

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
تلمسان

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES  
--T L E M C E N--

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur

Filière : Electrotechnique

Spécialité : énergie et environnement

Présenté par : BENAZA Zohir

AHMED BENCHAID Abdel sâmi

Thème

**Etude technique et économique de l'efficacité énergétique  
dans un réseau d'habitation en Algérie dans une approche  
de green city**

Soutenu publiquement, le 11/07/2021, devant le jury composé de :

Dr. BENDIMRAD Nawal	MAA	ESSA. Tlemcen	Président
Dr. BENNEKROUF Mohammed	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Dr. KHERBOUCHE Ep FARADJI Djamila	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Dr. CHIALI Anisse	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

**Année universitaire : 2020 /2021**

## ***Remerciements***

*En tout premier lieu, on remercie le Dieu, tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr Mohammed, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant toutes les phases de la préparation de ce mémoire.*

*Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin à la réalisation de ce modeste mémoire.*

## *Dédicace*

**J**e dédie ce travail :

- à ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont faits pour moi, pour leur soutien continu durant mon travail, que Dieu les protège ;
- à mes frères Abdellah, Ismail et Mehdi, que Dieu les garde, je leurs souhaite une vie plein de succès et de réussite ;
- à tous ma famille, petite et grande ;
- à tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à maintenant ;
- enfin, à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ce travail.

*BENZAZA Zohir*  
*Tlemcen, le 24 juin 2021*

## *Dédicace*

**J**e dédie ce travail :

- à ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont faits pour moi, pour leur soutien continu durant mon travail, que Dieu les protège ;
- à mes frères, je leurs souhaite une vie plein de succès et de réussite ;
- à tous ma famille, petite et grande ;
- à tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à maintenant ;
- enfin, à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ce travail.

*AHMED BENCHAIIB Abdel sámí*  
*Tlemcen, le 24 juin 2021*

## *Résumer*

Notre étude a fait le point sur l'efficacité énergétique en Algérie et l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique dans les bâtiments, dans une approche de green city.

En vue de mieux concevoir l'objectif de cette étude un cas pratique a été faite sur l'école supérieure en science appliquées de Tlemcen, une installation photovoltaïque autonome et une installation solaire thermique pour fournir l'éclairage et l'eau chaude sanitaire de l'école.

Une simulation des performances de notre installation photovoltaïque avec le logiciel PVSYST, ainsi l'installation solaire thermique avec le logiciel RETSCREEN.

## *Abstract*

Our study reviewed energy efficiency in Algeria and the integration of solar photovoltaic and thermal energy in buildings, in a green city approach.

In order to better conceive the objective of this study a practical case was made on the Higher School of Applied Sciences of Tlemcen, a stand-alone photovoltaic installation and a solar thermal installation to provide lighting and hot water for the school.

A simulation of the performance of our photovoltaic installation with the PVSYST software, as well as the solar thermal installation with the RETSCREEN software.

## *ملخص*

قيمت دراستنا كفاءة الطاقة في الجزائر ودمج الطاقة الشمسية الكهروضوئية والحرارية في المباني في نهج المدينة الخضراء. من أجل تصور أفضل لهدف هذه الدراسة تم إجراء حالة عملية على المدرسة العليا للعلوم التطبيقية تلمسان، وهي منشأة كهروضوئية مستقلة وتركيب حراري شمسي لتوفير الإضاءة والمياه الساخنة للمدرسة. بالإضافة إلى التثبيت الحراري الشمسي باستخدام برنامج PVSYST محاكاة لأداء تركيبنا الكهروضوئية باستخدام برنامج RETSCREEN.

# Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	ii
<i>Dédicace</i> .....	iii
<i>Dédicace</i> .....	iv
<i>Résumer</i> .....	v
Table des matières.....	vi
Liste des figures .....	x
Liste des tableaux.....	xii
Liste des abréviations.....	xiii
Nomenclature .....	xiv
Introduction .....	1
Chapitre 1 : Etude de l'efficacité énergétique.....	1
1.1 Introduction.....	4
1.2 Définition .....	4
1.3 Classification .....	5
1.4 L'efficacité énergétique et écologie.....	5
1.5 Les solutions de l'efficacité énergétique .....	5
1.5.1 Les solutions « passives ».....	6
1.5.2 Les solutions « actives ».....	8
1.6 L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables .....	8
1.7 L'efficacité énergétique et développement durable.....	9
1.7.1 Améliorer l'efficacité énergétique d'une habitation : .....	10
1.7.2 La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique : .....	10
1.8 Efficacité énergétique en Algérie .....	11

1.8.1	La consommation énergétique en Algérie .....	11
1.8.2	La consommation énergétique par secteur .....	12
1.9	Programme de l'efficacité énergétique .....	13
1.9.1	Isolation thermique des bâtiments .....	13
1.9.2	Développement des chauffe-eaux solaire .....	14
1.9.3	Généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie :.....	14
1.9.4	Introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public.....	14
1.9.5	Introduction des principales techniques de climatisation solaire .....	14
1.10	Les différent type d'isolation thermique en Algérie .....	15
1.10.1	Isolation végétale (Liège) .....	15
1.10.2	Isolation minérale (les laines minérales) .....	16
1.10.3	Les isolants synthétiques .....	16
1.10.4	Autres types d'isolants .....	17
1.11	Conclusion.....	18
<b>Chapitre 2 : Energie solaire et système photovoltaïque/Thermique .....</b>		<b>1</b>
2.1	Introduction.....	20
2.2	Généralité sur l'énergie solaire .....	21
2.3	Rayonnement solaire.....	21
2.4	Gisement solaire .....	22
2.4.1	Potentiel solaire mondiale .....	22
2.4.2	Potentiel solaire en Algérie .....	23
2.5	Energie photovoltaïque .....	24
2.5.1	Effet photovoltaïque .....	24
2.5.2	Type de cellules solaire .....	24
2.5.3	Les paramètres des cellules photovoltaïque .....	26
2.5.4	Association des cellules PV.....	27
2.5.5	Protection d'un générateur PV .....	29
2.6	Types de système PV .....	30
2.6.1	Les systèmes autonomes.....	30
2.6.2	Systèmes PV raccordés au réseau : .....	31
2.6.3	Système hybride .....	31

2.7	Présentation d'un system photovoltaïque autonome .....	32
2.7.1	Modules photovoltaïques.....	32
2.7.2	Batteries .....	33
2.7.3	Le régulateur de charge .....	35
2.7.4	Onduleurs .....	36
2.7.5	Les câbles .....	37
2.7.6	La charge .....	37
2.8	Etude d'un chauffe-eau solaire .....	38
2.8.1	Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire .....	38
2.8.2	Les différents types de chauffe-eau solaire .....	39
2.8.3	Les capteurs solaires .....	40
2.9	Conclusion .....	42
Chapitre 3	: Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique .....	1
3.1	Introduction.....	46
3.2	Rapport de présentation .....	46
3.2.1	Présentation de l'école.....	46
3.2.2	Plan architecture .....	47
3.2.3	Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement : .....	48
3.3	Méthode de dimensionnement PV/thermique manuel.....	48
3.3.1	Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques .....	48
3.3.2	Méthode de dimensionnement production d'eau chaude sanitaire (ECS) .....	52
3.4	Application numérique de la méthode de dimensionnement PV/Thermique (cas d'étude).....	54
3.4.1	Dimensionnement Manuel d'un système PV par la méthode simplifiée .....	54
3.4.2	Dimensionnement solaire thermique de l'école .....	61
3.5	Dimensionnement avec PVSYST.....	64
3.5.1	Simulation des équipements énergétiques.....	68
3.5.2	Rapport de simulation.....	69
3.6	Dimensionnement avec RETScreen .....	72
3.6.1	Simulation par le logiciel RETScreen .....	73



3.6.2	Interprétation des résultats.....	76
3.7	CONCLUSION.....	76
	Conclusion.....	80
	Bibliographie.....	82

# Liste des figures

Figure 1.1:système de chauffage définition.....	7
Figure 1.2:les 3 fondements du développement durable [1] .....	9
Figure 1.3: la démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique [1] .....	10
Figure 1.4:consommation finale par secteur d'activité en 2005. [28].....	11
Figure 1.5:bilan des émissions de GES par secteur. [28].....	12
Figure 1.6:la consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2010.....	13
Figure 1.7:la priorité dans le choix des investissements d'efficacité. [1] .....	15
Figure 1.8:la mousse de polystyrène de béton préfabriqué isolé.....	17
Figure 1.9:construire sa maison avec des blocs de béton cellulaire .....	18
Figure 2.1:les rayonnements solaires terrestres reçus sur une installation donnée. ....	22
Figure 2.2: l'irradiation solaire globale (annuelle et journalière moyenne).....	23
Figure 2.3:Potentiel solaire en Algérie. [11] .....	23
Figure 2.4:Principe de fonctionnement d'une cellule solaire [C7].....	24
Figure 2.5:Différents types des cellules .....	26
Figure 2.6:Caractéristique groupement en série des cellules identiques [7] .....	27
Figure 2.7:Caractéristique d'un groupement en parallèle des cellules identiques. [7].....	28
Figure 2.8:Caractéristique d'un groupement hybride des cellules identiques [7] .....	28
Figure 2.9:protection d'un générateur photovoltaïque .....	29
Figure 2.10:Classification des systèmes photovoltaïques [7].....	30
Figure 2.11:Système PV autonome [7] .....	30
Figure 2.12:Installation ou centrale électrique photovoltaïque raccordée au réseau [11].....	31
Figure 2.13:système photovoltaïque autonome .....	32
Figure 2.14:le champ photovoltaïque. ....	32
Figure 2.15:Le régulateur de chargée. ....	35
Figure 2.16: l'onduleur. ....	36
Figure 2.17:micro-onduleur.....	37
Figure 2.18:Schéma de l'installation [13] .....	38
Figure 2.19:différent types de chauffe-eau solaire. ....	40

Figure 2.20:schéma d'un capteur à liquide plan sans vitrage [19] .....	41
Figure 2.21:schéma d'un capteur à liquide plan avec vitrage .....	41
Figure 2.22:capteurs solaires à tubes sous vides. [19].....	42
Figure 3.1:Localisation de l'ESSA-TLEMCEN.....	47
Figure 3.2:plan architecture de l'école.....	47
Figure 3.3 : Caractéristiques techniques du panneau photovoltaïque à utiliser .....	57
Figure 3.4 : Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant. ....	60
Figure 3.5:Interface de logiciel PVSYST.....	64
Figure 3.6:Caractéristiques climatiques du site de Tlemcen. ....	65
Figure 3.7:Trajectoire du soleil à Tlemcen.....	66
Figure 3.8:Orientation et inclinaison du système PV .....	66
Figure 3.9:Schéma simplifié du système autonome. ....	67
Figure 3.10:représente besoin l'énergie quotidienne.....	67
Figure 3.11:Dimensionnement des batteries. ....	68
Figure 3.12:Dimensionnement du module PV. ....	68
Figure 3.13:Paramètres de simulation .....	69
Figure 3.14:Paramètres de simulation .....	69
Figure 3.15:résultats principaux. ....	70
Figure 3.16:Diagramme des pertes.....	70
Figure 3.17: Diagramme d'entrée/sortie journalier du système PV.....	71
Figure 3.18:l'organigramme pour chauffer l'eau chaude sanitaire .....	72
Figure 3.19: Interface du logiciel. ....	73
Figure 3.20: les données climatiques pour le site de Tlemcen –Algérie .....	74
Figure 3.21:capteur solaire choisie.....	74
Figure 3.22 : résultat obtenu de simulation avec RETScreen .....	75

## Liste des tableaux

Tableau 2.1:comparaison des caractéristiques technique des batteries. ....	34
Tableau 3.1:Tension du champ en fonction de sa puissance crête [16] .....	49
Tableau 3.2:Tableau de la consommation énergétique actuelle. ....	55
Tableau 3.3:consommation journalière des équipements en courant continu 12/24V.....	56
Tableau 3.4:Tensions des différentes installations .....	57
Tableau 3.5:Résultats du dimensionnement manuel du système. ....	61
Tableau 3.6:comparaison entre la méthode du calcul et celle de simulation. ....	71
Tableau 3.7:Résultats de simulation avec la méthode manuelle et avec l'utilisation de RETScreen.....	76

# Liste des abréviations

**PV** : photovoltaïques

**ECS** : Eau chaude sanitaire

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**DPE** : Diagnostic De Performance Énergétique

**TEP** : Tonne Équivalent Pétrole (unité énergétique)

**XPS** : Extrudé

**EPS** : Expansé

**GTB** : Gestion Technique du Bâtiment

**FNME** : fonds national pour la maîtrise de l'énergie

**VAN** : valeur actuelle nette

**TRI** : taux de rendement interne

**FF** : Facteur de forme

**CA** : courant alternatif

# Nomenclature

**$\rho$** : Résistivité du câble ( $\rho = 0.017$  ohm mm<sup>2</sup>/m pour le cuivre)

**I**: Intensité du courant électrique

**L**: Longueur du câble électrique

**e**: chute de la tension (3-5%)

**Ir**: Irradiation (Wh/m<sup>2</sup>/j ou kWh/m<sup>2</sup>/j)

**Pc**: Puissance crête des panneaux solaires théorique (Wc)

**$V_{st,min}$** : Volume minimal du ballon de stockage en litre.

**$V_p$** : Consommation journalière par personne en litres.

**P**: Nombre des personnes.

**$T_{ec}$** : Température souhaitée de l'eau chaude sanitaire en °C.

**$T_{ef}$** : Température de l'eau froide en °C.

**$T_{st}$** : Température de stockage de l'eau dans le ballon.

**$C_{ch}$** : Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)

**$E_j$** : Énergie consommée par jour (Wh/j)

**D**: Coefficient de décharge profonde (0,8 pour les batteries au plomb)

**U**: tension de la batterie (V)

# Introduction

Grâce à l'augmentation et l'instabilité énorme des marchés du pétrole et de ses dérivées, le monde ne cesse de chercher d'autres sources d'énergie pour assurer l'indépendance de leurs économies de la fluctuation des prix de pétrole. L'énergie solaire peut présenter des avantages indéniables, particulièrement pour sa propreté et son coût pas trop élevé. De plus celle-ci peut être utilisée dans diverses applications telles que l'agronomie et dans des sites isolés.

Les capacités les plus appropriées au développement et à l'exploitation du potentiel. Un potentiel énergétique lié à plusieurs types de sources, mais dont l'énergie solaire demeure la plus importante en disponibilité et puissance et, sans doute aussi, la plus compétitive à développer à l'avenir sous diverses formes.

L'énergie solaire présente certains avantages non négligeables sur les autres sources énergétiques, elle est : locale, gratuite, propre, silencieuse et durable. Les premières tentatives d'exploitation de l'énergie solaire utilisaient l'interaction rayonnement matière, c'est-à-dire l'échauffement d'un corps noir au soleil.

L'objectif du présent travail est d'étudier un système à énergie solaire (Photovoltaïque-thermique). Pour ce faire, notre étude est structurée en trois chapitres et des annexes de la manière suivante :

Dans le premier chapitre introductif définit les différents concepts rappelant le rapport entre les bâtiments et la consommation d'énergie. Nous présenterons un état de l'art sur la consommation énergétique du secteur du bâtiment en général, en précisant ses spécificités, les postes les plus énergivores, ainsi que les perspectives de développement l'étude portera sur l'efficacité énergétique en Algérie.

Dans le deuxième chapitre, nous avons exposé quelques notions sur le gisement solaire et aussi quelque définition astronomique pour déterminer l'irradiation solaire globale. Une généralité sur système photovoltaïque, des différents types des panneaux solaires. En suit une généralité sur le système thermique, les différents types des capteurs solaires, les classifications, les différents composants et leur fonctionnement.

Le troisième chapitre porte sur le dimensionnement manuel et par logiciel (PVSYST pour PV et RETScreen pour thermique) du système photovoltaïque et chauffe-eau solaire étudié

En fin, ce manuscrit est terminé par une conclusion générale.

Dans l'annexe, nous avons présenté le cahier de charge, les fiches techniques des panneaux (PV/thermique), les onduleurs, les batteries, les câbles et un questionnaire.



# Chapitre 1 : Etude de l'efficacité énergétique

### 1.1 Introduction

La plupart des logements construits aujourd'hui en Algérie sont relativement non isolés, ce qui signifie que ces bâtiments ont de fortes déperditions thermiques et de fait consomment beaucoup plus d'énergie, et l'efficacité énergétique n'est toujours pas appliquée dans la production des bâtiments. De plus, ceux-ci sont chauffés grâce à des énergies fossiles, donc fortement pourvoyeurs de gaz à effet de serre responsable en partie des changements climatiques.

L'élévation globale des températures et la forte consommation énergétique nécessitent l'élaboration des concepts à forte efficacité énergétique qui seront appliqués aux bâtiments. L'isolation thermique est complexe et très diversifiée. Selon les matériaux utilisés et les pièces à isoler, l'économie résultant de l'isolation thermique est très variables.

Dans un premier temps l'intérêt sera porté sur l'évolution de l'activité énergétique de l'Algérie au cours de ces vingt dernières années.

Dans un second temps mettre en évidence l'impact particulier du secteur du bâtiment dans chaque pays sur son bilan énergétique, comparé aux autres secteurs économiques (Transport, Agriculture et industrie).

### 1.2 Définition

L'efficacité énergétique d'un système est le rapport énergétique entre la quantité d'énergie délivrée et la quantité d'énergie absorbée. Moins de perte il y a et meilleure efficacité énergétique, l'efficacité énergétique est ainsi liée à la maximalisation du rendement. L'augmentation de l'efficacité énergétique permet ainsi de réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal. En découle la diminution des coûts écologiques, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie. [24]

Un système caractérisé par une haute efficacité énergétique produit ainsi à moindre coût, et à moindre impact écologique, un confort thermique assuré et accompagné avec des économies d'énergie les plus importantes aussi.

Nous allons aussi parler d'efficacité énergétique chaudière à condensation qui grâce à la modulation du brûleur, et des régimes d'eau de basse température assurera un rendement supérieur à 100 %.

De même l'efficacité énergétique une pompe à chaleur sera caractérisée par son coefficient de performance d'autant plus important que la température extérieure sera douce (cas d'une pompe à chaleur air eau ou d'une pompe à chaleur air-air).

Efficacité énergétique active est également liée aux modes de régulation, programmation et d'optimisation énergétique réalisés durant toute l'année. Cette efficacité énergétique dite active est à la fois assurée par des dispositifs de régulation et de gestion technique du bâtiment, et à la fois par des opérations de maintenance d'entretien, c'est-à-dire de Commissionnant. [24]

### 1.3 Classification

La classification de l'efficacité énergétique d'un ordre alphabétique, allant de A à G, la classe A étant la plus économique en termes de consommation en eau et d'électricité.

### 1.4 L'efficacité énergétique et écologie

L'efficacité énergétique joue un rôle important du point de vue écologique. Son indication permet de contribuer à la diminution des coûts écologiques liés à l'utilisation d'un lave-linge. En soulignant la consommation (parfois abusive) d'énergie, elle contribue indirectement à la diminution des émissions de gaz à effet de serre car une bonne partie de l'électricité est encore fournie par des énergies fossiles.

### 1.5 Les solutions de l'efficacité énergétique

Parmi les solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique, il est d'usage de distinguer les solutions dites « passives » qui consistent à réduire la consommation d'énergie des équipements et des matériaux grâce à une meilleure performance intrinsèque et les solutions dites « actives » visant à optimiser les flux et les ressources. [25]

### 1.5.1 Les solutions « passives »

Elles consistent à accroître les qualités intrinsèques d'un bâtiment afin d'optimiser l'utilisation des énergies qui lui sont fournies.

#### ➤ L'architecture

De nombreux paramètres peuvent être pris en compte lors de la construction d'un bâtiment, par exemple :

Son orientation et sa capacité à profiter de l'énergie lumineuse, à capter et à se protéger de l'énergie solaire (architecture bioclimatique, matériaux de surface) ;

Une isolation thermique renforcée, par exemple grâce à des faux plafonds empêchant le recours à l'inertie thermique, des matériaux comme la laine minérale ou le chanvre, des doubles vitrages à isolation renforcée ou fenêtres pariétaux dynamiques (qui permettent à l'air provenant de l'extérieur de se réchauffer en circulant entre deux vitrages dont l'un peut être double). L'isolation thermique par l'extérieur (« manteau isolant », par exemple à l'aide de briques de polystyrène expansé ou extrudé) permet de diminuer les pertes thermiques de la paroi jusqu'à 80% ;

Des systèmes de ventilation plus performants. Les ventilations mécaniques contrôlées à double flux permettent de réduire les pertes d'énergie jusqu'à 70% par rapport à des ventilations classiques à simple flux (mais elles restent bien plus coûteuses à installer).

#### ➤ Le système de chauffage

Le poste chauffage absorbe environ 2/3 de l'énergie totale consommée dans le résidentiel pour des bâtiments anciens. Des systèmes plus performants sont développés :

Les chaudières à condensation (récupération d'énergie en condensant la vapeur d'eau des combustibles et taux plus faible de rejets polluants) et basse température (fonctionnant avec de l'eau variant entre 30 et 75°C) consomment 12 à 20% d'énergie en moins que les installations classiques au fioul ;

Des systèmes de chauffage à base d'énergies renouvelables (pompe à chaleur ou systèmes solaires) peuvent également être installés. Différents types de chauffages biomasse utilisant le bois comme combustible présentent des hauts rendements (jusque 95%) ;

Les chaudières à cogénération permettant de produire de l'énergie électrique en même temps que de l'énergie thermique. Elles peuvent générer des économies en énergie primaire d'environ 20% mais leur rendement électrique est faible et répond mal aux besoins.

En 2010, plus de 40 % des économies d'énergie sont réalisées grâce à l'installation de systèmes de chauffage peu consommateurs en énergie et 13% grâce aux travaux d'isolation (principalement en raison du manque de travaux d'isolation de parois opaques mais un potentiel important existe à ce poste) [25].

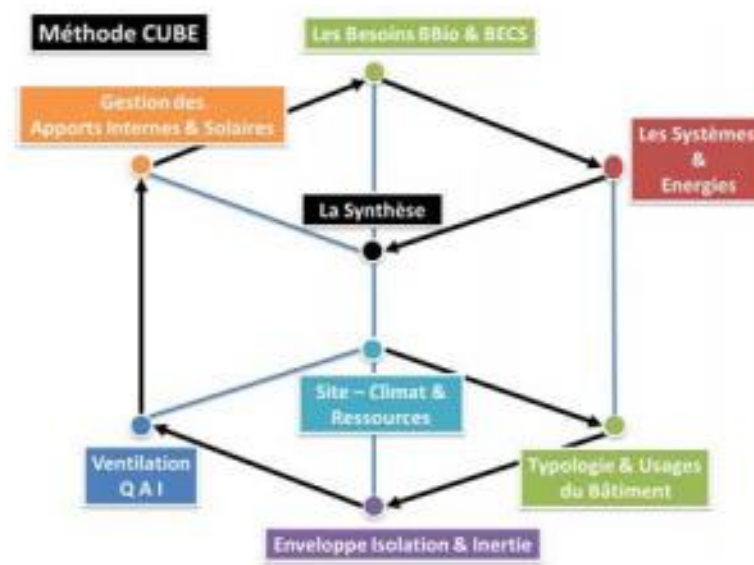


Figure 1.1: système de chauffage définition.

### ➤ L'équipement électrique

L'éclairage et l'électroménager absorbent 15% de l'énergie consommée dans le résidentiel. Des lampes à économie d'énergie (fluorescentes ou led) permettent de réaliser une économie d'énergie supérieure à 50% par rapport à des lampes à incandescence (en revanche, elles ne créent pas de chaleur comme ces lampes à incandescence). L'électroménager disponible en 2011 consomme près de 40% moins d'électricité en moyenne que les appareils commercialisés en 2000. La consommation électrique des réfrigérateurs et des congélateurs a été divisée par 3 entre 1999 et 2009, notamment grâce à une meilleure circulation du froid et à des compresseurs plus performants. [25]

### 1.5.2 Les solutions « actives »

Elles visent à utiliser l'énergie « juste nécessaire » par une gestion active des équipements.

#### ➤ Les systèmes technologiques « intelligents »

Les systèmes dits intelligents permettent de mesurer, de contrôler et de réguler la consommation électrique des bâtiments (capteurs de température, de présence pour l'éclairage, d'émissions de CO<sub>2</sub> pour la ventilation, etc.) et d'éviter ainsi les consommations inutiles. Des systèmes de chauffage électrique intelligents intègrent par exemple un système de régulation électronique détectant l'ouverture de fenêtres (économie d'énergie de 4% à ce poste) ou les présences dans l'habitat (gain potentiel de 12% à ce poste). Ces solutions intelligentes pourraient réduire de 10 à 20% la consommation d'énergie globale d'un immeuble. [25]

## 1.6 L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables

L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables sont deux éléments essentiels et complémentaires pour parvenir à un développement durable.

La synergie entre l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables peut être exploitée de différentes façons.

- Prendre des mesures d'économie d'énergie en réduisant la consommation totale d'énergie,
- Optimiser l'utilisation de systèmes décentralisés basés sur des systèmes distribués.
- Faites confiance aux énergies renouvelables.
- Dans les bâtiments, énergies renouvelables et technologies d'économie d'énergie

Des ressources renouvelables locales pour refroidir et chauffer l'eau Des mesures d'efficacité énergétique peuvent être utilisées pour optimiser la production d'électricité. [1]

Mais par rapport à l'énergie, la rentabilité des énergies renouvelables est encore très faible Traditionnellement, parce que s'ils sont abondants, il est encore nécessaire de capturer, collecter, Récupérez-les et transportez-les. Le résultat est un investissement élevé, et Le coût est généralement encore plus élevé que celui des combustibles fossiles. Politique publique Par conséquent, le soutien est essentiel. Des outils auxiliaires sont nécessaires pour permettre à L'énergie renouvelable prend son envol.

### 1.7 L'efficacité énergétique et développement durable

Les avantages de l'efficacité énergétique pour le développement sont nombreux : réduire l'importation des combustibles fossiles et réduire les coûts énergétiques, améliorer la productivité industrielle, améliorer les conditions de vie de la population, réduire l'impact environnemental de la consommation d'énergie.

En améliorant l'efficacité énergétique, non seulement des emplois peuvent être créés, mais également des emplois.

Cela peut également réduire le coût de la production d'électricité. Par conséquent, l'énergie est un facteur clé du développement à faible émission de carbone. D'ailleurs, l'objet de l'article 2 du protocole de Kyoto, qui garantit l'efficacité énergétique, profitera au développement durable et à l'économie. [1]

Le développement durable est la recherche, tout au long d'un projet, d'un juste équilibre entre les aspects sociaux, économiques et environnementaux. C'est «un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». [26]

Chaque logement doit respecter, les 3 fondements du développement durable :

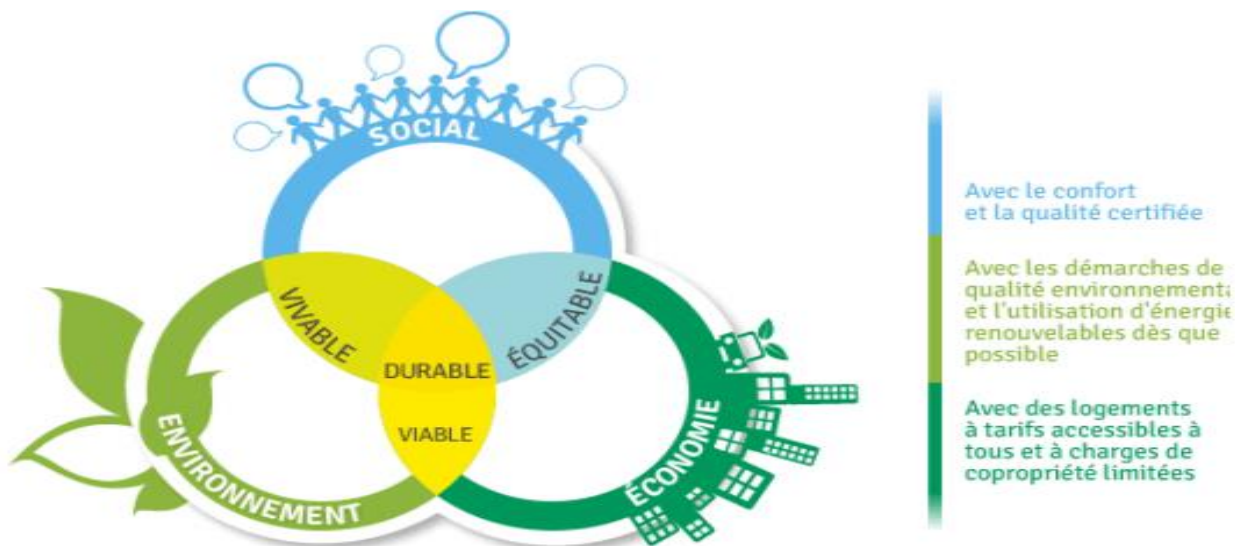


Figure 1.2: les 3 fondements du développement durable [1]

### 1.7.1 Améliorer l'efficacité énergétique d'une habitation :

Un logement dont l'efficacité énergétique est optimale est aussi un logement dont l'empreinte environnementale est moindre, et dont les factures énergétiques sont réduites. Quels sont les moyens d'améliorer ces performances énergétiques ? Quelle Energie vous aide à y voir plus clair, et vous permet d'estimer les économies réalisables en rénovant votre maison.

### 1.7.2 La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique :

En matière d'efficacité énergétique, il faut principalement jouer sur deux leviers : diminuer les besoins qui sont relatifs au bâti proprement dit, et améliorer les équipements techniques du bâtiment et leur gestion. Un troisième levier très difficile à quantifier et qui est le comportement de l'utilisateur être inclus. [1]

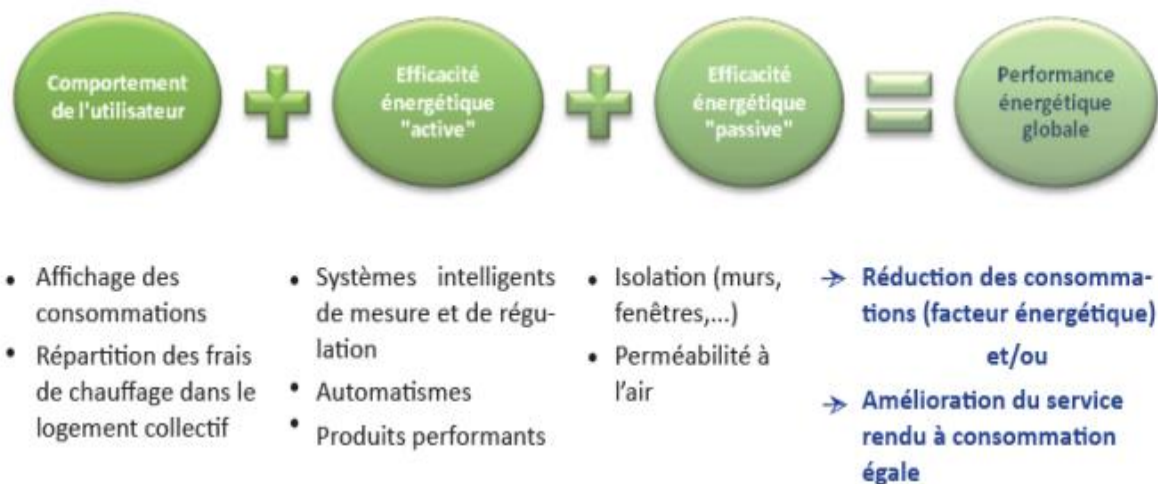


Figure 1.3: la démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique [1]

#### ➤ Diminuer les besoins : efficacité énergétique « passive »

L'efficacité énergétique passive résulte d'une part de l'isolation du logement et sa perméabilité à l'air, en utilisant par exemple des matériaux performants d'isolation thermique ou des menuiseries à triple vitrage, d'autre part, du choix d'équipements les plus performants c'est à dire des produits qui rendront le même service en consommant moins. [1]



### ➤ Superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment : efficacité énergétique « active »

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

- réduire les consommations d'énergie, donc la facture énergétique ;
- Améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire. [1]

## 1.8 Efficacité énergétique en Algérie

### 1.8.1 La consommation énergétique en Algérie

La forte demande de consommation d'énergie de l'Algérie est principalement due à L'amélioration du niveau de vie de la population et le confort qui en résulte, et La croissance de l'activité industrielle.

Le bâtiment est un leader dans les domaines à forte intensité énergétique. Selon APRUE (France Promouvoir et rationaliser l'utilisation de l'énergie), sa consommation représente plus 40% de la consommation d'énergie finale (Figure 1.6). [28]

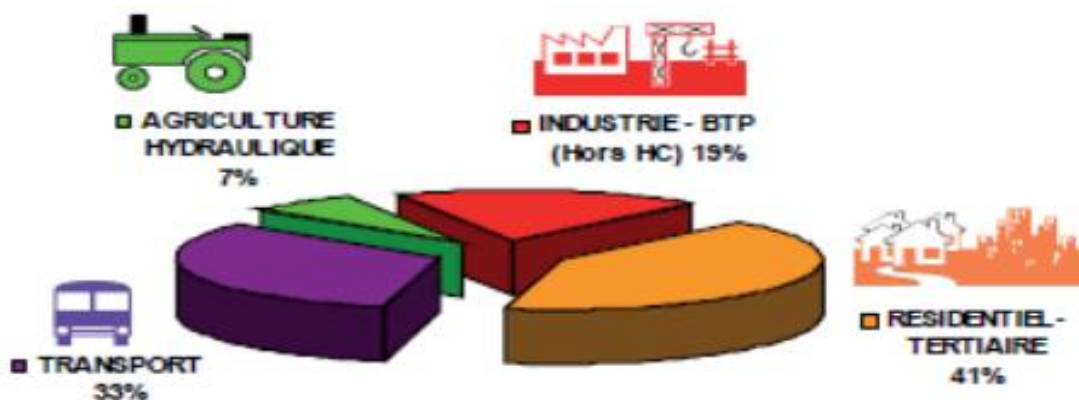


Figure 1.4:consommation finale par secteur d'activité en 2005. [28]

Cette forte consommation d'énergie produit des émissions de gaz à effet de serre (GES) Il a atteint 40000 Teq de dioxyde de carbone en 2005.

Les principaux émetteurs de gaz à effet de serre représentent 47% des émissions mondiales, suivis par L'industrie du transport représente 24% et l'industrie de la construction 16%, (Figure 1.7) :

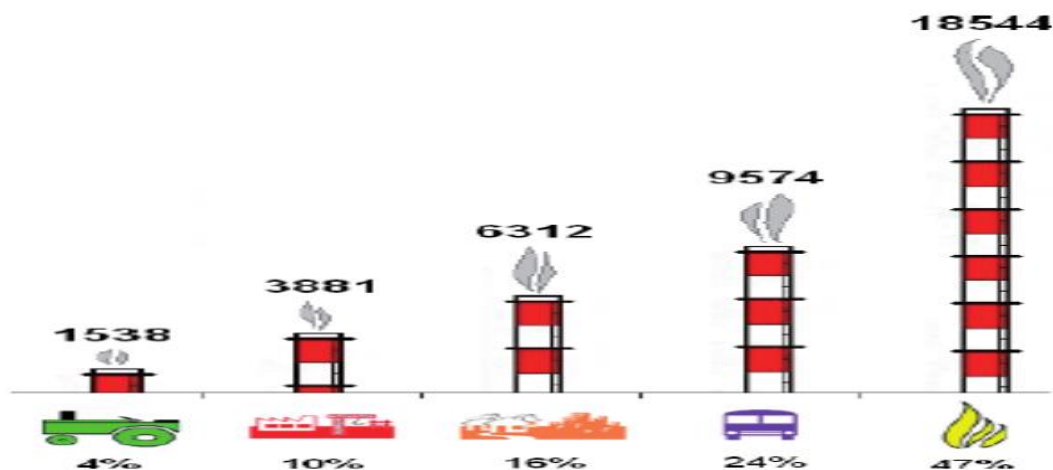


Figure 1.5: bilan des émissions de GES par secteur. [28]

### 1.8.2 La consommation énergétique par secteur

#### ➤ Le secteur industriel

La consommation énergétique de ce secteur a un taux de croissance annuel moyen de 5.86% entre 2000 et 2005 pour atteindre 3.2 millions de TEP qui est augmenté à 8.0 millions de TEP en 2010.

#### ➤ Le secteur de transport

Le taux de croissance annuel moyen de la consommation finale de ce secteur entre 2000 et 2005 est de 4.49% pour atteindre 5.5 millions TEP. En 2010 la consommation est élevée jusqu'à 11.2 millions TEP.

#### ➤ Le secteur ménages et autres

En Algérie, la plus grande part de la consommation est enregistrée Ménages et autres qui représentent 40% de la consommation totale finale. Et donc La consommation électrique résidentielle a atteint 807 KTEP, soit 38% Consommation électrique totale.



Figure 1.6: la consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2010.

### 1.9 Programme de l'efficacité énergétique

Le programme d'efficacité énergétique obéit à la volonté de l'Algérie de favoriser une utilisation plus responsable de l'énergie et d'explorer toutes les voies pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale.

Ce programme prévoit l'introduction des mesures d'efficacité énergétique dans les trois secteurs du bâtiment, de transport et de l'industrie et aussi l'encouragement de la création d'une industrie locale de fabrication des lampes performantes, des chauffe-eau solaires, des isolants thermiques par l'encouragement de l'investissement local ou étranger.

Le plan d'action en matière d'efficacité énergétique se présente comme suit :

#### 1.9.1 Isolation thermique des bâtiments

En Algérie, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42% de la consommation finale. Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour ce secteur portent notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettra de réduire d'environ 40% de la consommation d'énergie liée et à la climatisation de logements. [3]

### 1.9.2 Développement des chauffe-eaux solaire

La pénétration du chauffe-eau solaire (CES) en Algérie reste embryonnaire mais le potentiel est important. Il est prévu, dans ce sens, le développement du chauffe-eau solaire en le substituant progressivement au chauffe-eau traditionnel. L'acquisition d'un chauffe-eau solaire est soutenue par le fonds national pour la maîtrise de l'énergie (FNME). [3]

### 1.9.3 Généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie :

L'objectif assigné à la stratégie d'action est l'interdiction graduelle de la commercialisation des lampes à incandescence (lampes classiques couramment utilisées par les ménages) sur le marché national à l'horizon 2020. En parallèle, il est prévu la mise sur le marché de quelque million des lampes à basse consommation. [3]

Par ailleurs, la production locale des lampes à basse consommation sera encouragée, notamment, par le recours au partenariat entre la production locale et étrangère.

### 1.9.4 Introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public

Le poste éclairage public est l'un des postes les plus énergivores du patrimoine des collectivités locales. Souvent, les responsables de ces collectivités sont très peu informés des possibilités d'amélioration, voir la réduction de la consommation énergétique de ce poste.

Le programme de maîtrise de l'énergie dédié à la collectivité locale consiste à substituer la totalité des lampes à mercure énergétique par des lampes à sodium économique. [3]

### 1.9.5 Introduction des principales techniques de climatisation solaire

L'utilisation de l'énergie solaire pour la climatisation est une application à promouvoir particulièrement au sud du pays, d'autant que les besoins en froid coïncident, la plupart du temps, avec la disponibilité du rayonnement solaire (fonctionnement au fil du soleil). Par ailleurs le champ de capteurs solaires pourrait aussi servir à la production d'eau chaude sanitaire et au chauffage des locaux pendant la saison froide. Le rendement global de l'installation est de ce fait très intéressant.

Des études seront lancées pour s'appropriier et maîtriser les techniques de rafraîchissement solaire et permettront de retenir le système le mieux adapté au contexte Algérien. Deux projets pilotes de climatisation solaire de bâtiments au sud du pays. [1]

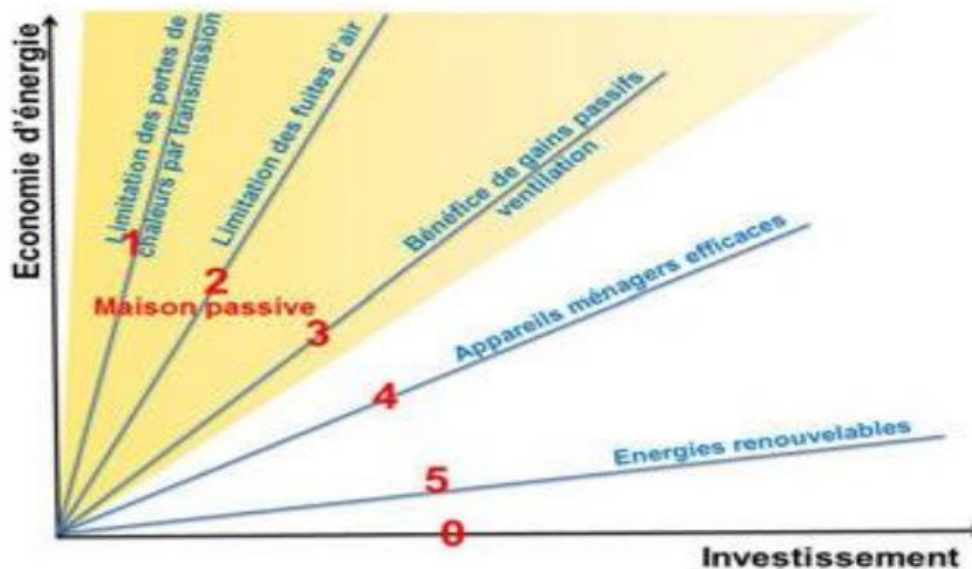


Figure 1.7: la priorité dans le choix des investissements d'efficacité. [1]

### 1.10 Les différents types d'isolation thermique en Algérie

Les mesures de gestion de l'énergie proposées pour le secteur de la construction comprennent Concernant l'introduction de l'isolation dans le bâtiment, cela réduira Environ 40% de la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation de la maison :

#### 1.10.1 Isolation végétale (Liège)

Le liège est un matériau présent dans l'écorce de quelques arbres, et notamment celle du chêne-liège. Il a une faible densité, antistatique, résiste relativement bien au feu, bon isolant thermique, acoustique et vibratoire, et résistant à l'eau grâce à la subérine qui imprègne les cellules. Concassé en granulés, on le transforme en panneaux d'isolation, revêtement mural ou pour le sol. [1]

### 1.10.2 Isolation minérale (les laines minérales)

#### ➤ Laine de roche

La laine de roche est un matériau naturel produit par l'activité volcanique et une technologie propriétaire humaine. Utilisé comme isolation thermique, isolation phonique ou matériau insonorisant dans les bâtiments ou utilisé pour la prévention des incendies. Lambris en laine de roche nue ou avec pelage La vapeur est appliquée sur le mur sous forme de doubles cloisons.

[1]

#### ➤ Laine de verre

La laine de verre est un matériau qui ressemble à un matelas en fibre de verre très fin. Utilisé comme isolation thermique, isolation phonique, absorbant Insonorisé et ignifuge. La forme de la laine de verre est Les rouleaux, panneaux et feuilles dépendent de l'accessibilité des pièces à isoler, Le confort de la maison et les matériaux d'isolation nécessaires.

### 1.10.3 Les isolants synthétiques

#### ➤ Polyuréthane

Le polyuréthane (PUR) est obtenu par le mélange de trois composants, un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion en présence de catalyseurs. Le polyuréthane se présente ainsi sous forme d'une structure alvéolaire renfermant un gaz encore plus isolant que l'air. Aussi il est employé en panneaux pour des isolations sous chapes, sur terrasses ou pour l'isolation extérieure des murs, ainsi employé sous forme de mousse pour les doubles cloisons.

#### ➤ Polystyrène

Le polystyrène est un matériau qui présente de hautes performances en matière d'isolation et de nombreux avantages aussi bien pour les utilisateurs que pour les professionnels de la construction.

Le polystyrène expansé (EPS) à faible ou à moyenne densité pour l'isolation des parois verticales. Le polystyrène extrudé (XPS) est recommandé pour l'isolation des toitures inversée.

### 1.10.4 Autres types d'isolants

#### ➤ Béton de Polystyrène

Le béton de polystyrène se compose de sphères de polystyrène expansé calibrées et traitées. Les surfaces sont réalisées avec des adjuvants spécifiques à base de protéines minérales. La distribution et l'homogénéisation du produit final. Le béton de polystyrène est non structurel, il appartient à la famille des bétons isolés légers. Dans un immeuble dans une maison individuelle ou collective (coffrage et chape d'isolation thermo-acoustique, support de chauffage au sol, Toit-terrasse : pente (jusqu'à 5%), terrasse inaccessible, coulage de béton (Polystyrène sur la dalle médiane). [30]

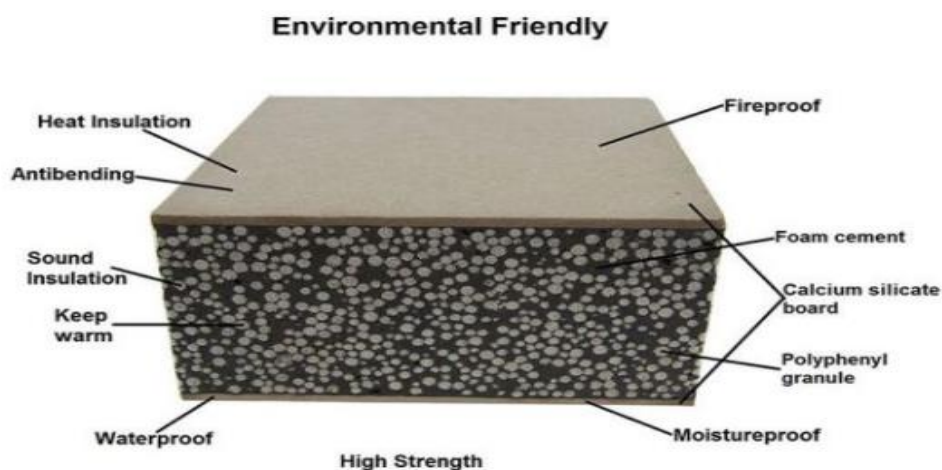


Figure 1.8: la mousse de polystyrène de béton préfabriqué isolé

#### ➤ Béton de perlite

Le béton perlite est constitué d'agrégats de perlite dont la quantité dépend de l'application. Différents types de béton perlite permettent d'obtenir une variété illimitée de mélanges, en fonction de la granulométrie de la perlite et des exigences spécifiques du granulat. Utilisation, dosage du ciment et adjuvants. Utilisé pour la confection de toute chape isolante : [1]

- Béton de remplissage léger
- Forme de pente
- Rattrapage de niveau
- Chape sous carrelage...

### ➤ Béton cellulaire

Le béton cellulaire est un matériau de construction sain et à faible impact sur l'environnement. Ces principales propriétés sont la légèreté et la facilité de mise en œuvre. Il résiste aussi aux flammes. Il ne répond pas non plus à la définition des isolants mais mentionné comme référence car il fait partie des bétons isolants et requière des dimensions plus importantes pour atteindre le même niveau d'isolation d'un isolant conventionnel.

- Forme de pente
- Rattrapage de niveau
- Chape sous carrelage
- Béton cellulaire à couler pour isolation des toitures et des planchers.



Figure 1.9: construire sa maison avec des blocs de béton cellulaire

## 1.11 Conclusion

En Algérie, un grand nombre de logements ne semble pas répondre aux besoins en matière de logement. Confort thermique et économie d'énergie. Cela est dû au manque de D'une part, faute d'expertise et d'ignorance, Le pouvoir adjudicateur est responsable.

En améliorant l'efficacité énergétique, nous pouvons réduire la consommation d'énergie et réduire Même l'émission de gaz à effet de serre, protégeant ainsi l'environnement. Cette La sécurité de l'approvisionnement énergétique a également été renforcée. Et n'oublions pas Au lieu d'adopter des solutions qui améliorent l'efficacité énergétique, nous avons réduit les dépenses De l'argent pour l'énergie.



# Chapitre 2 : Energie solaire et système photovoltaïque/Thermique

### 2.1 Introduction

La lumière émise par le soleil présente une alternative énergétique durable pour la production d'électricité car le soleil est une source d'énergie illimitée. Elle pourrait couvrir environ de 15 000 fois notre consommation globale d'énergie ce qui donne un potentiel très important à l'échelle du besoin de l'activité humaine telle que la quantité d'énergie arrivée au sol se compte sur 10000 Watts crête par mètre carré dans les zones tempérées et jusqu'à 14000 Watts crête par mètre carré lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [7].

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par l'ensemble de cellules dites photovoltaïques (PV), basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque, qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière (une énergie suffisante). La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules (PV) en série/parallèle donne lieu à un module photovoltaïque [8].

Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend de plusieurs paramètres :

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre,
- La latitude du lieu de collecte,
- Son degré de pollution et son altitude,
- La période de l'année,
- L'instant considéré dans la journée,
- La nature des couches nuageuses.

Les zones les plus favorables sont répertoriées sous forme d'atlas et mettent en évidence des "gisements solaires" à la surface de la terre [8].

Pour mieux comprendre le mode de fonctionnement de cette énergie, nous allons parler dans ce chapitre d'une manière générale du gisement solaire, de la conversion photovoltaïque et des principaux éléments constitutifs d'un système photovoltaïque.

### 2.2 Généralité sur l'énergie solaire

Le Soleil est la seule et unique étoile du système solaire, qui n'est rien d'autre qu'un immense réacteur de fusion thermonucléaire situé à 150 millions de km de distance de la Terre, Il représente à lui seul 99,8 % de la masse totale du système solaire. Confiné par des champs magnétiques d'une puissance extraordinaire et recyclant lui-même ses propres déchets, est de très loin la principale source d'énergie de notre planète. [8]

La valeur du flux de rayonnement solaire  $E$  reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne  $E_0$  est appelée la constante solaire, elle vaut  $E_0 = 1353 \text{ W.m}^{-2}$ . En première approximation, on peut calculer la valeur de  $E$  en fonction du numéro du jour de l'année  $j$  par [9] :

$$E = E_0 [1 + 0,033 \cos (0,984 j)]$$

### 2.3 Rayonnement solaire

#### ➤ Le rayonnement direct

C'est celui qui arrive directement au sol sans avoir été dispersé par l'atmosphère, il forme des ombres car ses rayons sont parallèles entre eux. Il est mesuré par un appareil appelé Pyrhéliomètre.

#### ➤ Le rayonnement diffus

C'est la partie du rayonnement diffusé par les particules (les molécules, gouttelettes d'eau, poussière . . .) en suspension dans l'atmosphère, il n'a pas de direction privilégiée et sa mesure est effectuée avec un Pyranomètre.

#### ➤ Le rayonnement réfléchi

C'est la partie réfléchi par le sol et dépend de la nature du site (nuage, sable . . . ect). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo (coefficient de réflexion du sol  $\Phi$ ) tel que  $0 < \Phi < 1$ .

### ➤ Le rayonnement global

C'est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et la somme des composants précédents comme le montre la figure (2.1).

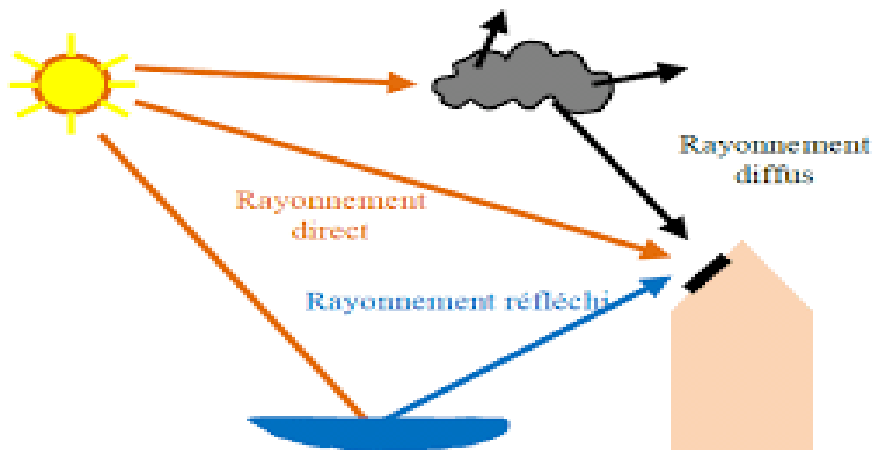


Figure 2.1:les rayonnements solaires terrestres reçus sur une installation donnée.

## 2.4 Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [13].

### 2.4.1 Potentiel solaire mondiale

En théorie, chaque jour, l'énergie fournie par le soleil représente 10000 fois la consommation mondiale Dans la même période.

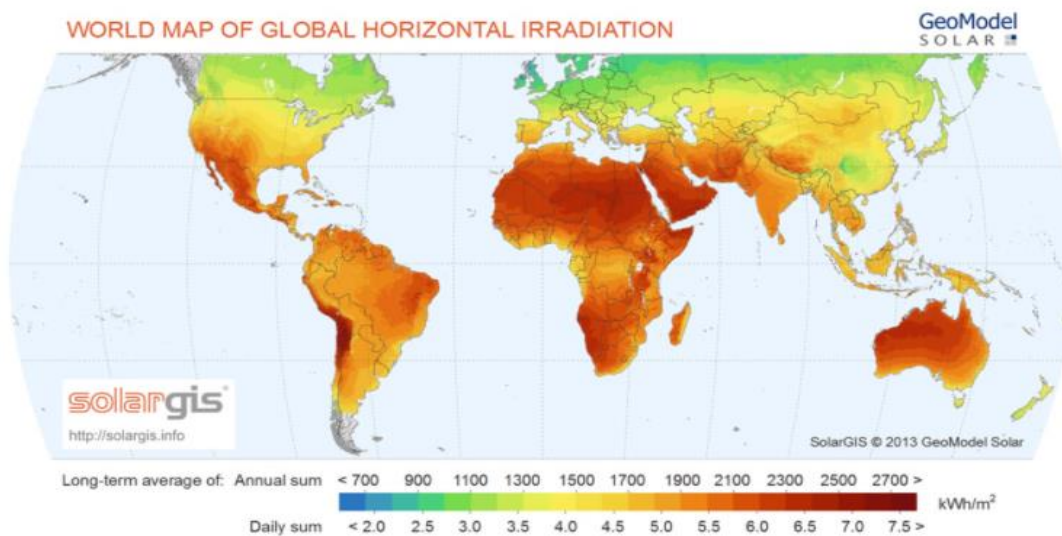


Figure 2.2: l'irradiation solaire globale (annuelle et journalière moyenne).

### 2.4.2 Potentiel solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5KW h sur la majeure partie du territoire national. [11]

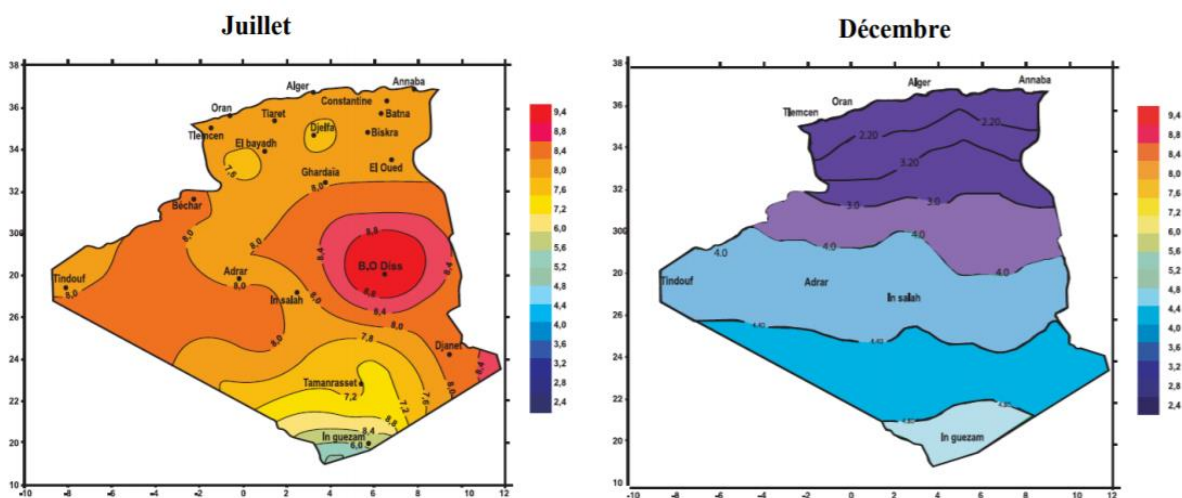


Figure 2.3: Potentiel solaire en Algérie. [11]

### 2.5 Energie photovoltaïque

#### 2.5.1 Effet photovoltaïque

L'effet photoélectrique est la conversion directe d'une partie de l'énergie lumineuse (photons). Les rayons du soleil sont convertis en électricité lorsqu'ils traversent la surface de la cellule photovoltaïque Exposition à la lumière, également appelée cellules solaires. [7]

Principe de fonctionnement :

Une cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des paires électron-trous. Ils créent alors des électrons (chargés N) et des trous (chargés P). Ceux-ci créent alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule. [7]

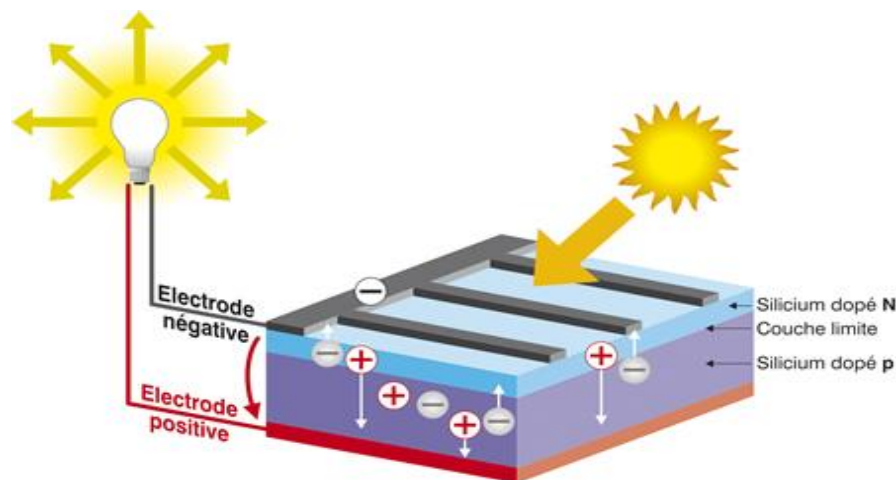


Figure 2.4:Principe de fonctionnement d'une cellule solaire [C7].

#### 2.5.2 Type de cellules solaire

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium et plus rarement d'autres semi-conducteurs. Elles se présentent généralement sous forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté [33].

Chaque type de cellules à un rendement qui lui est spécifique. Par contre quel que soit leurs types leurs rendement est assez faible de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent [4]. Il existe trois principaux types de cellules :

### ➤ **Silicium monocristallin**

Matériau le plus répandu, présentant un bon rendement à fort et moyen éclairage, il est à la base des panneaux « terrestres » les plus performants après ceux à l'arséniure de gallium. [10]

- Rendement électrique des panneaux : 15 à 20 % STC.
- Puissance des panneaux : 5 à 300 Wc.
- Gamme d'éclairage : 100 à 1 000 W/m<sup>2</sup>.
- Usage : tous usages en extérieur de forte et moyenne puissance : télécoms, habitat, centrales et toits solaires. [10]

### ➤ **Silicium poly (ou multi-) cristallin**

Cousin germain du précédent (composés de multi cristaux, voir section 3.2), il est un peu moins performant, essentiellement aux éclairages modérés. [10]

- Rendement électrique des panneaux : 12 à 17 % STC.
- Puissance des panneaux : 5 à 300 Wc.
- Gamme d'éclairage : 200 à 1 000 W/m<sup>2</sup>.

### ➤ **Silicium amorphe:**

Nettement moins puissant au soleil que les deux précédents, ce silicium en couche très mince répond par contre à tous les éclairages, extérieur et intérieur. Sa technologie de fabrication est théoriquement moins onéreuse (mais la production n'a pas atteint des niveaux comparables) et permet de réaliser des petits formats, grâce à la mise en série intégrée et la simplicité de découpe. [10]

- Rendement électrique des panneaux : 5-7 % STC (jusqu'à 12 % pour les « multi-jonctions »).
- Puissance des photopiles intérieures : 0 à 1 Wc.
- Puissance des panneaux extérieurs : 0,5 à 90 Wc.
- Gamme d'éclairage : 20 lux (en intérieur) à 1 000 W/m<sup>2</sup> (en extérieur).

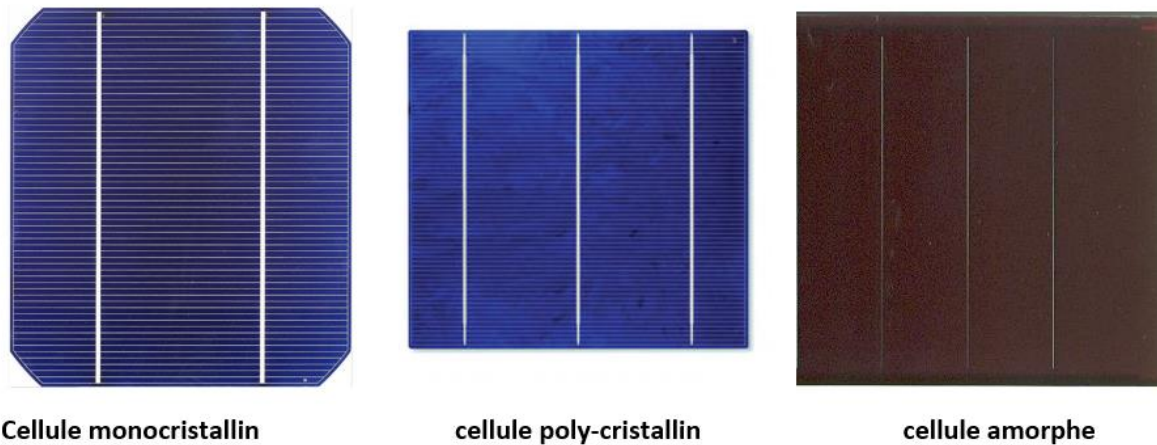


Figure 2.5: Différents types des cellules

### 2.5.3 Les paramètres des cellules photovoltaïque

La cellule solaire photovoltaïque est caractérisée par plusieurs paramètres dont le rendement de conversion, la tension de court-circuit et de circuit ouvert, le courant de court-circuit et le facteur de forme (FF). Ces paramètres sont extraits de la caractéristique courante tension qui permet de comparer différentes cellules dans des conditions identiques. Ces paramètres sont définis comme suit [13] :

#### ➤ Courant de court-circuit $I_{cc}$

Le courant de court-circuit est le courant le plus important que l'on puisse obtenir avec une cellule solaire, augmente généralement avec l'intensité d'illumination.  $I_{cc}$  est la valeur du courant lorsque la tension  $V=0$ [13]. D'où le courant de court-circuit est considéré égal à la photo courant ( $I_{ph}$ ) :

$$I_{ph}=I_{cc}$$

#### ➤ Tension à circuit-ouvert $V_{co}$

Tension à circuit ouvert  $V_{co}$  C'est la tension pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque)

$$V_{co} = V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1\right)$$



### ➤ Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule  $P_{max}$  ( $I_{opt}$ ,  $V_{opt}$ ) et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$n = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{P_{inc}}$$

Avec  $P_{inc}$  est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles.

Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique [7]

### ➤ Facteur de forme (FF)

Le facteur de forme représente le rapport entre la puissance maximale  $P_{max}$  fournie par le générateur et la puissance optimale. C'est la mesure de la qualité d'un générateur (ou Cellule), il est défini par la relation [8] :

$$ff = \frac{P_{max}}{I_{cc} V_{co}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{I_{cc} V_{co}}$$

## 2.5.4 Association des cellules PV

### ➤ En Série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la Caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. [13]

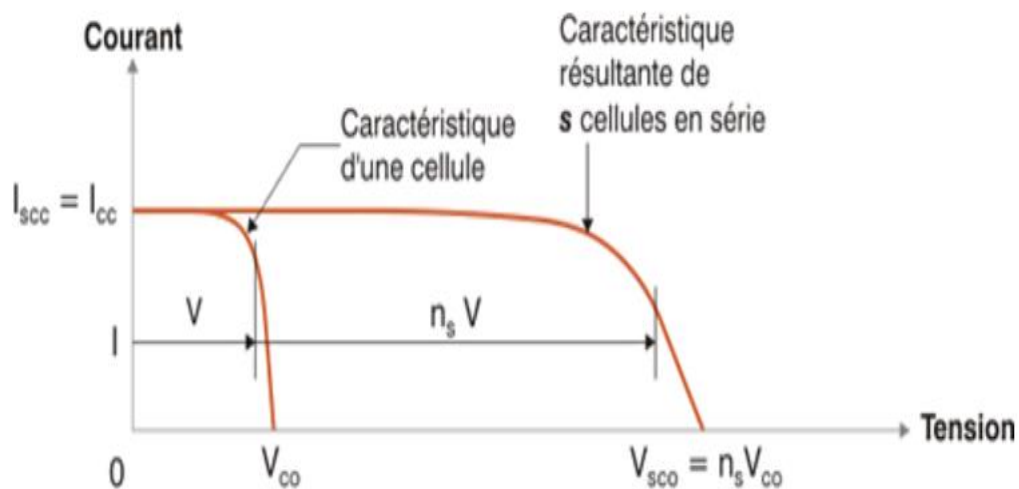


Figure 2.6:Caractéristique groupement en série des cellules identiques [7]

### ➤ En Parallèle

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. [13]

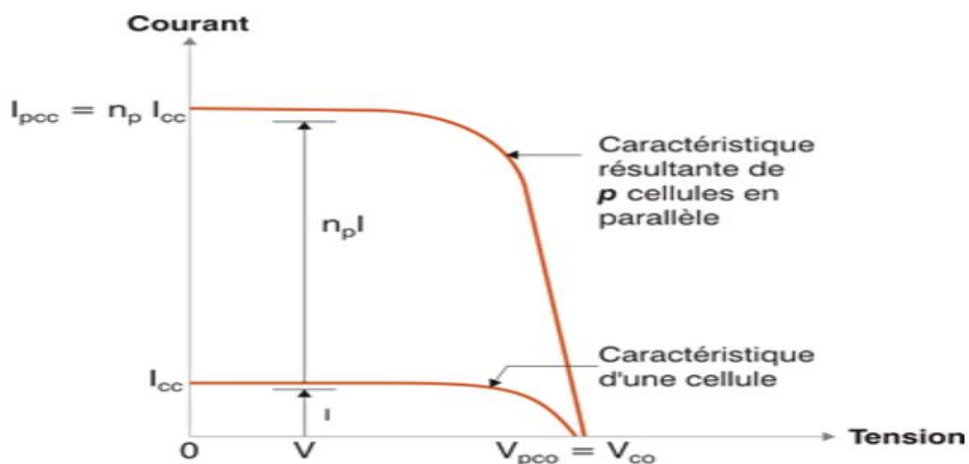


Figure 2.7:Caractéristique d'un groupement en parallèle des cellules identiques. [7]

### ➤ Association hybride (série/parallèle)

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations [7] :

$$I'_{cc} = N_p \cdot I_{cc} \quad V'_{co} = N_s \cdot V_{co}$$

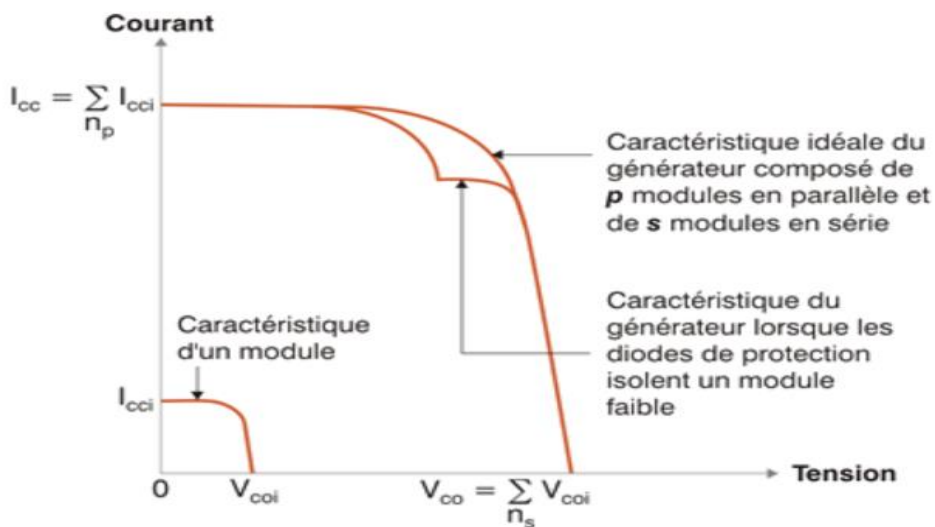


Figure 2.8:Caractéristique d'un groupement hybride des cellules identiques [7]

### 2.5.5 Protection d'un générateur PV

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage.

Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisés dans les installations actuelles : La protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).

La protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds. [14]

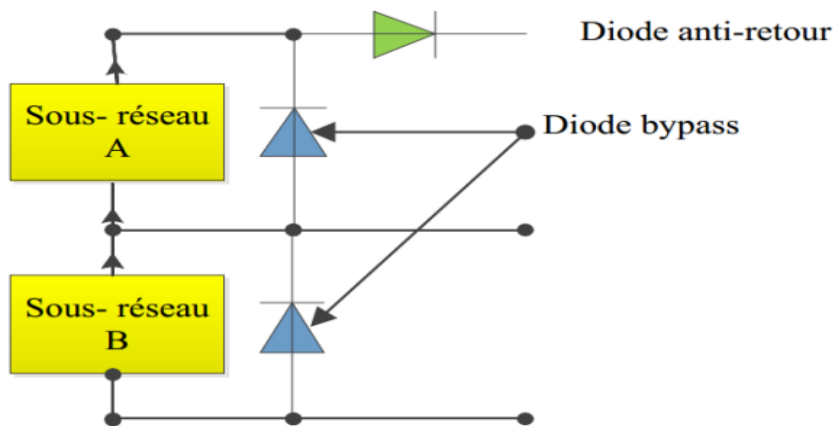


Figure 2.9:protection d'un générateur photovoltaïque

## 2.6 Types de système PV

On peut classer les systèmes PV selon le schéma suivant :

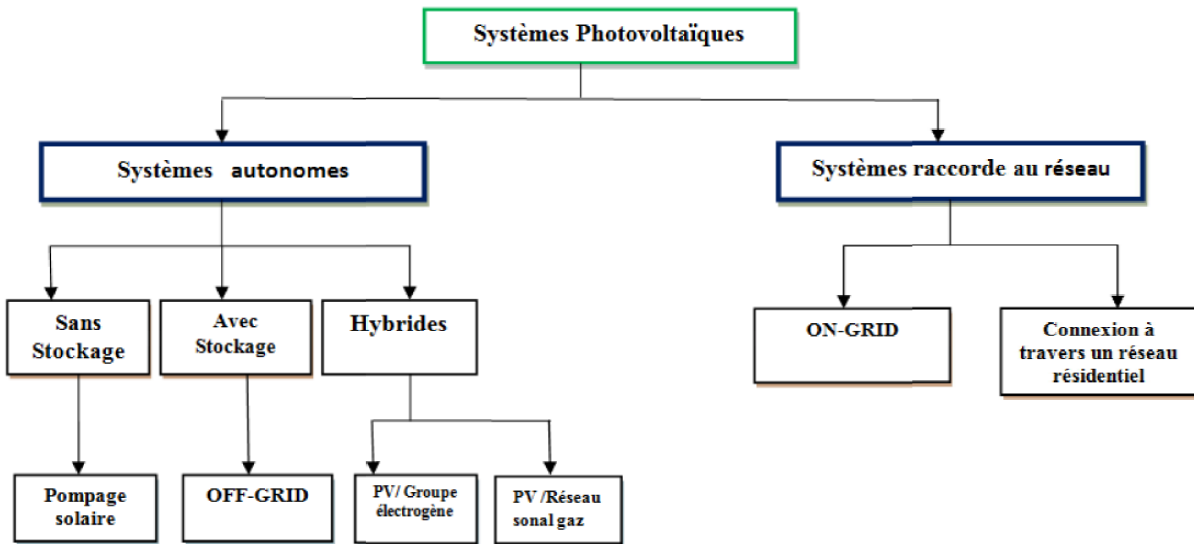


Figure 2.10:Classification des systèmes photovoltaïques [7]

### 2.6.1 Les systèmes autonomes

Selon le besoin, les systèmes autonomes alimentent un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. [12] De plus, ces installations comportent également selon le cas des interfaces de conversion continu-continu (charges fonctionnant en courant continu) et/ou continu-alternatif (charges fonctionnant en courant alternatif). [7]

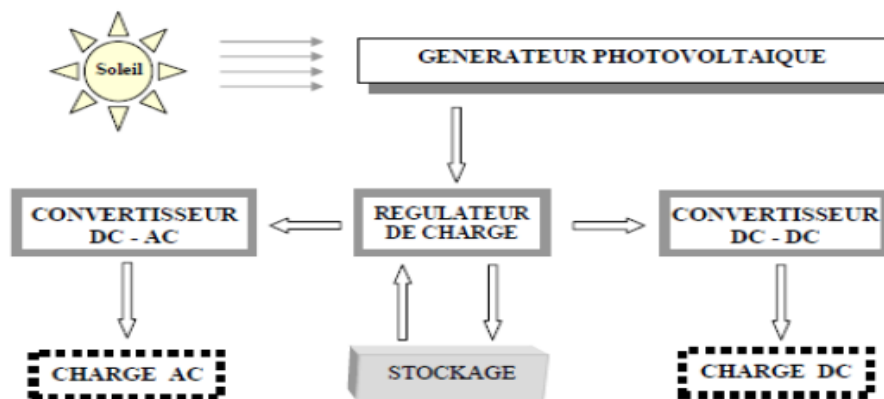


Figure 2.11: Système PV autonome [7]

### 2.6.2 Systèmes PV raccordés au réseau :

Les systèmes PV raccordés au réseau sont généralement divisés selon deux modes de connexion.

➤ **Connexion directe :**

Dans ce cas, toute l'énergie produite est vendue et le courant consommé est fourni par le réseau.

➤ **A travers des réseaux résidentiels**

Lorsque la production dépasse la consommation dans les réseaux domestiques la puissance injectée au réseau sera le surplus de la puissance produite. Il est donc nécessaire de compter séparément les kWh injectés et ceux prélevés sur le réseau, ce qui oblige à installer deux compteurs unidirectionnels (électroniques) un compteur qui comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation. Ce type de systèmes élimine la partie la plus problématique et la plus chère d'une installation autonome qui est le stockage. [7]

### 2.6.3 Système hybride

Il s'agit de systèmes qui regroupent des sources d'énergie de nature différentes telle une installation éolienne, un générateur diesel ou une centrale de cogénération en plus du générateur photovoltaïque. Ce type d'installation est utilisé lorsque le générateur photovoltaïque seul ne couvre pas toute l'énergie requise [11].

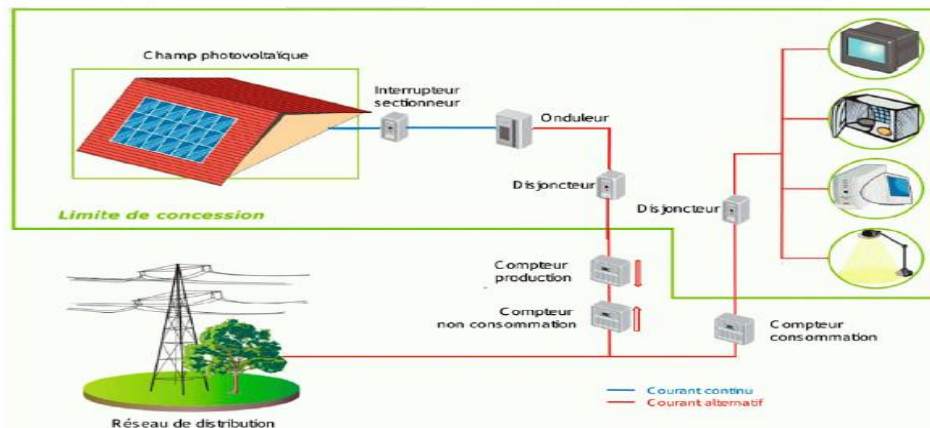


Figure 2.12: Installation ou centrale électrique photovoltaïque raccordée au réseau [11]

### 2.7 Présentation d'un system photovoltaïque autonome

Notre étude est basée sur le système autonome avec l'utilisation des batteries dans le but d'alimenter une charge en courant continu, donc on va détailler les composants de ce système photovoltaïque :

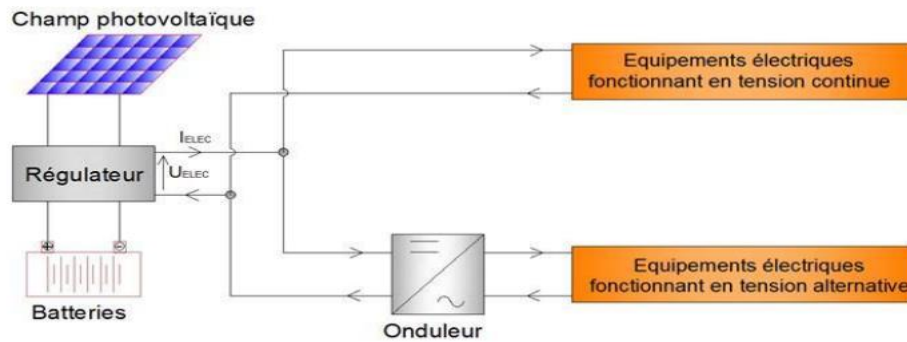


Figure 2.13:système photovoltaïque autonome

#### 2.7.1 Modules photovoltaïques

Les modules des panneaux photovoltaïques dans les systèmes autonomes sont généralement configurés pour fournir des tensions continues nominales de 12V, 24V et, dans les systèmes plus grands, 48V. Cela signifie que les modules sont généralement connectés en série. Afin de faciliter l'interconnexion des modules, il est préférable d'utiliser des modules avec boîtes de jonction plutôt que des modules avec câbles enfichables (comme c'est le cas pour configurer les longues chaînes utilisées dans les réseaux connectés au réseau). [14]



Figure 2.14:le champ photovoltaïque.

### 2.7.2 Batteries

Les panneaux solaires alimentent rarement directement les équipements électriques. En effet, la quantité d'énergie collectée par le panneau solaire varie en fonction de la force de la lumière du soleil. Cette source d'énergie est donc trop variable pour que la plupart des équipements électriques puissent y faire face. [15]

Si vous stockez votre énergie solaire, par exemple dans un système autonome ou de secours au réseau, cette énergie est stockée dans des batteries. En plus de permettre une certaine flexibilité quant au moment où vous utilisez votre énergie, les batteries fournissent une source d'énergie constante pour votre équipement électrique. [15]

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement [C13] :

#### ➤ **Les batteries au plomb**

Constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclable à plus de 90%. Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leur durée de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité. En effet, La profondeur de décharge est en effet responsable de la dégradation de ces batteries, conduisant à une réduction notable de leur durée de vie lorsqu'elles sont utilisées dans des conditions extrêmes [14].

#### ➤ **Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH)**

Sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant. [14]

#### ➤ **Les batteries au lithium :**

Présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure. [14]

#### ➤ **Les batteries « gel » :**

L'électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Dans certaines batteries, de l'acide phosphorique est additionnée afin d'améliorer la durée de vie en cycle profond.

## Chapitre II : Energie solaire et système photovoltaïque/Thermique

Le type de batterie le plus courant dans les systèmes solaires autonomes comprend les batteries au plomb rechargeables. Ce sont les plus économiques et peuvent gérer très efficacement les courants de charge grands et petits.

Dans le système PV, la capacité de stockage est généralement comprise entre 0,1 kWh et 100 kWh Mais au-delà de 2.5 kWh stocké, on passera en 24 V ,48V ou plus. Les batteries sont commercialisées en cellules de 2V, de200 Ah à 3000 Ah ou en ensemble 12 V jusqu'à 400 Ah.

[14]

Technologie	Plomb	Ni/Cd	Ni/MH	Li/Ion
Rendement (%)	>80	75	70	>95
Tension de cellule	2 V	1.2	1.2	3.6
Taux d'autodécharge mensuel	5%	20%	30%	<5%
Nombre de cycle	500-1000	800	750-1200	1000
Durée de la charge	8–16 h	1 h	2–4 h	<1 h
Fréquence des besoins d'entretien	Tous les 3-6 mois	Tous les 30 à 60 jours	Tous les 60 à 90 jours	Pas nécessaire
Avantages	Faible coût	Fiabilité Performances à froid	Très bonne densité d'énergie	Excellente puissance et énergie
Inconvénient	Durée de vie	Toxicité	Comportement en température	Le coût élevé

Tableau 2.1: comparaison des caractéristiques technique des batteries.



### 2.7.3 Le régulateur de charge

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes. Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [16], Votre choix de régulateur solaire dépendra de quatre éléments [15] :

La tension du système

Le courant du champ solaire (mesuré en ampères)

Le courant maximal de la charge (mesuré en ampères)

Le niveau de détail que vous souhaitez obtenir de l'affichage de l'état.

Il existe plusieurs modèles de régulateurs de différentes puissances :

- Régulateur Shunt,
- Régulateur Série,
- Régulateur PWM,
- Régulateur MPPT



Figure 2.15:Le régulateur de chargée.

### 2.7.4 Onduleurs

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif [16]

Un onduleur pour systèmes autonomes est un équipement différent d'un onduleur solaire raccordé au réseau. Avec un onduleur relié au réseau, votre énergie alimente le réseau et doit fonctionner en conjonction avec le réseau. L'onduleur se connecte directement à vos panneaux solaires et s'éteint lorsque les panneaux solaires ne produisent plus assez d'énergie. Avec un système autonome, votre électricité est entièrement séparée du réseau. L'onduleur est relié à votre parc de batteries et s'éteint lorsque la charge du parc de batteries est faible [15]. Il y a trois éléments à prendre en compte lors de l'achat d'un onduleur :

- Tension du parc de batteries
- Puissance nominale
- Forme d'onde

Il existe deux types de système d'onduleur :

➤ **Onduleur type « string »**

Dans un système d'onduleur de type "string", les panneaux solaires sont reliés en série et l'électricité CC est amenée à l'onduleur qui la convertit en courant alternatif. [18]



Figure 2.16: l'onduleur.

Dans un système à micro-onduleur, chaque panneau possède son propre micro-onduleur fixé à l'arrière du panneau. Le panneau produit toujours du courant continu, mais il est converti en courant alternatif sur le toit et alimente directement le tableau électrique. [18]



Figure 2.17: micro-onduleur

### 2.7.5 Les câbles

Les câbles ont un rôle essentiel à jouer dans la réussite d'un système électrique solaire. Il existe trois types de câbles différents que vous devez prendre en compte [15] :

- Câbles de panneaux solaires
- Câbles de batterie
- Câbles d'appareils

Pour les systèmes autonomes, le câblage de la batterie et de l'appareil doit également être spécifié correctement. Pour tout le câblage, assurez-vous de toujours utiliser un câble qui peut supporter le courant maximum (ampères) que vous prévoyez d'utiliser. [15]

Il faut bien mesurer les longueurs de ces câbles afin de pouvoir déterminer les spécifications correctes lorsque vous commencerez à planifier l'installation. [15].

### 2.7.6 La charge

Il existe deux types d'équipements pour l'alimentation du système. L'un est l'équipement qui fonctionne avec du courant continu, comme les équipements de télécommunications et les

équipements de pompage, et l'autre est le courant alternatif domestique. Dans ce cas, des onduleurs sont nécessaires. [16]

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être envisagée dans une perspective d'économie d'énergie. Par conséquent, il est plus avantageux de trouver des équipements électriques fonctionnant en courant continu que d'ajouter des onduleurs et des équipements électriques. [16]

## 2.8 Etude d'un chauffe-eau solaire

### 2.8.1 Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné pour fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire (ECS) [8]. Il est constitué de trois parties : [31]

- Un capteur situé à l'extérieur le plus souvent sur le toit de la construction
- Un ballon bien isolé thermiquement pour stocker l'eau chaude produite
- Un système de mise en circulation de l'eau entre le capteur et le ballon grâce à des régulations automatiques. [31]

L'énergie solaire est captée par les panneaux installés sur le toit et réchauffe un fluide dit « fluide caloporteur ». Ce fluide restitue la chaleur dans le ballon d'eau chaude. Le système permet ainsi de produire de l'eau chaude sanitaire été comme hiver. [35]

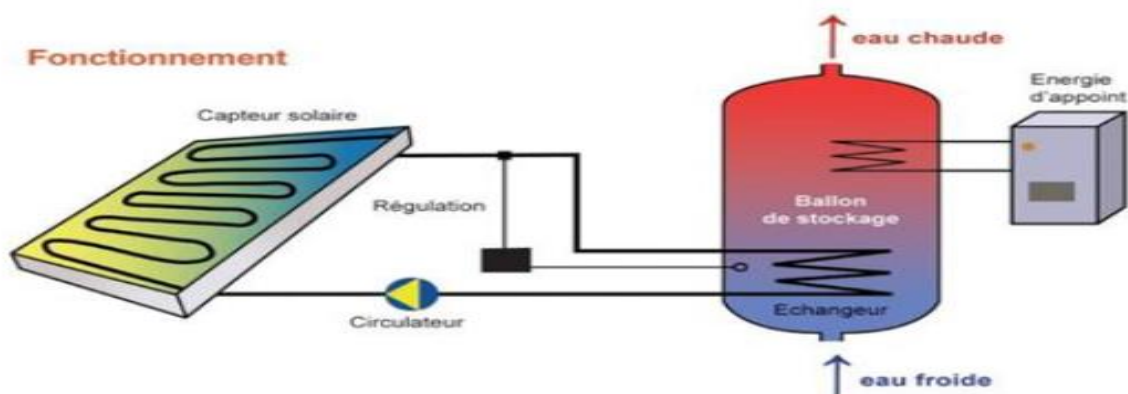


Figure 2.18:Schéma de l'installation [13]

### 2.8.2 Les différents types de chauffe-eau solaire

Il existe trois types de chauffe-eau solaire différents que vous pouvez installer chez vous, parmi lesquels : [34]

1. le chauffe-eau solaire à thermosiphon monobloc.
2. le chauffe-eau solaire à thermosiphon à éléments séparés.
3. Le chauffe-eau solaire à éléments séparés en mode circulation forcée.

#### ➤ **Chauffe-eau à circulation naturelle (thermosiphon) :**

Il existe deux types d'installation : le chauffe-eau monobloc et le chauffe-eau solaire à élément séparés.

#### ➤ **CESI thermosiphon monobloc :**

Les capteurs et le ballon sont regroupés et se trouvent à l'extérieur. C'est un système simple et peu coûteux mais il est inadapté aux conditions du camping. L'eau se refroidirait trop vite. De plus il y a déjà un local à chaufferie prévu pour le ballon

#### ➤ **CESI thermosiphon à éléments séparés**

Le ballon est à l'abri, éloigné des capteurs. C'est donc pour ce système que nous avons opté. [8]

#### ➤ **Chauffe-eau solaire à circulation forcée**

Cette catégorie regroupe le chauffe-eau solaire qui fait appel à un circulateur pour transférer l'eau chauffée dans le collecteur depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage. La disposition relative du ballon et du capteur est totalement libre. [8]

#### ➤ **Chauffe-eau à auto vidange**

C'est une autre alternative pour éviter le risque de gel. Elle consiste à vider les panneaux solaires en période de non utilisation. Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires. Dès que le soleil ne chauffe plus, la circulation entre les panneaux et le ballon s'arrête et le circuit se vidange automatiquement. Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route. [8]

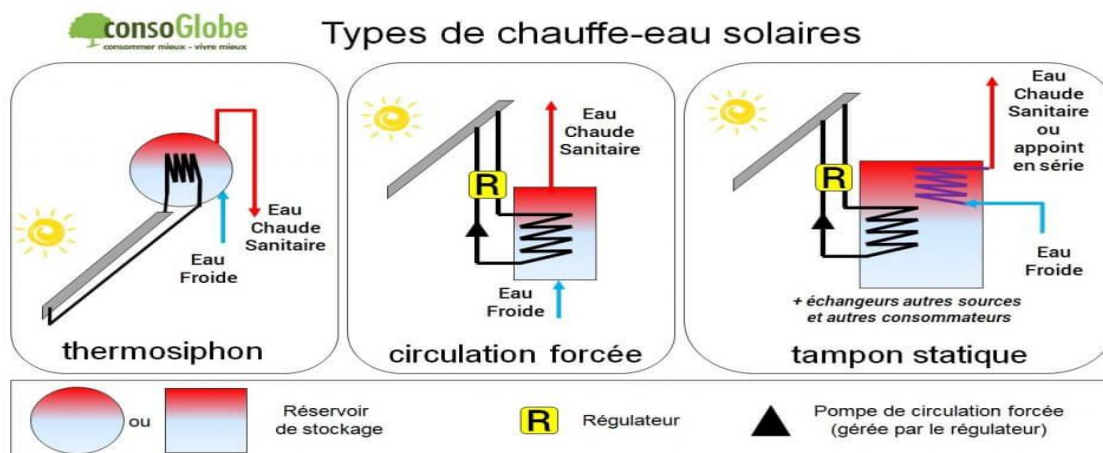


Figure 2.19:diffèrent types de chauffe-eau solaire.

### 2.8.3 Les capteurs solaires

L'énergie solaire (rayonnement) est captée par la surface absorbante du capteur solaire. Dans de nombreux types de capteurs, des revêtements sélectifs sont appliqués sur la surface absorbante pour en augmenter l'efficacité. Un fluide caloporteur absorbe l'énergie captée. [19]

Il existe différents types de capteurs solaires pour chauffer des liquides. Leur choix dépend de la température désirée de l'eau chaude et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Les technologies les plus courantes sont : les capteurs à liquide plans sans vitrage, les capteurs à liquide plans vitrés et les capteurs solaires à tubes sous vides. [19]

#### 2.8.3.1 Les capteurs à liquide plans sans vitrage :

Les capteurs plans sans vitrage, tels que celui montré à la figure, sont ordinairement fait de plastique polymère noir. Normalement, ils n'ont pas de revêtement sélectif et n'ont ni cadre ni isolation en arrière. Ils sont simplement posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible cout captent bien l'énergie solaire, cependant les pertes thermiques vers l'environnement augmentent rapidement avec la température de l'eau, particulièrement dans les endroits venteux. En conséquence, les capteurs sans vitrage sont couramment utilisés pour les applications demandant une fourniture d'énergie à basse température (piscine, eau d'appoint en pisciculture, chaleur industrielle, etc.); dans les climats froids, ils sont

habituellement utilisés exclusivement durant l'été à cause de leurs pertes thermiques élevées. [19]

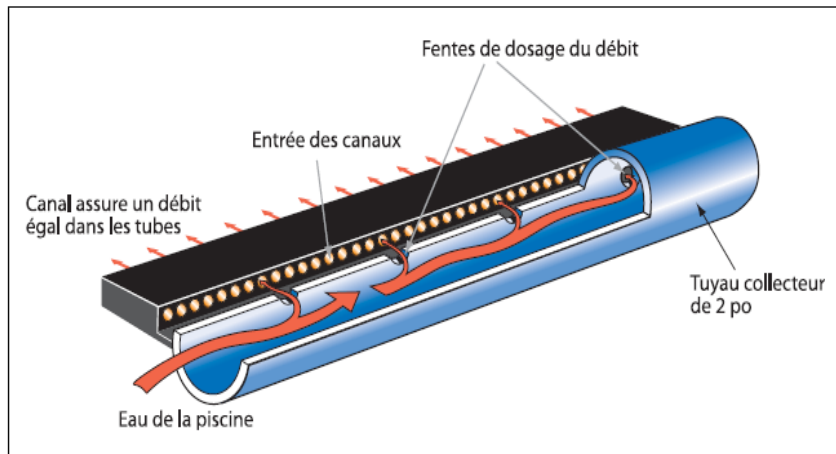


Figure 2.20:schéma d'un capteur à liquide plan sans vitrage [19]

### 2.8.3.2 Capteurs à liquide plan avec vitrage :

Les capteurs solaires de type plan sont le plus couramment utilisés. Ils se composent d'un absorbeur situé dans un coffrage isolé en face arrière et constitué d'un vitrage en face avant. Cet absorbeur possède une couche sélective qui augmente la captation de l'énergie solaire tout en limitant les pertes par rayonnement. Le vitrage quant à lui évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent et crée un effet de serre qui augmente le rendement du capteur. L'isolation à l'arrière du capteur diminue les pertes de chaleur. [32]

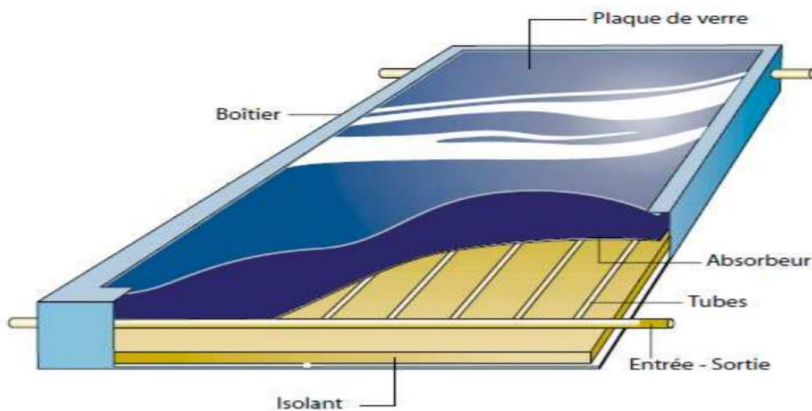


Figure 2.21:schéma d'un capteur à liquide plan avec vitrage



### 2.8.3.3 Capteurs solaires à tubes sous vides

Les capteurs solaires à tubes sous vide, comme montré à la figure, comporte un absorbeur revêtu d'une surface sélective et enfermé sous vide dans un tube en verre. Ils captent bien l'énergie solaire et leurs pertes thermiques vers l'environnement sont extrêmement faibles. Les systèmes présentement sur le marché utilise un caloduc pour extraire la chaleur de l'absorbeur (un liquide se vaporise au contact de l'absorbeur chaud, la chaleur est récupérée dans la tête du tube lorsque la vapeur s'y condense et le condensat, retourne par gravité à l'absorbeur). Les capteurs sous vide sont bien adaptés aux applications requérant la fourniture d'énergie à des températures moyennes ou hautes (eau chaude domestique, chauffage de locaux et applications de chauffage industriel dans des gammes de températures de 60°C à 80°C, selon la température extérieure), en particulier dans les climats froids [19].

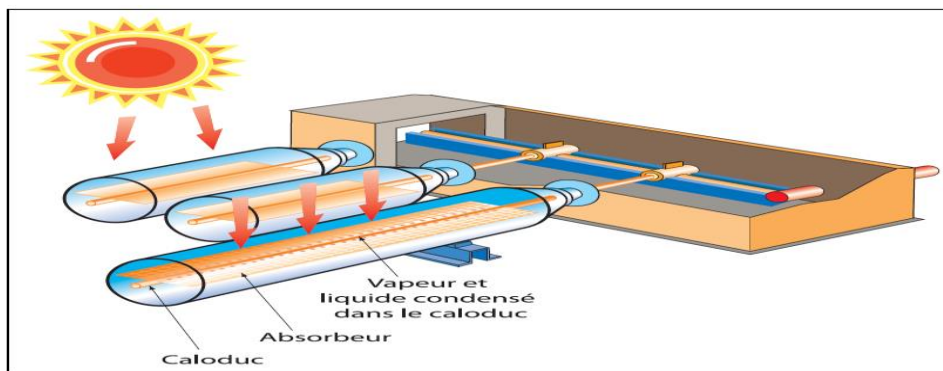


Figure 2.22: capteurs solaires à tubes sous vides. [19]

## 2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une brève description du soleil et de son énergie, Nous avons également donné la cartographie du rayonnement solaire de l'Algérie en donnant le potentiel solaire dans les différentes zones. Ce dernier (rayonnement solaire) nous a permis aussi d'approfondir et d'enrichir nos connaissances sur l'énergie solaire photovoltaïque et thermique. Puis nous avons fait une description des systèmes PV ainsi que la présentation des cellules photovoltaïques et les paramètres qui influencent sur eux.



Après, nous avons présenté les différents systèmes photovoltaïques et les éléments constitutifs de l'installation puis on a cité les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque et nous finirons par la méthode de dimensionnement.

Et pour les deuxièmes systèmes, nous avons exposé une étude et une recherche générale sur l'utilisation de l'énergie solaire thermique, on a présenté les différents capteurs solaires thermiques,

Nous avons également donné les avantages et les inconvénients et nous finirons par la méthode de dimensionnement. Pour bénéficier d'eau chaude, nous avons souvent recours aux installations solaires, celles-ci peuvent être disposées dans n'importe quel climat, mais leurs performances sont liées à l'ensoleillement de l'espace où elles sont installées.

# Chapitre 3 : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

### 3.1 Introduction

Dans le présent chapitre, l'étude se portera sur le dimensionnement pour ce qu'on appellera « un école solaire ». Pour cela on définit le modèle d'école et son site d'implantation en premier lieu, le dimensionnement manuel des deux systèmes (PV/Thermique) en second et enfin effectuer quelques logiciels afin de calculer et d'évaluation des coûts et des différentes données économiques.

Dans notre cas on s'intéresse plus précisément à l'utilisation de l'une de ces énergies inépuisables, qui est l'énergie solaire, afin de subvenir au besoin de notre école en énergie électrique d'une part, et au chauffe-eau solaire d'une autre part.

Depuis plusieurs années déjà, on se préoccupe d'économiser l'énergie et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Les recherches ont permis de suivre des pistes prometteuses, d'élaborer des techniques performantes utilisant l'énergie solaire.

On a ainsi acquis une solide expérience dans la mise au point de chauffe-eau solaires et photovoltaïque, ces appareils sont aujourd'hui efficaces et performants. Mais l'énergie solaire, source d'énergie gratuite inépuisable et non polluante, Ils s'adaptent aussi bien à des demandes individuelles qu'à des besoins collectifs.

### 3.2 Rapport de présentation

#### 3.2.1 Présentation de l'école

##### ➤ Région de Tlemcen

La wilaya de Tlemcen est une ville située au nord de l'Algérie, Elle a un climat méditerranéen dominant, reposant sur l'opposition entre un hiver océanique où la wilaya est ouverte aux dépressions maritimes et un été désertique qui provoque la remontée et le stationnement d'une chaleur persistante durant toute la saison.

##### ➤ Coordonnées de l'école de Tlemcen

Dans le cadre de ce projet, nous allons étudier l'alimentation de l'éclairage de L'école supérieure de science appliquée de TLEMEN. L'école est implantée dans la wilaya de Tlemcen. Les Coordonnées géographique de L'ESSA-Tlemcen se présentent comme suit :

## Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

34.877793 degrés de latitude Nord, longitude -1.326542 ouest, altitude 813 m et un temps légal Horaire TU+1Fus.

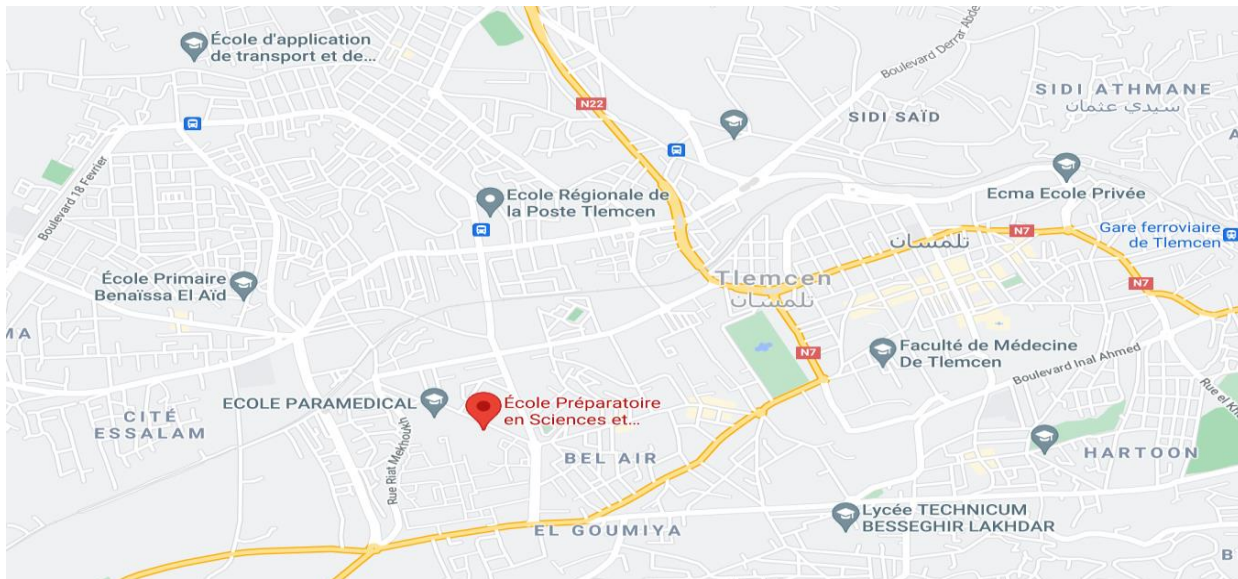


Figure 0.1: Localisation de l'ESSA-TLEMCEN.

### 3.2.2 Plan architecture

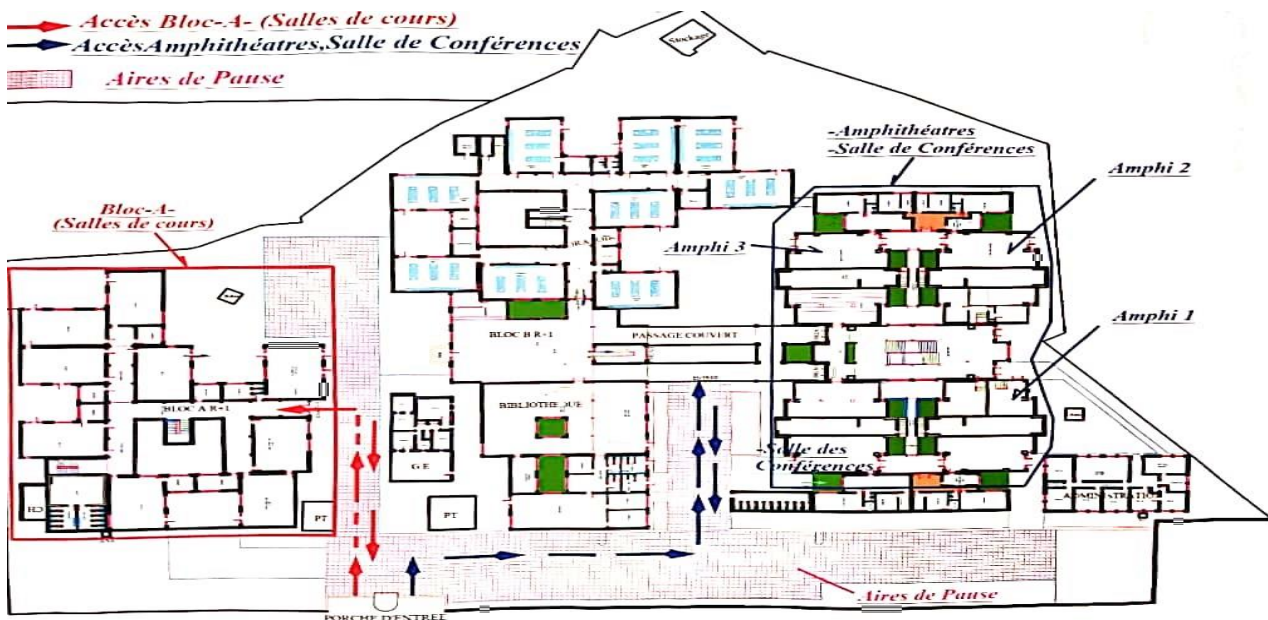


Figure 0.2: plan architecture de l'école

### 3.2.3 Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement :

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent :

- Le lieu où sera placé le générateur PV,
- Le système PV (modules, régulateur, onduleur et batteries),
- La charge.

### 3.3 Méthode de dimensionnement PV/thermique manuel

#### 3.3.1 Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques

##### ➤ Estimation des besoins journalière de l'utilisateur en électricité (etape1) :

Consommation journalière ( $E_j$ ) dépend de la puissance des appareils et de la durée d'utilisation, elle s'exprime en Wh/j :

$$E_j = P \times t$$

Avec :

$E_j$  : Consommations journalières (Wh/j ou kWh/j)

$I_r$  : Irradiation (Wh/m<sup>2</sup>/j ou kWh/m<sup>2</sup>/j)

$P_c$  : Puissance crête des panneaux solaires théorique (Wc)

##### ➤ Estimation du champ photovoltaïque (étape 2)

La puissance crête des panneaux dépend des consommations, du gisement solaire et d'un coefficient de pertes au niveau des panneaux. La puissance s'exprime en Wc.

$$P_c = \frac{E_c \times 1000}{0,6 \times I_r}$$

Avec :

$E_j$  : Consommations journalières (Wh/j ou kWh/j)

$I_r$  : Irradiation (Wh/m<sup>2</sup>/j ou kWh/m<sup>2</sup>/j)

0,6 : coefficient de pertes

$I_r = 5 \text{ KWh/m}^2/\text{j}$ .

- **Tension du champ photovoltaïque :**

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ Photovoltaïque en watt. De façon générale : [16]

Puissance crête (WC)	Moins de 500WC	De 501WC à 2000WC	De 2001WC à 10000WC	Plus de 10000 WC
Tension de champ (V)	12	24	48	96

Tableau 0.1:Tension du champ en fonction de sa puissance crête [16]

- **Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser (étape 3) :**

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de :

- **Panneaux solaire nécessaires à l'installation :**

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{puissance crête unitaire panneau}}$$

- **Le nombre de modules connectés en série sera égale à :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n}$$

$V_{ch}$ : Tension total du champ.

$V_n$  : La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque.

- **Le nombre de modules connectés en parallèles s'exprime par**

$$N_p = \frac{V_m}{V_n}$$

$N_m$  : nombre total de panneaux photovoltaïques.

$N_s$  : nombre de panneaux connectés en série.

- **Dimensionnement du parc de batteries (etape4)**

Elle dépend des consommations journalières, du nombre de jours d'autonomie, de la tension et du type e batterie utilisé. Elle s'exprime en Ah.

$$C_{ch} = \frac{E_j \times N}{D \times U}$$

$C_{ch}$ : Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)

$E_j$ : Énergie consommée par jour (Wh/j)

D : Coefficient de décharge profonde (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V)

N: Nombre de jours d'autonomie (j) :

5 jours pour les sites ensoleillés (Afrique)

7 à 10 jours pour les sites tempérés (Europe du Sud et France)

15 à 20 jours pour les sites plus défavorables (Europe du Nord)

- **Nombre de batteries en séries :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}}$$

$V_{ch}$ : Tension du champ

$V_{batterie}$  : La tension de la batterie

- **Nombre de batterie en parallèles :**

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}}$$

Avec :

$C_{ch}$ : Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

$C_{batterie}$  : Capacité d'une batterie.

La durée de vie en d'une batterie décroît rapidement lorsque la profondeur de décharge augmente. En général, on essaie de limiter la profondeur de décharge à 50%, c'est-à-dire que l'on utilisera que la moitié de la capacité de batteries.

### ➤ **Dimensionnement du régulateur de charge (etape5)**

Le régulateur est dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie.

Tension nominale : Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

Courant d'entrée : C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal. [20]

Courant de sortie  $I_s$  : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule suivante : [20]

$$I_{max} = \frac{P_c}{U}$$

### ➤ Dimensionnement du l'onduleur (etape6)

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères :

La tension d'entrée : c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).

La tension de sortie : en Algérie nous utilisons du 220/230 V, 50Hz.

La puissance nominale : c'est la puissance que les appareils consomment en électricité pour fonctionner de façon "normale". Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électriques susceptible d'être utilisés en même temps Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.

La puissance maximale : l'onduleur doit être capable de fournir une grande puissance (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, micro-onde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général, si vous avez correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est prévue par ces onduleurs est suffisante.

Le rendement : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%. De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas (stand-by). Certains sont équipés d'un système de marche/arrêt qui permet de grandes économies dans les petites installations photovoltaïques.



### ➤ Dimensionnement des câbles (étape 7)

Il est nécessaire de limiter la longueur des câbles électriques entre le générateur photovoltaïque et les récepteurs. Cette distance n'excède jamais quelques mètres. En effet les systèmes solaires fonctionnent généralement sous faible tension (12V, 24V, 48V), donc avec un courant élevé ( $P = U \times I$ ), Si U est faible, I est très élevé pour la même puissance. Le transport à distance de ce courant de plusieurs ampères provoque des pertes par effet joule aux niveaux des conducteurs [16].

$$P_j = \Delta V \times I = R \times I^2$$

On calcul de la sections des câbles, d'après les formules suivantes :

$$S = \frac{\rho \times L}{R}$$

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

$$\Delta V = e \times V$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{e \times V}$$

Avec :

$\rho$  : Résistivité du câble ( $\rho = 0.017$  ohm mm<sup>2</sup>/m pour le cuivre)

I : Intensité du courant électrique

L : Longueur du câble électrique

e : chute de la tension (3-5%)

V : tension du système PV

### 3.3.2 Méthode de dimensionnement production d'eau chaude sanitaire (ECS)

Le point de départ pour dimensionner une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire (ECS) est d'estimer les besoins en eau chaude sanitaire, ensuite les autres facteurs tels que le climat, l'orientation et l'inclinaison des capteurs :

Nous allons détailler une méthode de dimensionnement qui prend en compte divers paramètres. Le but étant d'aboutir finalement à une proposition de panneaux la plus efficace et la plus rentable pour les élèves. [8]

➤ **Calcul du volume du ballon de stockage :**

$$V_{st,min} = \frac{2 \times V_p \times P \times (T_{ec} - T_{ef})}{(T_{st} - T_{ef})}$$

$V_{st,min}$ : Volume minimal du ballon de stockage en litre.

2 : Coefficient de sécurité pour garantir la couverture des besoins.

$V_p$ : Consommation journalière par personne en litres.

$P$ : Nombre de personnes.

$T_{ec}$ : Température souhaitée de l'eau chaude sanitaire en °C.

$T_{ef}$ : Température de l'eau froide en °C.

$T_{st}$ : Température de stockage de l'eau dans le ballon.

➤ **Calcul de l'énergie calorifique journalière nécessaire au chauffage de l'eau :**

Pour calculer la quantité d'énergie nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire, il faut d'abord connaître le volume d'eau à produire. La quantité réelle d'énergie nécessaire pour produire l'eau chaude sanitaire est calculée comme étant la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ce volume d'eau de la température de l'eau froide jusqu'à la température demandée cette énergie est donnée par [8] :

$$E_j = V \times C_p \times \rho \times (T_{ec} - T_{ef})$$

$E_j$ : Energie calorifique journalière nécessaire.

$V$ : Volume du ballon de stockage.

$C_p$ : Capacité calorifique de l'eau (1.167Wh/kg/°C).

$\rho$ : Masse volumique d'eau (1kg/L).

$T_{ec}$  Et  $T_{ef}$  Sont toujours respectivement les températures de stockage et de l'eau froide.

➤ **Calcul la surface et le nombre de panneaux thermique :**

La surface de panneau nécessaire à notre installation, se définit comme étant le rapport entre l'énergie utile au chauffage de l'eau à la température suitée °C (notée  $E_j$ ) et le gisement solaire. [8]

- Calcul la surface totale des panneaux :

$$S_{tot} = \frac{E_j}{G_j}$$

$G_j$ : Le gisement solaire

- Calcul du nombre de panneaux :

$$N_{p.th} = \frac{S_{tot}}{S_u}$$

$S_u$ : Surface unitaire d'un panneau solaire thermique.

### 3.4 Application numérique de la méthode de dimensionnement PV/Thermique (cas d'étude)

#### 3.4.1 Dimensionnement Manuel d'un système PV par la méthode simplifiée

Le dimensionnement c'est l'étude qui nous permet de déterminer la puissance-crête du générateur solaire et la capacité du stockage de batterie d'un système solaire photovoltaïque, elle nécessite informations adéquates et des données sur d'ensoleillement du site d'une part, et aussi sur le besoin électrique de l'utilisateur d'autre part. Le bon choix des composantes du système solaire permet d'utiliser les équipements requis durant la période demandée. Les étapes de dimensionner un système photovoltaïque la suivante :

- **Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV (Etape 1) :**

En se référant à la carte d'ensoleillement de l'Algérie, Il faut toujours choisir la période de l'année-là moins ensoleillée afin d'obtenir la production d'électricité requise durant cette période. L'ensoleillement est habituellement exprimé en kWh/m<sup>2</sup>-j ou en heures de plein ensoleillement (heures ~).

- **Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité (Etape 2) :**

Pour estimer la consommation journalière de l'école, on applique la relation suivante :

$$E_j = P_j \times t_j \times N_j$$

$E_j$ : Consommations journalières (Wh/J ou kWh/j)

### Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

- **Consommation énergétique :**

Dans le tableau suivant on a résumé la consommation de l'énergie électrique de l'éclairage de l'école, dans il est composé de néon simple, néon double et des lampes LED

Appareils électriques	Puissance unitaire (w)	Temps de fonctionnement (heure)	Nombres	Puissance (w)	Consommation Journalières (Wh/jour)
<b>Bloc (B+C)</b>					
Néon double	72	8	71	5112	40896
Néon simple	36	8	183	6588	1205604
LED AMPHI	18	8	12	216	1728
LED BIBLIO	36	6	12	432	2592
<b>Bloc (A)</b>					
Néon double	72	8	84	6048	48384
Néon simple	36	8	80	2880	23040
Lampe (45w)	45	10	8	360	3600
<b>Bloc directeur</b>					
Néon double	72	9	13	936	8424
Néon simple	36	12	4	144	1728
Lampe (45w)	45	14	2	90	1260
<b>Sanitaire (Wc/Wf)</b>					
Néon simple	36	10	4	144	1440
Lampe (45w)	45	6	10	450	2700
Lampes sur les jardins	36	8	12	432	3456
Hublot (45w)	45	8	8	360	2880
<b>TOTALE</b>				$P_{tot}$ = 24192	$E_{cj}$ = 1347732

Tableau 0.2:Tableau de la consommation énergétique actuelle.

### Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

•La consommation journalière totale est **1377732 Wh/j**,

- **Consommation journalier des équipements en courant continu :**

Appareils électriques	Puissance unitaire (w)	Temps de fonctionnement (heure)	Nombres	Puissance (w)	Consommation Journalières (Wh/jour)
<b>BLOC (B+C)</b>					
Néon DC	24	8	71	1704	13632
Néon DC	12	8	183	2196	17568
LED AMPHI	24	8	12	288	2304
LED Bibliothèque	24	6	12	288	1728
<b>BLOC A</b>					
Néon DC	24	8	84	2016	16128
Néon DC	12	8	80	960	7680
LED	24	10	8	192	1920
<b>BLOC directeur</b>					
Néon DC	24	8	13	312	2496
Néon DC	12	12	4	48	576
LED	24	14	2	48	672
<b>Sanitaire (Wc/Wf)</b>					
Néon DC	12	10	4	48	480
LED	24	6	10	240	1440
LED	24	8	12	288	2304
LED	24	8	8	192	1536
<b>TOTALE</b>		Néon(24v) :231 Néon(12v) :38, LED : 64		$P_{tot} = 12072$	$E_{cj} = 70464$

Tableau 0.3:consommation journalière des équipements en courant continu 12/24V.

•La consommation journalière totale est **70464 Wh/j**.

Avec la rénovation des équipements des équipements et après avoir changé les néons simples, néon double et les lampes par des néons et LED seulement de 12V/24V en courant continu. la consommation journalière à produire est égale à 70464Wh/j.

➤ **Estimation de la puissance crête de l'installation (etape3) :**

Tenant compte de la puissance nécessaire au fonctionnement des appareils du (Tableau 5.4), on évalue la puissance crête des panneaux solaires, donnée par l'équation, comme suit :

$$P_c = \frac{E_c \times 1000}{0,6 \times I_r} = \frac{70464 \times 1000}{0,6 \times 5000} = 23488 W_c$$

D'après la puissance crêtes, en se référant au tableau (5.4), on détermine la tension de l'installation, ce qui donne :

	Courant continu
Puissance crête ( $W_c$ )	23488
Tension de l'installation U (v)	96

Tableau 0.4:Tensions des différentes installations

➤ **Dimensionnement du générateur photovoltaïque (étapes 4)**

• **Panneau solaire à utiliser**

Le panneau photovoltaïque choisis est de type mono cristallin, il développe 370w pour un rayonnement de 1000 (w/m2), les caractéristiques du panneau sont consignées dans la figure ci-dessous :

**MONOCRYSTALLINE 120 CELLS**

Model-CSM360-380	CSM360-120	CSM370-120	CSM375-120	CSM380-120
Nominal output Pmpp	360Wp	370Wp	375Wp	380Wp
Nominal voltage Vmpp	33.52V	33.92V	34.12V	34.32V
Nominal current Impp	10.76A	10.92A	11.01A	11.09A
Short circuit current Isc	11.29A	11.46A	11.54A	11.60A
Open circuit voltage Voc	40.60V	41.03V	41.20V	41.40V
Module efficiency	19.76%	20.31%	20.59%	20.86%

Electrical characteristics (at Standard Test Conditions (STC) STC:Irradiance 1000W/m , Cell temperature 25°C , AM1.5

Figure 0.3 : Caractéristiques techniques du panneau photovoltaïque à utiliser

- **Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser :**

D'après les équations le nombre de panneaux utiliser en séries et en parallèles correspond à :

- **Nombre de Panneaux totale à utiliser :**

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{puissance crête unitaire panneau}} = \frac{23488}{370} = 63,48$$

On a besoin de 64 panneaux solaires.

- **Le nombre de modules connectés en série :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} = \frac{96}{34,12} = 2,81$$

Donc on utilise 3 panneaux de (WC) connecté en série.

- **Le nombre de modules connectés en parallèles :**

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} = \frac{64}{3} = 21,33$$

On utilise un rangé 22 panneau de 370Wc connecté en parallèle.

### ➤ Estimation de parc de batterie (étape 5) :

- **Capacité des batteries :**

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} = \frac{70464 \times 4}{0,8 \times 96} = \frac{140928}{76,8} = 3670 \text{Ah}$$

Afin de stocker cette énergie, on utilise des batteries solaires pour les deux installations ayant pour tension : 12 V et une capacité ;  $C_{batterie} = 219 \text{ Ah}$

- **Nombre de batteries en séries :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} = \frac{96}{12} = 8$$

Donc en utilise 8 batteries montées en série.

- **Nombre de batterie en parallèles :**

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} = \frac{3670}{219} = 16,75Ah$$

Donc en utilise 17 batteries montées en parallèle.

Le nombre total de batteries à utiliser pour l'installation en courant continu correspond à:

- **Nombre total de batteries = NP × Ns**

$$\text{Ce qui donne : } N_t = 17 \times 8 = 136$$

### ➤ **Choix du régulateur de charge (étape 6)**

En appliquant les équations ; La régulation de charge sera dimensionnée pour l'installation de 96 V Comme suit :

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{U}$$

Avec :

$$P_{ch} = P_c \times N_p \times N_s = 370 \times 17 \times 8 = 50320 \text{ W}$$

Ce qui donne :

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{U} = \frac{50320}{96} = 524,16A$$

- On utilise un régulateur de charge de 12V/524,16A

### ➤ **Choix des câbles (étape 7) :**

- **Calcul de la section du câble à utiliser Pour l'installation en courant continu**

L'intensité optimale délivrée par un panneau solaire soit :

$$I_{max} = 11,01 \text{ A}$$

Panneaux connectés en parallèles, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{max} = 11,01 \times 22 = 242,22A$$



## Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

La chute de tension admise pour les câbles de connexion sera :

$$\Delta U = 96 \times 0,02 = 1,92 \text{ V}$$

A partir de la loi d'Ohm, on évalue la résistance de ces câbles par :

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{1,92}{242,22} = 0,00792$$

Considérant que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à la largeur des panneaux connecté en parallèles, il vient que :

Les Dimension du Module : 1755×1038×35mm

Ce qui donne :

$$L = 1,038 \times 22 = 22,83\text{m}$$

Tenant compte de l'équation, la section des câbles à utiliser se déduit par :

$$S = \frac{\rho \times L}{R} = \frac{17 \times 10^{-9} \times 22,83}{0,00792} = 49 \text{ mm}^2$$

Ce qui donne :  $S = 49 \text{ mm}^2$

		longueurs maximales des liaisons, en mètres, compatibles avec une chute de tension de 3%																				
Puissance en kW	Intensité en A	Section en mm <sup>2</sup>																				
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240						
0,5	2,3	100	165	265	395																	
1	4,6	50	84	135	200	335	530															
1,5	6,8	33	57	90	130	225	355	565														
2	9	25	43	68	100	170	265	430	595													
2,5	11,5	20	34	54	80	135	210	340	470	630												
3	13,5	17	29	45	66	110	180	285	395	520												
3,5	16	14	24	39	56	96	155	245	335	450												
4	18		21	34	49	84	135	210	295	395	580											
4,5	20		19	30	44	75	120	190	260	350	515											
5	23			27	39	68	105	170	235	315	460	630										
6	27				23	32	56	90	140	195	260	385	530									
7	32					28	48	76	120	170	225	330	460	570								
8	36						42	67	105	145	195	290	400	500	620							
9	41							38	60	94	130	175	255	355	440	550						
10	45								34	54	84	120	155	230	320	400	495	615				
12	55									45	70	98	130	190	265	330	410	510				
14	64										38	60	84	110	165	230	285	350	435	560		
16	73											53	74	99	145	200	250	305	380	500		
18	82												47	65	88	125	175	220	270	340	440	
20	91													59	79	115	160	200	245	310	400	
25	114														64	98	130	150	195	245	315	
30	136															77	105	135	165	205	265	
35	159																90	115	140	175	225	
40	182																	80	100	125	155	200
45	205																		89	110	135	175
50	227																			98	120	160
60	273																				100	140
70	318																					115

Figure 0.4 : Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant.

En ce réfèrent au Tableau (6.4) :

- La section normalisée correspond à : 49 mm<sup>2</sup>

- Les résultats du dimensionnement pour le système d'éclairage sont résumés dans le tableau suivant :

Dimensionnement		Système d'éclairage (DC)
Puissance crête à installer ( $W_c$ )		23488
Tension de l'installation (V)		96V
Nombre des modules	Totale	64
	En série	3
	En parallèle	22
Batterie	Capacité totale	3670Ah
	Nombre totale	136
	Eléments en série	8
	Eléments en parallèles	17
	Courant de sortie(A)	242,22A
Régulateur de charge	96V/524,16A	
Type de câble section (mm <sup>2</sup> ) / et longueur (m)	Cuivre 185mm <sup>2</sup> /100m	

Tableau 0.5:Résultats du dimensionnement manuel du système.

### 3.4.2 Dimensionnement solaire thermique de l'école

Une installation de production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire comporte en général 5 sous-ensembles caractérisant :

- Le captage,
- Le transfert,
- Le stockage,
- L'appoint et la distribution.

La réduction des consommations d'énergie par rapport à une installation classique dépend du climat, du lieu d'implantation des capteurs solaires, du dimensionnement et de la conception du

système, ainsi que du choix des composants et de leur maintenance. Il est donc nécessaire, lors de l'étude d'un besoin à satisfaire. [8]

### ➤ Les conditions d'installations

L'installation d'un chauffe-eau solaire doit être pensée en fonction de plusieurs paramètres

- La taille de logement
- L'exposition du logement
- Le nombre d'occupants
- La situation géographique

### ➤ Description de l'installation :

Pour connaître le taux de couverture de la production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire, il est recommandé d'effectuer un calcul par le logiciel RETScreen pour le cas d'étude de l'école supérieur en science appliquée Tlemcen Algérie [21] :

- Toit incliné à 35° par rapport à l'horizontale,
- Capteurs orientés vers le sud,
- Nombre de personnes  $P = 300$ ,
- Température eau chaude = 55°C,
- Température eau froide = 8°C

### ➤ Calcul du volume du ballon de stockage :

$$V_{st,min} = \frac{2 \times V_p \times P \times (T_{ec} - T_{ef})}{(T_{st} - T_{ef})}$$
$$V_{st,min} = \frac{2 \times 5 \times 300 \times (45 - 8)}{(55 - 8)} = 2755.31L$$

$V_p$ : Consommation journalière par personne et a 5 litres.

On recommandera dans ce cas 3 ballon de capacité de 1000 litres.

- **Calcul de l'énergie calorifique journalière nécessaire au chauffage de l'eau :**

$$E_j = V \times C_p \times \rho \times (T_{ec} - T_{ef})$$

$$E_j = 1000 \times 1.167 \times (55 - 8)$$

- **Calcul de la surface et le nombre de panneaux thermique :**

- **Calcul de la surface totale des panneaux :**

$$S_{tot} = \frac{E_j}{G_j}$$

$G_j$ : Le gisement solaire est 5kwh/jour

$$S_{tot} = \frac{54849}{5000} = 10.97 \text{ m}^2$$

- **Calcul du nombre de panneaux :**

$$N_{p.th} = \frac{10.97}{1.865} = 5.88$$

$S_u$ : Surface unitaire d'un panneau solaire thermique.

$N_{p.th}$ = 6 panneaux ; On prend capteur d'une surface de : 1.865 m<sup>2</sup>

- **Equipements de l'installation :**

Notre installation solaire thermique se compose de différentes parties :

- 6 Panneaux thermique
- Le récepteur d'énergie (ACR Solar International Fireball 2001)
- 3 Ballon de stockage
- Ballon 1000L

### 3.5 Dimensionnement avec PVSYST

#### ➤ Présentation du logiciel de simulation PVSYST

PV SYST est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles. On lance le logiciel PVSYST, l'interface suivante s'affiche :

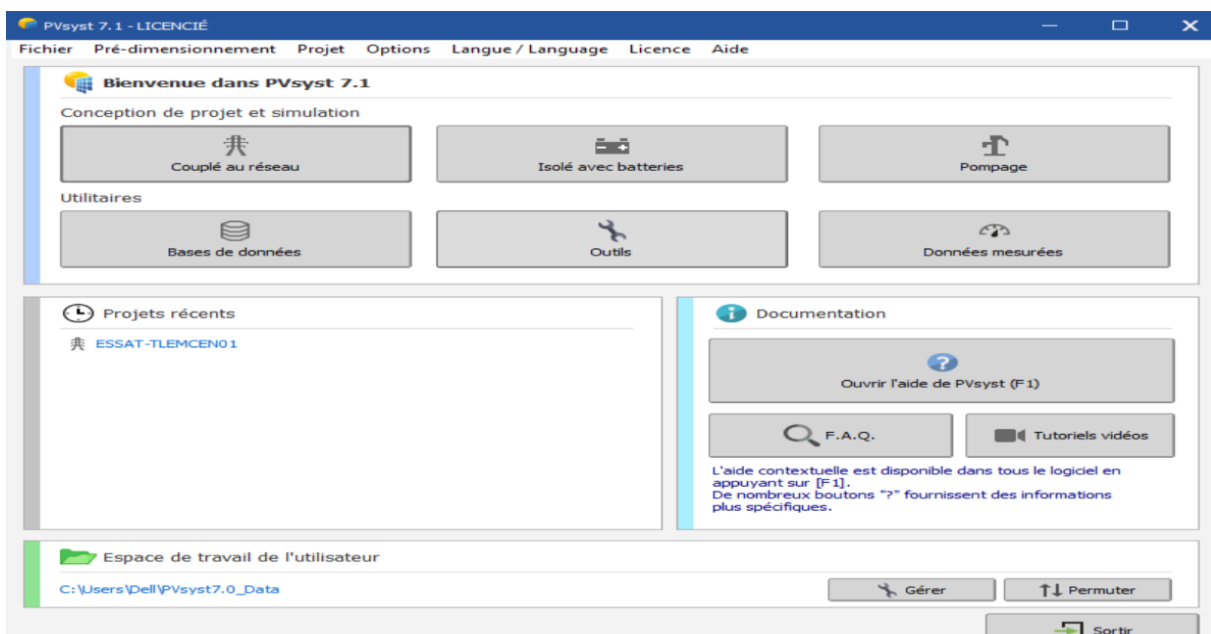


Figure 0.5:Interface de logiciel PVSYST

La simulation à base du logiciel PVSYST suit les étapes suivantes :

#### ➤ Conception et dimensionnement d'un système PV

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible,
- Choisir les modules PV dans la base de données interne,
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

### ➤ Données météorologiques du site :

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYST, ces données mensuelles représentent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent :

Source des données

	<b>Irradiation globale horizontale</b>	<b>Irradiation diffuse horizontale</b>	<b>Température</b>	<b>Vitesse du vent</b>	<b>Turbidité Linke</b>	<b>Humidité relative</b>
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C	m/s	[-]	%
Janvier	121.9	39.7	8.2	3.70	2.558	67.6
Février	151.2	59.2	9.9	3.69	2.844	63.5
Mars	204.2	73.4	13.2	4.00	3.614	58.2
Avril	241.1	93.6	14.9	4.40	3.952	56.3
Mai	282.3	99.6	19.3	4.39	4.531	51.5
Juin	323.2	95.6	24.7	4.09	5.058	43.1
Juillet	340.1	73.9	28.8	4.09	6.411	34.3
Août	307.3	69.0	28.0	4.00	5.487	39.6
Septembre	236.2	72.6	22.6	3.70	4.527	52.9
Octobre	188.0	54.0	18.9	3.60	3.751	58.6
Novembre	140.0	37.9	12.6	3.69	3.045	65.8
Décembre	112.9	32.9	9.5	4.09	2.654	70.0
<b>Année ?</b>	<b>221.1</b>	<b>66.8</b>	<b>17.5</b>	<b>4.0</b>	<b>4.036</b>	<b>55.1</b>
	Coller	Coller	Coller	Coller		

**Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.1%**

Figure 0.6:Caractéristiques climatiques du site de Tlemcen.

### ➤ Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de là sur face terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles :

- La hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu),
- Azimut AZ (angle avec la direction du Sud, compté négativement vers l'Est).

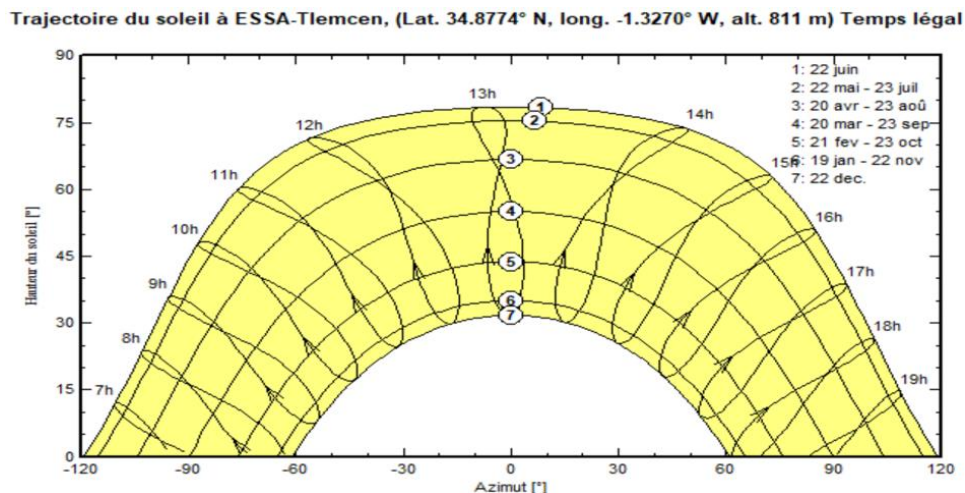


Figure 0.7:Trajectoire du soleil à Tlemcen

### ➤ Orientation des modules PV

Il est nécessaire de choisir l'orientation du module PV favorable à la production maximale d'énergie. Pour notre simulation, nous avons choisi plan incliné fixe, d'une inclinaison de  $35^\circ$  par rapport à l'horizontale (voir la figure 53.4) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST pendant tout l'année :

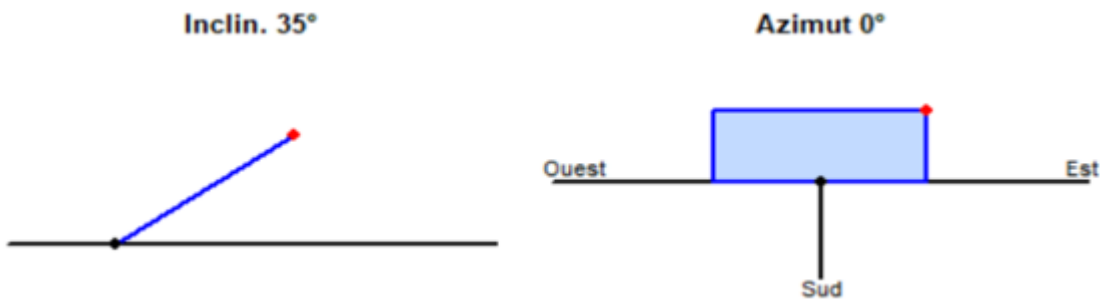


Figure 0.8:Orientation et inclinaison du système PV

### ➤ Schéma de l'installation PV :

L'installation étant autonome, la présence d'un système de stockage est indispensable afin de pouvoir satisfaire à tout moment les besoins du consommateur.

Configuration typique d'un système isolé

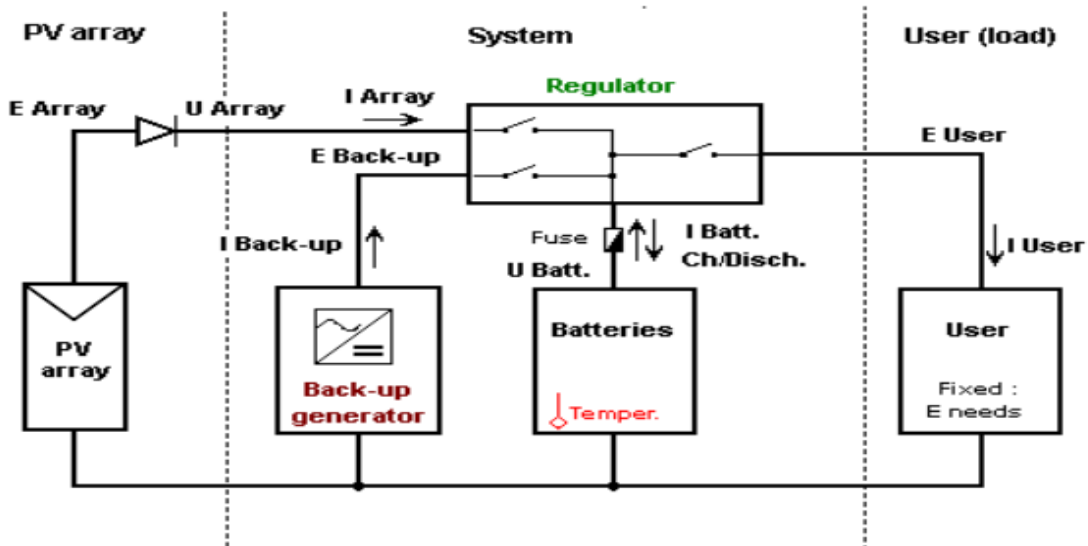


Figure 0.9:Schéma simplifié du système autonome.

Pour dimensionner les équipements du système, on a besoin de définir les besoins de l'utilisateur, on a choisi une consommation constante pour avoir la même puissance crête calculé. Comme représenté sur la figure :

**Consommation constante fixée**

Consommation fixée   kW  
 kWh/an  
 MWh/an

---

**Info système : Champ PV défini**

Puissance PV nominale **23.7** kWc  
 Production système estimée **36.9** MWh/an  
 PNomPV / PUser moyen **5.63** Rapport Pnom

Figure 0.10:représente besoin l'énergie quotidienne.



## 3.5.1 Simulation des équipements énergétiques

### ➤ Batteries :

**Définissez le pack de batteries**

Trier les batteries selon  tension  capacité  fabricant

Electrona 12 V 219 Ah Pb Open Start 3014 - Starting

Toutes les techno.

8  batteries en série

17  batteries en parallèle

100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)

100.0 % Etat d'usure initial (statique)

Nombre de batteries **136**

Nombre d'éléments **816**

Energie totale stockée durant la vie de la batterie **79 MWh**

Tension du pack batteries **96 V**

Capacité globale **3723 Ah**

Energie stockée (80 % DOD) **286 kWh**

Poids total **12512 kg**

Nbre de cycles à 80 % DOD **250**

Figure 0.11: Dimensionnement des batteries.

On a choisi une batterie Electrona de type Pb-acide 12V/219Ah sous une température fixe 20C° pour l'école.

- Branchement des batteries :

08 batteries en série.

17 batteries en parallèle.

### ➤ Modules PV

**Nombre de modules et chaînes**

Mod. en série 4  Pas de contrainte

Nb. chaînes 16  entre 13 et 20

Nbre modules **64** Surface **120 m<sup>2</sup>**

**Sélection du module PV**

Disponibles Tri modules par  Puissance  Technologie

Generic 370 Wp 29V Si-mono Mono 370 Wp Twin 120+ Depuis 2020 Typical

Dimens. des tensions :  $V_{mpp}(60^{\circ}C)$  **29.5 V**

$V_{oc}(-10^{\circ}C)$  **45.8 V**

Figure 0.12: Dimensionnement du module PV.

Comme illustré sur la figure (3.13), le champ PV sera constitué de 6 modules de 370W/26V (technologie mono cristallin) répartis sur une surface de 120 m<sup>2</sup>, comme suit :

- Branchement de PPV :

04 modules en série. ; 16 modules en parallèle.

## 3.5.2 Rapport de simulation

### ➤ Paramètre de simulation

Project summary			
<b>Geographical Site</b>		<b>Situation</b>	
ESSA-Tlemcen		Latitude	34.88 °N
Algeria		Longitude	-1.33 °W
		Altitude	811 m
		Time zone	UTC+1
<b>Meteo data</b>		<b>Project settings</b>	
ESSA-Tlemcen		Albedo	0.20
Meteonorm 7.3 (1996-2010), Sat=100 % - Synthétique			

System summary			
<b>Stand alone system</b>		<b>Stand alone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>User's needs</b>	
Fixed plane		Fixed constant load	
Tilt/Azimuth	35 / 0 °	4250 W	
		Global	
		37.2 MWh/Year	
<b>System information</b>		<b>Battery pack</b>	
<b>PV Array</b>		Technology	Lead-acid, vented, vehicle starting
Nb. of modules	64 units	Nb. of units	136 units
Pnom total	23.68 kWp	Voltage	96 V
		Capacity	3723 Ah

Figure 0.13: Paramètres de simulation

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Electrona
Model	Mono 370 Wp Twin 120 half-cells	Model	3Q14 - Starting
(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power	370 Wp	Technology	Lead-acid, vented, vehicle starting
Number of PV modules	64 units	Nb. of units	17 in parallel x 8 in series
Nominal (STC)	23.68 kWp	Discharging min. SOC	20.0 %
Modules	16 Strings x 4 In series	Stored energy	285.9 kWh
<b>At operating cond. (50°C)</b>		<b>Battery Pack Characteristics</b>	
Pmpp	21.51 kWp	Voltage	96 V
U mpp	124 V	Nominal Capacity	3723 Ah (C10)
I mpp	174 A	Temperature	Fixed 20 °C
<b>Controller</b>		<b>Battery Management control</b>	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	DC-DC converter	Charging	SOC = 0.92 / 0.75
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem	approx.	106.5 / 99.1 V
<b>Converter</b>		Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %	approx.	93.3 / 96.5 V
DC Input voltage	0.0 V		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	24 kWp		
Total	64 modules		
Module area	120 m²		
Cell area	106 m²		

Figure 0.14: Paramètres de simulation

# Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

## ➤ Résultats principaux

<b>System Production</b>			
Available Energy	41685 kWh/year	Specific production	1760 kWh/kWp/year
Used Energy	36145 kWh/year	Performance Ratio PR	68.92 %
Excess (unused)	4140 kWh/year	Solar Fraction SF	97.09 %
<b>Loss of Load</b>		<b>Battery aging (State of Wear)</b>	
Time Fraction	2.9 %	Cycles SOW	84.3 %
Missing Energy	1085 kWh/year	Static SOW	80.0 %
		Battery lifetime	5.0 years

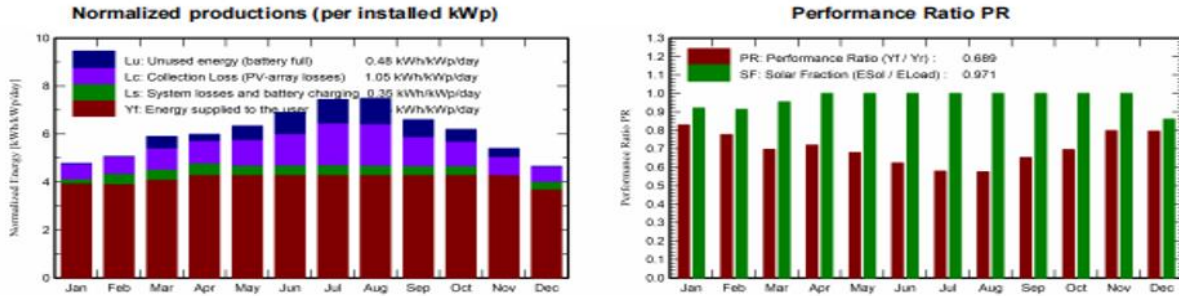


Figure 0.15: résultats principaux.

## ➤ Diagramme des pertes

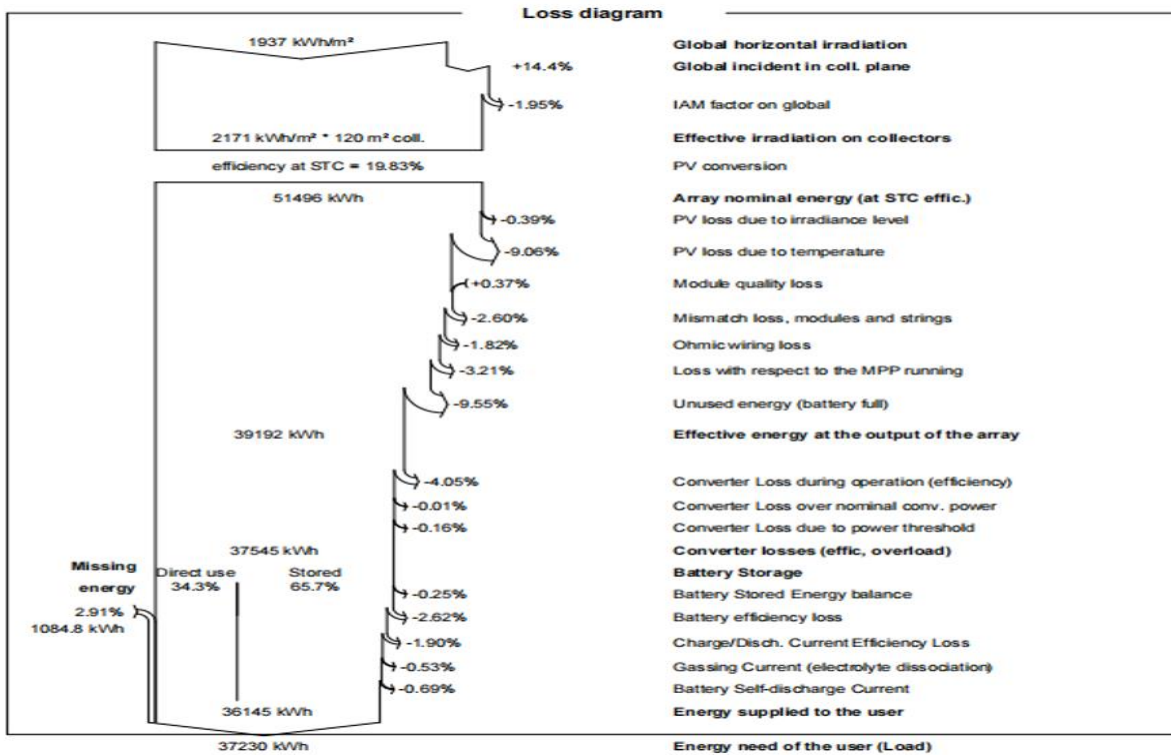


Figure 0.16: Diagramme des pertes

On déterminera ici les pertes du système :

- Les pertes thermiques, dues notamment à la température du module,
- Les pertes ohmiques dues à la résistance des câbles,
- Les pertes dues aux incertitudes et aux erreurs et enfin
- Les pertes dues à la vitre de protection du module

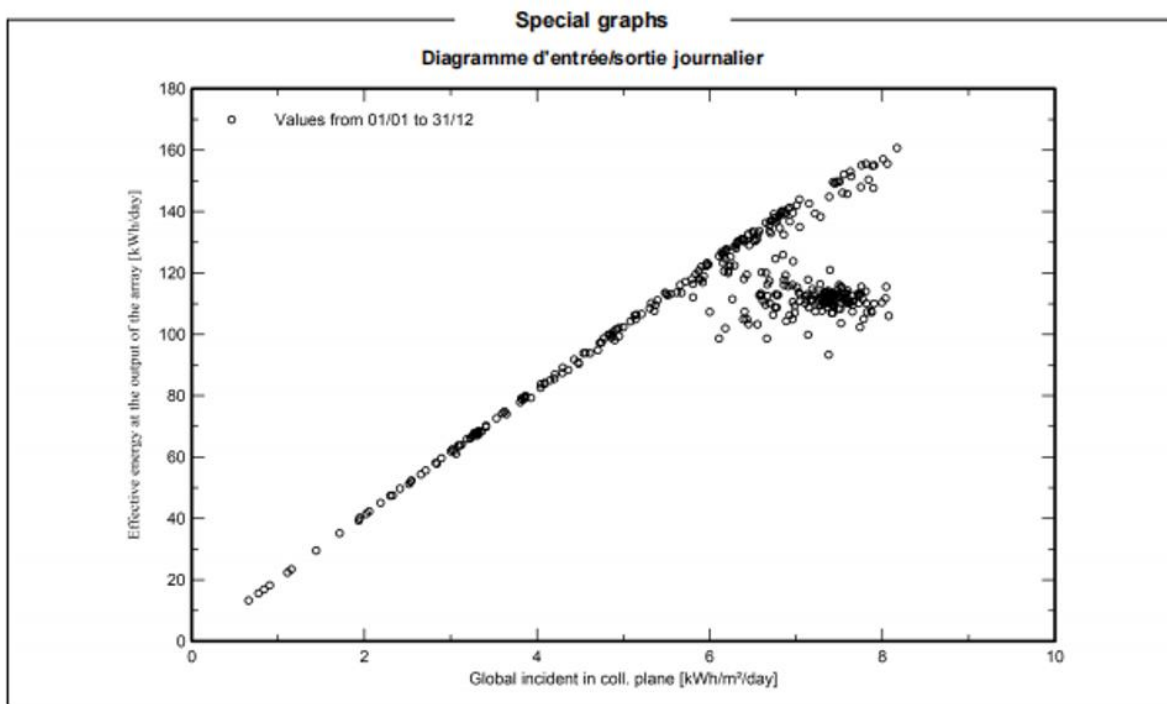


Figure 0.17: Diagramme d'entrée/sortie journalier du système PV.

### ➤ Comparaison entre la méthode utilisée et la simulation

Suite aux résultats obtenus par calcul et simulation numérique de logiciel PVSYST, nous résumons dans le tableau ci-dessus :

	SYSTEME	
	$N_{ppv}$	$N_{batterie}$
CALCUL	64	136
SIMULATION	64	136

Tableau 0.6: comparaison entre la méthode du calcul et celle de simulation.

### 3.6 Dimensionnement avec RETScreen

#### ➤ Présentation du logiciel RETScreen

RETScreen® International est un logiciel d'analyse de projets d'énergies propres, destiné aux professionnels et aux étudiants universitaires, cet outil aide à déterminer rapidement et à peu de frais si un projet d'énergie renouvelable, d'efficacité énergétique et de cogénération est financièrement et techniquement viable. [21]

RETScreen est offert par le gouvernement du Canada par le Laboratoire de recherche en diversification énergétique du CANADA (LRDEC). On cherche à déterminer la chaleur nécessaire pour chauffer l'eau chaude sanitaire. Pour cela on construit un programme dont l'organigramme simplifié est donné ci-dessous [21] :

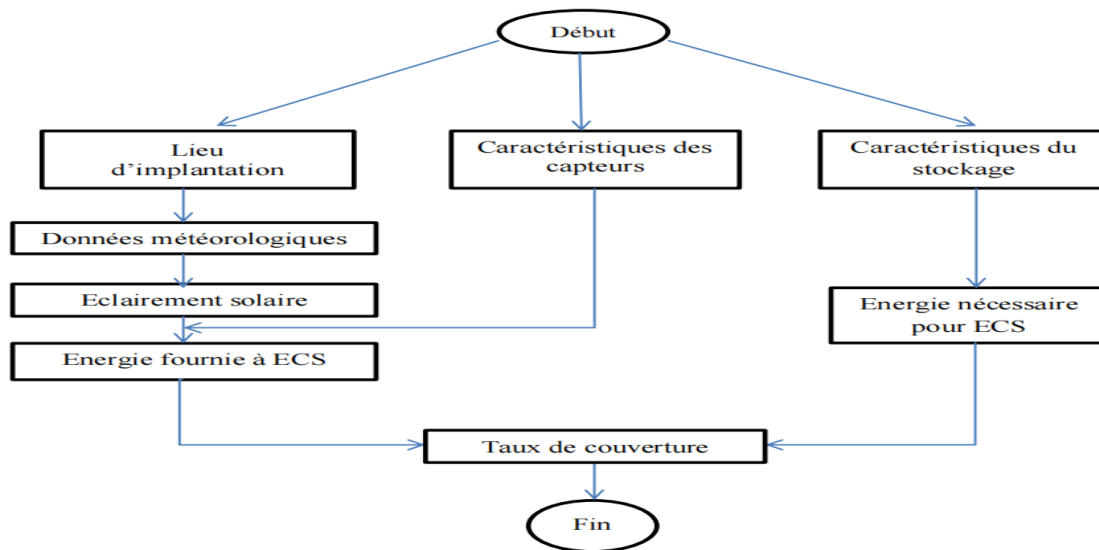


Figure 0.18:l'organigramme pour chauffer l'eau chaude sanitaire

Au vu des conditions météorologiques, les estimations selon l'organigramme sont d'une précision suffisante pour la pratique. Pour connaître le taux de couverture de la production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire, il est recommandé d'effectuer un calcul à l'aide du logiciel RETScreen incluant les habitudes des utilisateurs. [21]

## Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

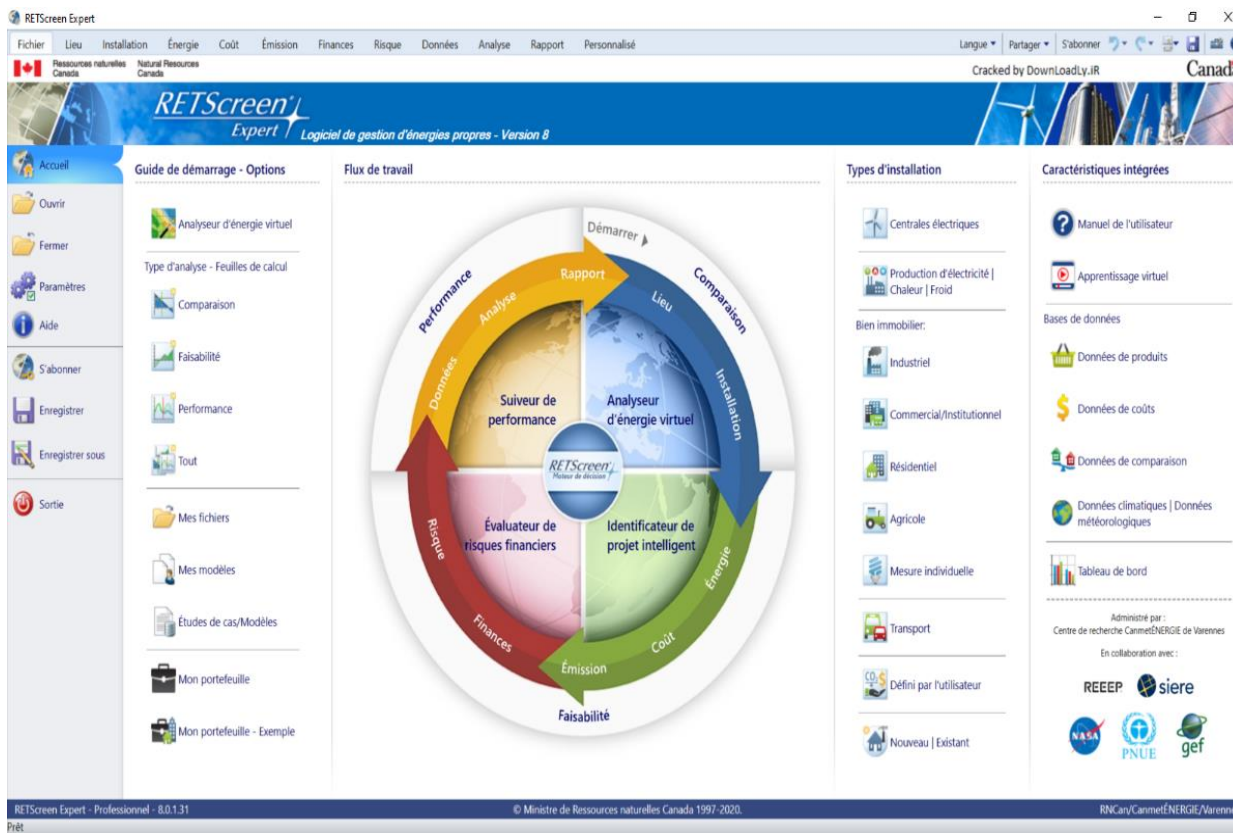


Figure 0.19: Interface du logiciel.

### 3.6.1 Simulation par le logiciel RETScreen

Le modèle Chauffage solaire de l'eau de RETScreen<sup>®</sup> International peut être utilisé partout à travers le monde pour évaluer la production d'énergie, la viabilité financière et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre pour trois applications de chauffage : eau domestique, procédés industriels et piscine, allant des petits systèmes résidentiels aux larges systèmes commerciaux, institutionnels et industriels.




## Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

Pays: Algérie  
 Province/État: n/d  
 Lieu des données climatiques: Tlemcen/Zenata [Voir carte](#)

Latitude: 35,0 °N  
 Longitude: -1,5 °E  
 Zone climatique: 3A Tiède - Humide  
 Élévation: 247 m  
 Température extérieure de calcul de chauffage: 3,2 °C  
 Température extérieure de calcul de climatisation: 34,1 °C  
 Amplitude des températures du sol: 13,3 °C

Source: Sol+NASA, Sol, Sol, NASA



Mois	Température de l'air	Humidité relative	Précipitation	Rayonnement solaire quotidien - horizontal	Pression atmosphérique	Vitesse du vent	Température du sol	Degrés-jours de chauffage 18 °C	Degrés-jours de climatisation 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /j	kPa	m/s	°C	°C-j	°C-j
Janvier	10,2	73,5%	57,66	2,98	98,0	1,9	11,1	242	6
Février	11,2	73,9%	50,12	3,92	97,9	2,0	12,0	190	34
Mars	13,4	72,0%	54,87	5,14	97,7	2,0	14,1	143	105
Avril	15,3	66,8%	45,30	6,56	97,4	2,4	16,4	81	159
Mai	18,4	65,7%	38,13	7,15	97,4	2,4	19,7	0	260
Juin	22,4	61,6%	10,80	7,65	97,5	2,5	24,0	0	372
Juillet	25,6	58,2%	4,34	7,57	97,5	2,4	27,6	0	484
Août	26,1	59,2%	8,99	6,89	97,5	2,3	28,2	0	499
Septembre	23,1	64,9%	30,60	5,75	97,6	2,1	24,5	0	393
Octobre	19,2	69,6%	45,26	4,29	97,6	1,9	20,2	0	285
Novembre	14,8	71,7%	70,80	3,14	97,7	2,1	15,3	96	144
Décembre	11,6	73,9%	48,05	2,65	97,9	2,1	12,3	198	50
<b>Annuel</b>	<b>17,6</b>	<b>67,5%</b>	<b>464,92</b>	<b>5,31</b>	<b>97,6</b>	<b>2,2</b>	<b>18,8</b>	<b>950</b>	<b>2 791</b>
Source	Sol	Sol	NASA	NASA	NASA	Sol	NASA	Sol	Sol
Mesuré à						10	0		

Figure 0.20: les données climatiques pour le site de Tlemcen –Algérie

Surface brute par capteur solaire: 1,865 m<sup>2</sup>  
 Surface de captage par capteur solaire: 1,72 m<sup>2</sup>  
 Coefficient Fr (tau alpha): 0,604  
 Coefficient Fr UL: 3,73 (W/m<sup>2</sup>)/°C  
 Coefficient de température de Fr UL: 0 (W/m<sup>2</sup>)/°C<sup>2</sup>  
 Source: SRCC 100-2001-002A

Figure 0.21: capteur solaire choisie.

## Chapitre III : Application dimensionnement d'installation photovoltaïque/Thermique

Chauffe-eau solaire

**Caractéristiques de la charge**

Eau chaude + - Eau chaude ESSA-Tlemcen ▾

Température °C ▾ 55

Chaleur kWh ▾ 15 906

**Évaluation des ressources**

Système de positionnement solaire Fixe ▾

Inclinaison ° 35

Azimut ° 0

⌵ **Afficher information**

**Chauffe-eau solaire**

Type À vitrage ▾

Fabricant ACR Solar International

Modèle Fireball Fireball 2001

Surface brute par capteur solaire m<sup>2</sup> ▾ 1,865

Surface de captage par capteur solaire m<sup>2</sup> 1,72

Coefficient Fr (tau alpha) 0,604

Coefficient Fr UL (W/m<sup>2</sup>)/°C ▾ 3,73

Coefficient de température de Fr UL (W/m<sup>2</sup>)/°C<sup>2</sup> ▾ 0

Nombre de capteurs - suggéré 7

Nombre de capteurs 9

Surface du capteur solaire m<sup>2</sup> 16,8

Capacité kW 10,8

Pertes diverses % 2%

**Infrastructures connexes et divers**

Stockage oui/non Oui ▾

Volume de stockage / surface du capteur solaire L/m<sup>2</sup> ▾ 180

Volume de stockage L 2 786

Échangeur de chaleur oui/non Oui ▾

Efficacité de l'échangeur de chaleur % 80%

Pertes diverses % 6%

Puissance de pompe / surface du capteur solaire W/m<sup>2</sup> ▾ 6

Prix de l'électricité €/kWh 0,05

Coûts d'investissement € ▾ 21 311

Coûts d'exploitation et entretien (économies) €

**Sommaire**

Électricité - pompe kWh ▾ 209

Énergie économisée kWh ▾ 11 664

Taux de recouvrement de la charge % 73,3%

Figure 0.22 : résultat obtenu de simulation avec RETScreen



### 3.6.2 Interprétation des résultats

Le système solaire est dimensionné par des capteurs plans à vitrage parce que leur coût est modéré ainsi qu'il peut opérer à la pression d'eau de la ville. On simule le cas de l'école pour une température d'entrée d'eau froide définie par l'utilisateur ( $T_{ef} = 8^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$ ) et la température d'eau chaude est égale à ( $T_{ec} = 55^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ ).

Les résultats des calculs pour notre cas, Ils ont été obtenus à l'aide de logiciel RETScreen, le logiciel calcule la surface de capteurs nécessaire selon des paramètres individuels au choix, simule le comportement de l'installation et donne des informations sur le taux de couverture solaire, et les économies de combustible.

Dimensionnement	Calcule manuel	Simulation avec RETScreen
Choix du capteur	ACR Solar International Fireball Fireball 2001	ACR Solar International Fireball Fireball 2001
Nombre de capteur	6	7
Surface de captage [ $m^2$ ]	1.865	1.865
Volume de stockage	2755.31L	2786 L
Volume de stockage par surface de capteur	---	180

Tableau 0.7: Résultats de simulation avec la méthode manuelle et avec l'utilisation de RETScreen

## 3.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude de dimensionnement pour l'alimentation de l'école supérieur de Tlemcen par l'énergie solaire (photovoltaïque et thermique) à l'aide de deux méthodes, dans la première on a fait un dimensionnement manuel calculé la taille et le nombre du générateur photovoltaïque, le nombre de batteries du système de stockage et pour thermique on a déterminé le volume de la cuve et la taille du capteur solaire.

Le logiciel PVsyst donne un dimensionnement du système photovoltaïque avec une prise en compte de tous les aspects : pertes, emplacement géographique, ...etc., Les résultats obtenus par le dimensionnement manuel et par logiciel PVsyst sont les mêmes.

La deuxième méthode consiste à dimensionner le système thermique par le logiciel RETscreen.

# Conclusion

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie.

Aujourd'hui, Il faut absolument intégrer l'efficacité énergétique dans toute sa dimension dans la conception des maisons, développer de nouveaux matériaux contribuant à l'efficacité énergétique pour un développement durable. Pour cela, il est nécessaire pour l'Algérie de développer une stratégie nationale d'efficacité énergétique dans le bâtiment, non seulement pour préserver les ressources énergétiques mais aussi pour assurer une rentabilité économique des projets. Selon lui, l'enjeu de l'efficacité énergétique pour l'Algérie n'est pas uniquement environnemental mais aussi économique : une réduction de la consommation de l'énergie permettrait au pays de réduire les dépenses en énergie.

La modeste recherche que nous avons élaborée avait pour objectifs de fournir des principes directeurs de conception architecturale et constructive en vue des exigences du confort, tenant compte de la corrélation entre les caractéristiques climatiques en réponse à la performance thermique et économique des bâtiments en Algérie. Dans le cas de projets de construction, la simulation numérique est le meilleur moyen d'anticiper l'ambiance thermique du bâtiment. Les résultats obtenus ont montré que l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques. Ils constitueront en effet une barrière aux échanges thermiques. L'isolant est disposé à l'extérieur de la paroi et les avantages majeurs sont la réduction des ponts thermiques et les surfaces intérieures restent inchangées. Ainsi une bonne isolation thermique nous permet d'avoir un gain d'énergie pour l'état et pour le citoyen (électrique et gaz) ... L'isolation thermique permet à la fois de réduire nos consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître notre confort. Mais ce n'est pas tout : l'isolation est également

bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières.

L'efficacité énergétique est importante dans les nouveaux bâtiments. Un projet de nouveau bâtiment est l'occasion idéale de mettre l'accent, dès le départ, sur l'efficacité énergétique. Les nouvelles constructions offrent de nombreuses occasions d'intégrer des mesures d'efficacité énergétique comparativement aux bâtiments déjà construits. L'amélioration éco énergétique, comme l'isolation des murs, est souvent très coûteuse dans les bâtiments existants, mais ne l'est pas dans le cas des nouvelles constructions.

# Bibliographie

[1] : TOUIL Abdessalam et MERGHACHE Souad, «AU SUJET DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE-VERS DES BÂTIMENTS MOINS ÉNERGIVORES », Mémoire DE MASTER EN GENIE CIVIL, UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM 2016.

[2] : Yves. Robillard, 2011

[3] : Melle. ATMANIA Hanane «la stratégie d'implantation des énergies renouvelables en Algérie cas de la photovoltaïque », MEMOIR DE MAGISTER EN MANAGEENT, université d'oran-2- Mohamed ben Ahmed 2015.

[4] : Mr. BOURSAS Abderrahmane « ETUDE DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE D'UN BATIMENT D'HABITATION A L'AIDE D'UN LOGICIEL DE SIMULATION », MEMOIRE DE MAGISTERE En génie climatique Université Constantine 1

[5]: ANTONIO NESTICO «A Model for the Economic Evaluation of Energetic Requalification Projects in Buildings. A Real Case Application», University of Salerno, Department of Civil Engineering Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 Fisciano (SA) – Italy 2016.

[6]: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD): Sustainable Development: Critical Issues, Paris (2001).

[7] : Mekki ADDOU et Abderrahim BEDDIAF, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation d'une ferme », MEMOIRE de MASTER ACADEMIQUE, Université Abou BekrBelkaïd, Tlemcen, 2016

[8] : BOUHAFS Rokia et ZAIM Imane « Etude Technico-économique d'une installation énergétique à base de panneaux Photovoltaïque /thermique », MÉMOIRE DE MASTER EN ELECTROTECHNIQUE 2020.

[9] : Yves JANNOT Mars 2011

[10] : ANNE LABOURET, PASCAL CUMUNEL, JEAN-PAUL BRAUN and BENJAMIN FARAGGI « Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque », 5e édition

[11] : M. BOUKLI-HACENE Omar, « Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour meilleur gestion énergétique » Magister en Automatique

- [12] : Melle AMARA Karima, « Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension », MEMOIRE DE MAGISTER 2015,
- [13] : OUABDELKADER Katia et MERSEL Houria « Modélisation et Contrôle d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau », MÉMOIRE DE MASTER EN ELECTROTECHNIQUE 2015.
- [14] : KHECHAFI Sofiane et BENLAACHI Salah « Calcul et dimensionnement électrique d'un mini central photovoltaïque autonome », Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur 2019,
- [15] : solar electricity handbook 2017
- [16] : DJILAT Zahra et BOURAS Sarra, « Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila FACULTE DES SCIENCES », mémoire de master en physique 2019
- [17] : M MRABET MOHAMMED NADHIR, « Calcul et dimensionnement d'un capteur solaire plan à eau pour les besoins en chauffage des habitats », mémoire de master en Génie mécanique 2016/2017
- [18]: Install your own solar panels designing and installing a photovoltaic system to power your home.
- [19] : Analyse de projets de chauffage solaire de l'eau "RETscreen".
- [20] : Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque Proposé par : M. R. NEBBALI
- [21] : GUECHI NADIR, « Etude par simulations avec "RETScreen" d'un système de captage solaire à conversion thermique ». Mémoire de master en physique 2013
- [22] : Etude des performances d'un chauffe-eau solaire individuel installé à Oran CDER,
- [23] : ABDELLAHIM, ASMA Etude théorique et dimensionnement d'un chauffe-eau solaire. Théorique et dimensionnement.

## SITE INTERNET

- [24] : site web <https://www.climamaison.com/lexique/efficacite-energetique.htm>
- [25]: Site web: [//www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org) ›.
- [26] : Madame Gro Harlem Brundtland, Premier Ministre Norvégien, France (1987).
- [27] : site web [//www.helenechebroux.com](http://www.helenechebroux.com) ›
- [28] : APRUE. 2007. Consommation Energétique Finale de l'Algérie, Chiffres clés Année 2005. [PDF] ALGER : APRUE, 2007
- [29] : ENERDATA 2012. [En ligne] Global Energy Intelligence, 2012. [Citation : 25 11 2012.]  
<http://www.enerdata.net/>
- [30] : MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES.  
[https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies renouvelables-et-efficacité-énergétique](https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies_renewables-et-efficacite-energetique)
- [31] : <https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/thermique-fonctionne-chauffe-eau-solaire-3160/>
- [32] : <https://www.landes.fr/files/cg40/environnement/Guide-ST.pdf>
- [33] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil\\_principal](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil_principal)
- [34] : <https://www.climamaison.com/lexique/chauffe-eau-solaire.htm>
- [35] : <http://www.cotentin-energies.fr/les-chauffe-eaux/>