقة لأغراض التدفئة والتبريد. يتم تقييم الطلب على المياه وفقا لطريقة التحليل

النمذجة و المحاكاة لنظام الطاقة الكهروضوئية المستقل، يقوم بحساب الاستهلاك الطاقوي اليومي للكهرباء و أيضا عدد الصفائح الكهروضوئية اللازمة لسكن.

كلمات مفتاحية الطاقة الكهروضوئية، الطاقة الحرارية، مكاسب الطاقة، المناخ، محاكاة حرارية.