

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*  
*Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou*  
*Faculté du génie de la construction*  
*Département de Génie mécanique*



# Mémoire de fin d'études

*En vue d'obtention du diplôme de master professionnel en énergétique*

*Spécialité : énergie renouvelable*

## THEME

*Etude du réfrigérateur solaire RS218 à compression de vapeur*



Proposé par : Mr. HAMMAD.S

Etudié par: Mr. OULD YAHIA Sofiane  
Mr. OUNNAR Aziz

Dirigé par : Mr. MOHELLEBI.H

Promotion 2013/2014

# Remerciements

*En premier lieu, nous remercions*

*Dieu le tout puissant.*

*En second, nos chers parents de nous avoir aidé pour arriver au terme de ce travail qui est le fruit de plusieurs années d'études.*

*Nos remerciements les plus sincères pour notre promoteur qui représente pour nous le guide et l'exemple du sérieux dans le travail et du savoir dans ce domaine.*

*Nos remercions Mr ; sais HAMMAD, et Mr OUMZAOUCH et tous les membres du département technique de l'unité froid de l'ENIEM, pour leur aide et pour leur collaboration et leur soutien indéfectible durant notre stage.*

*Nous remercions tous ceux qui ont contribué à notre formation ainsi tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail, sans oublier le Personnel de la bibliothèque.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.*

# **dédicace**

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :*

*A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et leur précieux aide morale et financière dont ils ont fait preuve pour que je réussisse, que Dieu les protège et les entoure de sa bénédiction ;*

*MES frères , Mes sœurs, MES Neveux , Votre soutien sans réserve et vos encouragements m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuve. Que Dieu garde notre fraternité pour toujours ;*

*A ma grande famille, oncles, tantes, cousins et cousines*

*A tous mes amis sans exception.*

*A la promotion d'ENERGETIQUE 2013/2014.*

*Aziz*

*Merci*

# **dédicace**

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :*

*A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et leur précieux aide morale et financière dont ils ont fait preuve pour que je réussisse, que Dieu les protège et les entoure de sa bénédiction ;*

*Mon frères ,sa femme ainsi que Mes sœurs, Votre soutien sans réserve et vos encouragements m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuve. Que Dieu garde notre fraternité pour toujours ;*

*A ma grande famille, oncles, tantes, cousins et cousines*

*A tous mes amis sans exception.*

*A tous les anciens de oued aissi.*

*A la promotion d'ENERGETIQUE 2013/2014.*

**SOFIANE**

*Merci*

## **PRESENTATION DE L'ENTREPRISE**

### **I) Historique :**

L'entreprise Nationale des industries de l'électroménager (ENIEM) est issue de la restructuration organique de la SONELEC (société nationale de fabrication et de montage et de commercialisation des produits électroménagers) et disposait à sa création de :

Un Complexe d'Appareils Ménagers (CAM) de TIZI OUZOU, entrée en production en juin 1977.

Unité Lampes de Mohammadia (ULM), entrée en production en février 1979.

En 1989, l'entreprise ENIEM est devenue une société par actions au capital de 40.000.000DA.

Avec un capital social de 2.957.500.000 DA, détenu en totalité par la société de gestion de participation «Industries Electrodomestique» (INDELEC). Son siège social est à TIZI OUZOU. Ses unités de production issues de l'ex CAM sont implantées au niveau de la zone industrielle «Aissat idir». Son unité commerciale est située également à la zone industrielle «Aissat Idir». Sa filiale lampes est implantée à Mohammadia.

Le champ d'activité de l'entreprise ENIEM consiste en la conception, la fabrication et la commercialisation des produits électroménagers, ainsi que la prise en charge de la fonction service après vente.

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

La direction générale (DG).

L'unité froid (UF).

L'unité cuisson (UCuis).

L'unité climatisation (UCL).

L'unité prestation technique (UPT).

L'unité commerciale (UC).

L'unité sanitaire (US).

La filiale FILAMP

L'effectif de l'entreprise (hors FILAMP et l'unité sanitaire) est de 2830 agents au 31 décembre 2013

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production, ces produits sont

- Les réfrigérateurs petit et grand modèle (RPM et RGM).
- Le congélateur vertical.
- Le combiné.
- Cuisinières a 4 et a 5 feux.
- Climatiseurs type fenêtre et split-système et chauffe bain

Ces produits sont destinés au grand public et la distribution se fait par des agents agréés dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale (Département vente).

## **II. principales missions et activités de l'entreprise :**

### **a) Direction générale:**

La direction générale est responsable de la stratégie et du développement de l'entreprise. Elle exerce son autorité hiérarchique et fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités.

### **b) Unité froid :**

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits froids domestiques. Ses activités sont:

- Transformation des tôles,
- Traitement et revêtement de surface (peinture, plastification),
- Injection plastique et polystyrene,
- Fabrication de pièces métalliques,
- Isolation,
- Thermoformage,
- Assemblage.

### **c) Unité cuisson:**

La mission principale de l'unité est de produire et développer la cuisson à gaz électrique ou mixte et tout produit de technologie similaire. Ses activités sont :

- Transformation de la tôle.
- Traitement et revêtement de surface (Zingage, Chromage).
- Assemblage.

### **d) Unité climatiseur:**

La mission globale de l'unité est de développer les produits de climatisation. Ses activités sont:

- Transformation.
- Traitement et revêtement de surface (peinture).
- Assemblage.

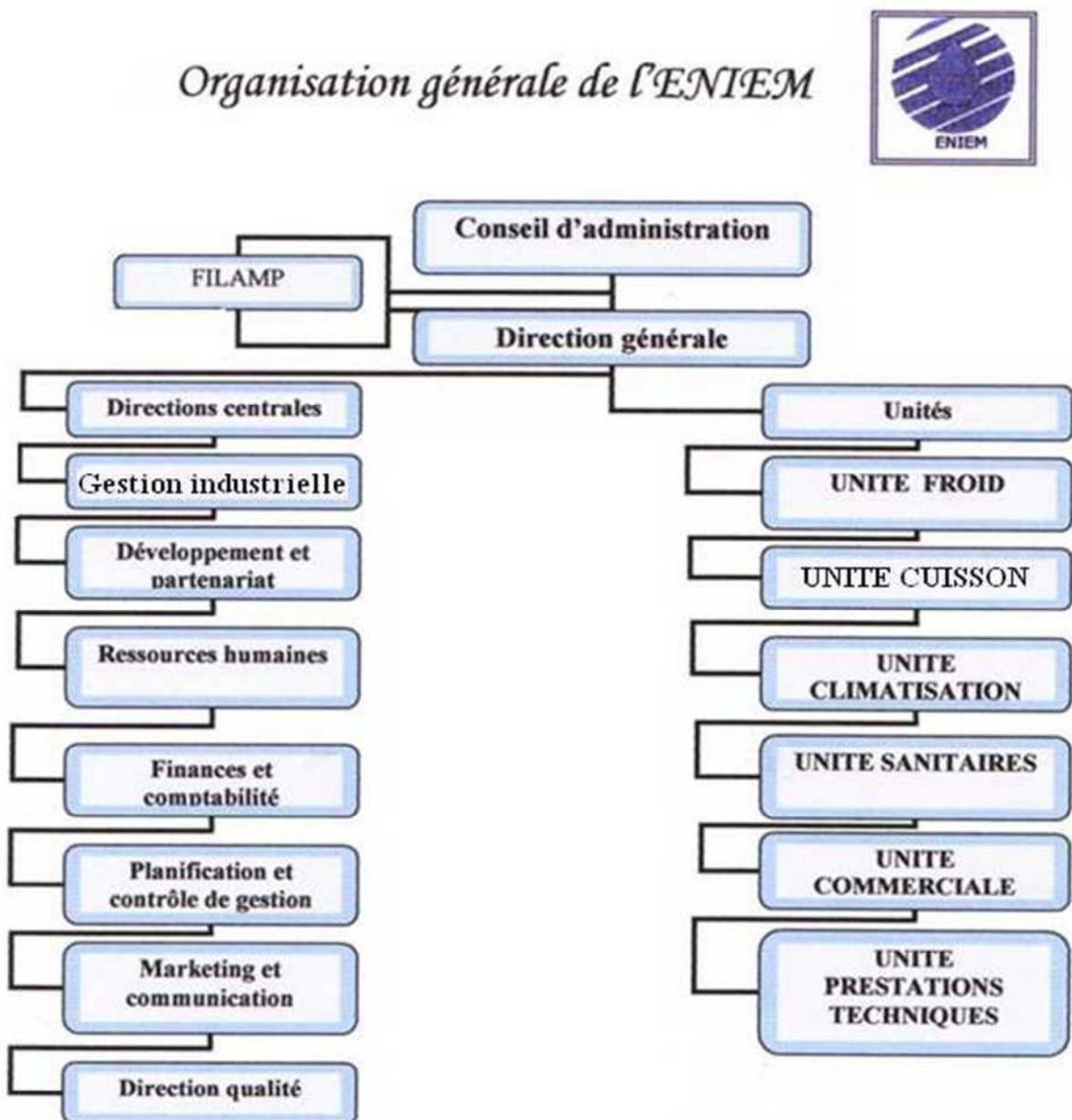
### e) Unité sanitaire :

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (baignoires, lavabos ...).

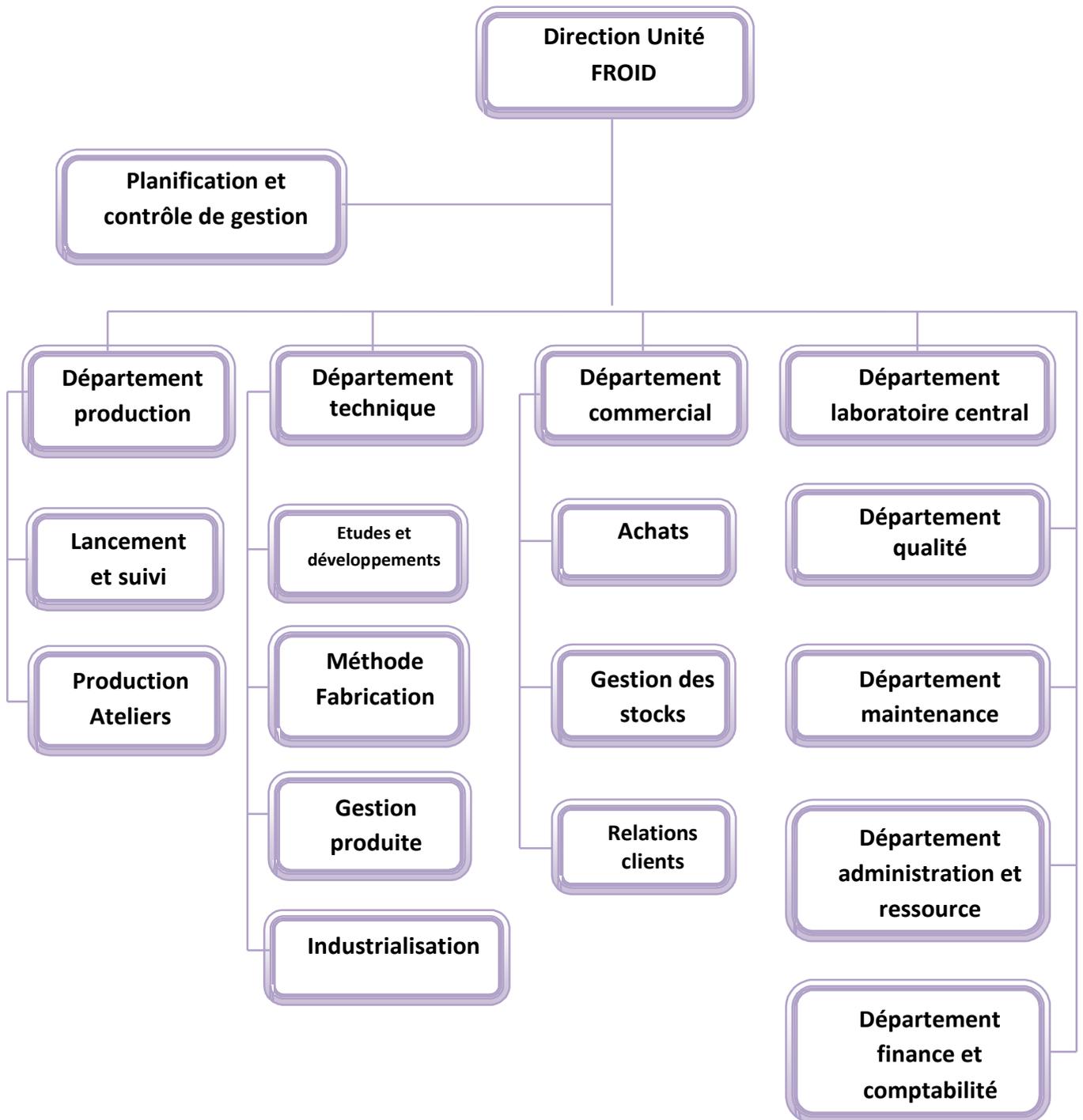
### f) Filiale Filamp :

L'Unité Lampes de Mohammadia (ULM) qui a démarré en février 1979 pour fabriquer des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs est devenue filiale à 100% ENIEM le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée «FILAMP».



*Fig.A: Organigramme de l'entreprise.*

## Organigramme de l'unité froid



*Fig.B : Organigramme de l'unité froid.*

## Liste des figures

**Figure (I.1) :** schéma de principe d'une machine frigorifique

**Figure (I.2) :** cycle ditherme et tritherme

**Figure(I.3) :** système à absorption

**Figure(I.4) :** système à éjection

**Figure (I.5) :** système à adsorption

**Figure (I.6) :** système à compression de vapeur

**Figure(I.7) :** cycle frigorifique élémentaire

**Figure(I.8) :** cycle théorique d'une machine frigorifique

**Figure(I.9) :** cycle réel d'une machine frigorifique

**Figure (II-1) :** coordonnées géographiques

**Figure(II.2) :** Variation annuelle de la déclinaison du soleil.

**Figure (II.3) :** variation de l'angle horaire en fonction de temps solaire vrai

**Figure (II.4) :** Repère horizontal

**Figure(II.5) :** Spectre de rayonnement du soleil et raies d'absorption par l'atmosphère

**Figure(II.6) :** le rayonnement solaire et le nombre d'air masse

**Figure(II.7) :** Schéma indiquant le nombre d'air masse  $AM_x$  en fonction de la position géographique

**Figure(II.8) :** composition du rayonnement solaire au sol

**Figure(II.9) :** semi conducteur dopé n

**Figure(II.10) :** semi conducteur dopé p

**Figure(II.11) :** Diagramme des bandes d'énergie des semi-conducteurs

**Figure(II.12) :** jonction PN

**Figure(II.13) :** une cellule en silicium monocristallin

**Figure(II.14) :** une cellule en silicium multi-cristallin

**Figure(II.15) :** Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe).

**Figure(II.16) :** cellule organique

**Figure(II.17) :** Caractéristiques résultantes d'un groupement de  $N_s$  cellules en série.

**Figure(II.18) :** Caractéristiques résultantes d'un groupement de  $N_s$  cellules en série

**Figure(II.19) :** la variation du courant  $I$  en fonction de la tension  $V$  aux bornes de la cellule.

**Figure(II.20)** : puissance maximale sur une caractéristique courant-tension.

**Figure(II.21)** : Evolution de la caractéristique  $I(V)$  (a) et  $P(V)$  (b) en fonction de l'irradiation.

**Figure(II.22)** : Evolution de la caractéristique  $I(V)$  (a) et  $P(V)$  (b) en fonction de la température.

**Figure(II.23)** : régulateur de charge

**Figure(II.24)** : convertisseur

**Figure (III.2)** : évaporateur ROLLball

**Figure (III.4)** : Compresseur BD50F

**Figure (III.3)** : Condenseur de type tube et fil

**Figure (IV.1)** : Irradiation solaire globale reçue sur le plan horizontal

**Figure (IV.2)**:Irradiation solaire globale reçue sur le plan incliné

**Figure (IV.3)** : Irradiation solaire globale reçue sur le plan horizontal ou incliné

**Figure (IV.4)** : interface principale du logiciel PV syst

**Figure(IV.5)** : introduction de charge pour un système isolé

Figure (IV.6) : résultat de pré-dimensionnement

**Figure (IV.7)** : conception d'un projet

**Figure (IV.8)** : configuration optimisé proposé par le logiciel

**Figure (IV.9)** : base de données du logiciel

**Figure (IV.10)** : la configuration optimale.

**Figure (IV.11)** : diagramme de perte

**Figure (IV.12)** : diagramme de perte

## Liste des tableaux

**Tableau(II.1):**Rayonnement solaire sur un plan horizontal

**Tableau(II.2):**Principales données techniques de la batterie au plomb

**Tableau (III.1):**paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique

**Tableau (III.2):**bilan thermique du réfrigérateur solaire

**Tableau (IV.1):** irradiation solaire globale sur un plan horizontal

**Tableau (IV.2):** Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle

**Tableau (IV.3):** irradiation solaire globale sur un plan incliné de  $46^\circ$

**Tableau (IV.4):** résultats principaux

**Tableau (IV.5):** résultats principaux obtenus avec la méthode du mois le plus défavorable

**Tableau (IV.6):** cout de l'installation photovoltaïque

## Nomenclature

### Liste des symboles

Symbole	Désignations	Unités
BP	Basse pression	Bar
C	capacité de la batterie	Ah
$C_T$	Cout totale de l'installation PV	DA
D	Profondeur de décharge	%
D	Rayonnement diffus	Wh/m <sup>2</sup> jour
D*	Eclairement diffus	Wh/m <sup>2</sup>
$E_c$	Energie consommée par jour	Wh/jour
$E_{nom}$	Puissance radiative dans la condition standard STC	w/m <sup>2</sup>
$E_p$	Energie produite par jour	Wh/jour
$E_T$	Correction du temps	Minute
FF	Fluide frigorigène	/
G	Rayonnement global	Wh/m <sup>2</sup> jour
$G_{min}$	Irradiation moyenne journalière minimale	Wh/m <sup>2</sup> jour
G*	Eclairement global	Wh/m <sup>2</sup>
$G_o$	Irradiation journalière sur un plan horizontal	Wh/m <sup>2</sup>
h	hauteur du soleil	Degré
$h$	Constante de Planck	J.s
h	Enthalpie	kJ/kg
HP	Haute pression	Bar
$I_{cc}$	Courant de court-circuit	A
$I_{opt}$	Courant nominale	A
$I_{pv}$	courant de sortie du GPV	A
$k_T$	L'indice de clarté	/
L	Longitude	Degré
l	Altitude	m
Ma	Masse d'air	/
n	numéro du faisceau horaire	/
n	durée de stockage	Mois
$N_p$	Nombre cellules en parallèle	/
$N_s$	Nombre de cellules en série	/
P	Pression	Bar
$P_c$	puissance crête	$w_c$
$P_{cu}$	Puissance crête unitaire	$w_c$
S	Rayonnement direct	Wh/m <sup>2</sup> jour
$S_m$	Surface moyenne de la paroi	m <sup>2</sup>
$SS_0$	Durée maximale d'insolation	Heure
S*	Eclairement direct	Wh/m <sup>2</sup>
$T_C$	Temps civil	Heure
TFH	Temps du faisceau horaire	Heure
TL	Temps légal	Heure
TSM	Temps solaire moyen	Heure
TSV	Temps solaire vrai	Heure
TS	Temps solaire	Heure
TU	Temps universel	Heure
$V_{co}$	tension du circuit ouvert	V
$V_{pv}$	tension à la sortie du GPV	V

$\omega$	Angle horaire du soleil	Degré
$W$	Travail	J
$\omega_c$	L'angle horaire au couché du soleil	Degré
$\omega_l$	L'angle horaire au levé du soleil	Degré
ZCE	Zone de charge espace	/
$d_j$	Durée du jour	Heure
$e$	épaisseur de l'isolant	m
$Q$	Quantité de chaleur	J
$Q_a$	capacité avant stockage	Ah
$Q_p$	capacité après stockage	Ah
$\alpha$	Azimut du soleil	Degré
$\beta$	Angle d'inclinaison	Degré
$\delta$	Déclinaison solaire	Degré
$\varphi; L$	Latitude	Degré
$\rho$	Albédo	/
$\eta$	Le rendement des cellules PV	%
$\tau$	Le taux d'autodécharge	%
$\lambda$	conductivité thermique de l'isolant	w/m°C
$\lambda$	Longueur d'onde	$\mu\text{m}$
$\eta$	Le rendement charge/décharge	%
$T_{\text{ext}}$	Température extérieure	C°
$T_{\text{int}}$	Température intérieure	C°
$\phi_i$	Le flux traversant les parois du réfrigérateur	w
$\phi_T$	Le flux total traversant les parois du réfrigérateur	w
FF	Facteur de forme	/
$\dot{m}$	Débit massique du fluide frigorigène	kg/h



# ***Sommaire***



# Sommaire

## Chapitre I : Généralités sur la production du froid

I.1.Introduction.....	18
I.2.Définition d'une machine frigorifique .....	18
I.3.Classification des machines frigorifiques .....	18
I.3.1.Machines à absorption. ....	19
I.3.2.Machines à éjection.....	19
I.3.3.Machine à adsorption .....	20
I.3.4.Machines à compression .....	20
I.4.Machines utilisant la vaporisation et la condensation d'un frigorigène .....	21
I.4.1. Systèmes ouverts .....	21
I.4.2. Systèmes fermés .....	21
I.5. configurations des systèmes frigorifiques.....	21
I.5.1. systèmes directs .....	21
I.5.2. systèmes indirects.....	21
I.6. principaux composants d'une machine frigorifique.....	21
I.7. Cycle thermodynamiques.....	23
I.7.1.Cycle théorique .....	23
I.7.2.Cycle réel .....	23
I.8.Efficacité énergétique .....	25
I.9. COP d'une machine frigorifique.....	25
I.10. Fluide frigorigène.....	25
I.10.1. Définition du fluide frigorigène .....	25
I.10.2.Caractéristiques du R134a (HFC).....	26
I.11. Conclusion .....	26

## Chapitre II : L'énergie photovoltaïque

II.1.Introduction .....	27
II.2.Le soleil .....	27
II.2.1.Position du soleil par rapport à la terre.....	27
II.2.1.1.Repérage d'un site à la surface de la terre .....	27
II.2.2.La trajectoire apparente du soleil.....	28
II.2.2.1. coordonnées équatoriales .....	28
II.2.2.2. coordonnées horizontales.....	30
II.2.3.Notion de temps .....	31
II.2.4.Durée et temps d'ensoleillement .....	32
II.2.5. Le rayonnement solaire à la traversée de l'atmosphère.....	33
II.2.5.1. L'atmosphère .....	33
II.2.5.2 .Le rôle de l'atmosphère .....	33
II.2.6. Le spectre solaire .....	34
II.2.6.1. Masse d'air (AMx).....	35
II.2.6.2. Rayonnement solaire.....	36
II.2.7. Evaluation du rayonnement solaire sur une surface horizontale .....	38
II.2.7.1. Le rayonnement global .....	38
II.2.8.Evaluation de l'éclairement solaire .....	38
II.2.9. Evaluation du rayonnement solaire sur un plan quelconque .....	39
II.2.10. Evaluation de l'éclairement solaire .....	39

II.3. Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site .....	39
II.3.1.L'estimation du rayonnement solaire sur un plan horizontal .....	40
II.3.2.L'estimation du rayonnement globale sur un plan incliné.....	41
II.4.Préambule sur les systèmes photovoltaïques.....	43
II.5. Capteurs photovoltaïque .....	43
II.5.1.cellule photovoltaïque.....	43
II.5.2.Semi-conducteur... ..	44
II.5.2.1.Semi-conducteur intrinsèque .....	44
II.5.2.2 : différents type de dopages .....	44
II.5.3. Bande d'énergie .....	45
II.5.4. Jonction de deux semi-conducteurs dopés.....	46
II.5.5 .Filières technologiques .....	47
II.5.5.1 : Le silicium .....	47
II.5.5.2. Les couches minces .....	48
II.5.5.3. Les cellules solaires organiques.....	49
II.6. Conversion photovoltaïque.....	50
II.7. Constitution d'un module photovoltaïque .....	50
II.8. Caractéristique d'une cellule photovoltaïque .....	52
II.9. Systèmes photovoltaïques.....	55
II.9.1. Systèmes autonomes.....	55
II.9.2. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau.....	55
II. 10. Stockage de l'énergie.....	55
II.10.1. Le rôle d'une batterie .....	56
II.10.2.Caractéristiques d'une batterie .....	56
II.10.3 .Types de batteries .....	58
II.10.3.1. Batterie plomb- Acide.....	58
II.10.3.2.Batteries au Nickel- cadmium.....	58
II.11. Système de régulation.....	59
II.12. Système de conversion .....	59
II.13.Câblage .....	60
II.14.Conclusion .....	60

### **Chapitre III : Dimensionnement des composants du réfrigérateur**

III.1. Introduction .....	61
III.2.Description de l'appareil .....	61
III.2.1. La cuve intérieure.....	61
III.2.2. La cuve extérieure .....	61
III.2.3. L'isolant .....	61
III.3. Cycle théorique du réfrigérateur RS218.....	61
III.4. Besoin frigorifiques du réfrigérateur RS218.....	63
III.5. Dimensions de l'armoire frigorifique.....	63
III.6. Bilan thermique .....	63
III.7. Débit massique du fluide frigorigène .....	64
III.8. Dimensionnement des échangeurs .....	65

III.8.1. Evaporateur .....	65
III.8.2. Condenseur.....	66
III.8.3. Surface d'échange du condenseur .....	66
III.8.4. Choix du compresseur .....	67
III.8.4.1. Caractéristiques technique du compresseur BD50F.....	67
III.9. Conclusion.....	68

## **Chapitre IV :Dimensionnementphotovoltaïque**

IV.1. Introduction.....	69
IV.2. Dimensionnement du système photovoltaïque alimentant le réfrigérateu ...	69
IV.2.1.Méthode du mois le plus défavorable .....	69
IV.2.1.1 : Estimation de la consommation .....	69
IV.2.1.2 : Dimensionnement du système photovoltaïque .....	70
IV.2.2. Dimensionnement photovoltaïque avec le logiciel PV syst.....	72
IV.2.2.1 : Présentation du logiciel PV syst.....	72
IV.2.2.2.Conception du projet du dimensionnement de l'installation photovoltaïque dans PVsyst .....	76
IV.3.Comparaison et discussion.....	77
IV.4. Etude économique de l'installation photovoltaïque.....	81
IV.4.1.Présentation du logiciel RETscreen .....	81
IV.5.Conceptionduprojetdudimensionnementdel'installationphotovoltaïquedans PVsystpourlaregiondeTamanrasset .....	83
IV.6.Etudeéconomiquedel'installationphotovoltaïque.....	86
IV.7.Conclusion .....	87

A decorative border in blue ink, featuring stylized floral and vine motifs that frame the central text area.

***Introduction***  
***générale***

# INTRODUCTION GENERALE

---

## Introduction générale

L'utilisation intensive des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon...) depuis près de 150 ans place aujourd'hui l'homme devant un double contexte: l'augmentation de l'effet de serre aux conséquences climatiques catastrophiques ; en effet les quantités de CO<sub>2</sub> générées annuellement s'établissent aujourd'hui à près de 6,5 Gt, elles sont à l'origine, d'une accumulation de 3 GtC par an dans l'atmosphère. Cette situation conduirait à un accroissement sensible de la température moyenne à la surface de la terre entre 1,5 °C et 5,8 °C d'ici 2100. Ceci représente une augmentation sans précédent qui s'accompagnerait en particulier de la montée du niveau des mers de 20 cm à 1m. Et l'épuisement prévisible de ces sources d'énergie du sous-sol. En effet on estime à environ 40 ans les réserves mondiales de pétrole; à 61 ans pour le gaz naturel et 227 ans pour le charbon. La situation est d'autant plus alarmante que la demande énergétique va en grandissant elle est d'ordre de 12,5 Gtep et, selon les scénarios, elle pourrait être contenue dans une fourchette allant de 20 à 25 Gtep à l'horizon 2050[1] L'énergie solaire, (énergie quasi inépuisable à l'échelle humaine), se positionne comme une solution à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles. L'intérêt porté à l'énergie solaire vient du fait qu'au niveau mondial, compte-tenu de l'ensoleillement réel, l'énergie solaire reçue au sol en moyenne annuelle se monte à environ 75 000 Gtep ou 0,9 milliards de TWh. Cette énergie représente 6 000 fois la consommation mondiale annuelle actuelle d'énergie qui est de 12.5 Gtep. Elle est en plus, à l'origine de toutes les énergies renouvelables, mis à part la géothermie. En effet, l'énergie provenant du Soleil ( $6,62 \times 10^6$  EJ) se répartit en plusieurs fractions, chacune intervient dans un phénomène distinct :

- $1,96 \times 10^6$  EJ des rayonnements sont réfléchis dans l'espace  $2,6 \times 10^6$  EJ est convertie en chaleur
- $1,26 \times 10^6$  EJ participe au cycle de l'eau (évaporation) et donc à l'origine de l'énergie hydraulique
- $1,17 \times 10^4$  EJ crée des différences de températures sur Terre ce qui entraîne des mouvements d'air (vent, vague, courant) conditionnant l'énergie éolienne et certaines énergie provenant des mers
- $1,26 \times 10^3$  EJ est consommé dans le procédé de photosynthèse des plantes donc elle contribue à la biomasse. [2]

La production de froid est un secteur très important et qui représente plus de 15% de la consommation mondiale en énergie électrique. En Algérie, la consommation d'énergie dans le domaine du froid et du bâtiment représente un pourcentage important.

Pour subvenir à la demande en production de froid, de nombreux systèmes frigorifiques ont été mis en pratique selon divers cycles thermodynamiques. Parmi ces cycles, le cycle à compression de vapeur, le cycle d'absorption et le cycle à adsorption sont les plus utilisés dans le domaine de la production du froid et de la climatisation.

Les systèmes de réfrigération les plus utilisés sont des systèmes à compression de vapeur et fonctionnant aux fluides frigorigènes R12, R22 etc. Ils nécessitent de l'énergie électrique pour leur fonctionnement. Dans les régions où l'énergie électrique est disponible, ce système de

## INTRODUCTION GENERALE

---

réfrigération est habituellement adéquat pour satisfaire la plupart des exigences en réfrigération.

Cependant, plusieurs régions ne disposent pas d'électricité. Ceci inclut des villages ruraux et des sites isolés dans les pays en voie de développement.

Les sources d'énergies renouvelables sont de véritables solutions alternatives qui permettent non seulement de satisfaire les besoins en matière de consommation mais contribuent généralement à la préservation de l'environnement. L'utilisation de l'énergie solaire comme source d'énergie électrique pour l'alimentation des systèmes frigorifiques est très intéressante puisqu'elle est inépuisable et est abondante dans les régions où le besoin en froid est énorme. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires parmi 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  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{ KWh/m}^2/\text{an}$  au Nord et  $2263\text{ KWh/m}^2/\text{an}$  au Sud du pays. [3]

Plusieurs systèmes ont été réalisés dans ce contexte. Parmi ces systèmes, les systèmes frigorifiques photovoltaïques sont les plus appropriés.

Pour bien expliciter notre travail, nous avons jugé adéquat de répartir le mémoire en quatre chapitres :

Dans le chapitre I, nous présentons des généralités sur la production du froid.

Le gisement solaire, les capteurs photovoltaïques, leurs composants et fonctionnement sont illustrés dans le deuxième chapitre.

Dans le chapitre III, un bilan thermique est dressé pour déterminer les différents composants du réfrigérateur solaire.

Dans Le chapitre IV, on réalisera une étude techno-économique pour déterminer la rentabilité du projet.

Enfin on terminera notre travail par une conclusion générale.

A decorative blue border with a repeating floral and vine pattern surrounds the text. The pattern consists of stylized leaves and scrolling vines.

***Chapitre I :***  
***Généralité sur la***  
***production du***  
***Froid***

### I.1. Introduction

« La chaleur ne peut passer spontanément d'un corps froid vers un corps chaud » c'est l'énoncé Clausius de la thermodynamique.

si l'on veut effectuer le transfert de chaleur, dans le sens anti naturel, d'un milieu froid vers un milieu chaud, il faut nécessairement, d'une part, imaginer et mettre en œuvre un système thermique particulier, et d'autre part, fournir de l'énergie à ce système. Le système thermodynamique particulier est appelé machine frigorifique.

Dans ce chapitre on évoquera des généralités sur le froid, on donnera une classification de la machine frigorifique, ainsi que leur principe de fonctionnement, et on terminera par les fluides frigorigènes.

### I.2. Définition d'une machine frigorifique :

C'est un système thermodynamique mis en œuvre et qui permet de transférer effectivement de la chaleur d'un milieu à température inférieure, ou la chaleur est prélevée (source froide) vers un milieu à température supérieure ou la chaleur est rejetée (puits chaud) moyennant une dépense d'énergie mécanique ( $W$ ). Le transfert de chaleur entre les deux sources est assuré grâce au changement d'état d'un fluide frigorigène qui circule en circuit fermé dans ce système. [4]

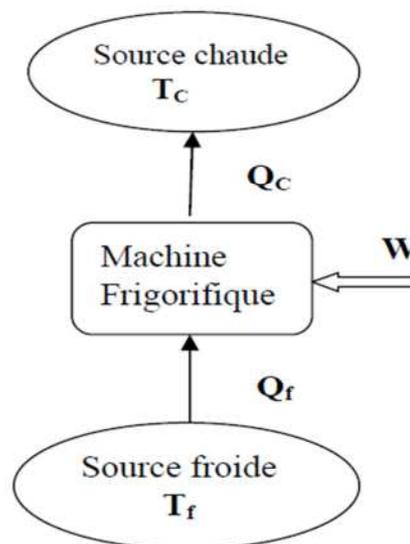


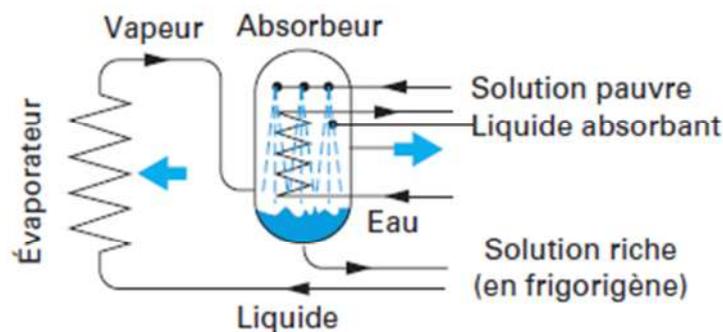
Figure (I.1) : schéma de principe d'une machine frigorifique

### I.3. Classification des machines frigorifiques :

La manière dont les vapeurs formées dans l'évaporateur sont extraites de celui-ci permet de distinguer quatre grandes catégories de machines.

### I.3.1. Machines à absorption :

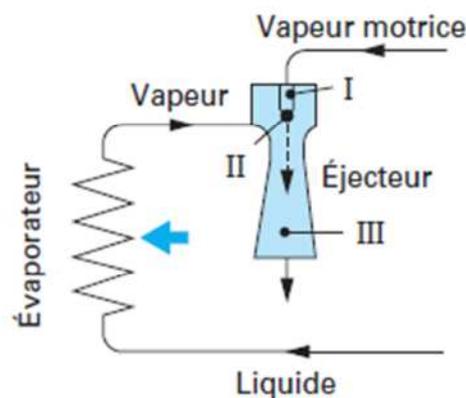
La vapeur de frigorigène est aspirée par l'intermédiaire d'un liquide absorbant qui présente une forte affinité pour ce frigorigène. la vapeur est absorbée par tout le volume du liquide absorbant. L'évaporateur est relié à une capacité, l'absorbeur à l'intérieur de laquelle on pulvérise en permanence la solution absorbante pauvre en frigorigène. la pulvérisation permet d'accroître la surface de contact avec la vapeur de frigorigène. Le liquide absorbe le frigorigène, provoquant ainsi la raréfaction de la vapeur et l'aspiration d'une nouvelle masse de frigorigène issue de l'évaporateur. la solution est enrichie, elle quitte l'absorbeur et se dirige vers un autre point de la machine. [5]



Figure(I.2) : système à absorption

### I.3.2. Machines à éjection :

Les vapeurs du cycle frigorifique sont aspirées mécaniquement par un éjecteur. Celui-ci fonctionne grâce à l'énergie cinétique de la vapeur motrice (généralement de même nature que la vapeur de frigorigène). La compression du mélange des vapeurs motrices et du frigorigène s'effectue dans la partie divergente III de l'éjecteur où l'énergie cinétique du flux de vapeur se transforme en énergie de pression. la vapeur motrice doit évidemment provenir d'une chaudière. Ce type de système on le rencontre rarement [6]



Figure(I.3) : système à éjection

### I.3.3. Machine à adsorption :

La fixation de la vapeur de frigorigène se fait ici sur la surface d'un solide, l'adsorbant présente une grande affinité pour le frigorigène. L'adsorption de la vapeur s'accompagnant d'un fort dégagement de la chaleur, surtout dans le cas de la formation d'un composé chimique. L'adsorbant comporte un échangeur interne de refroidissement. Cependant il n'y a encore que très peu d'utilisations pratiques de ces systèmes.

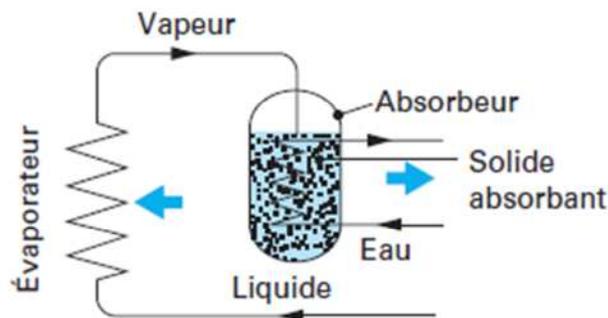


Figure (I.4) : système à adsorption

### I.3.4. Machines à compression :

Les vapeurs issues de l'évaporateur sont aspirées par un compresseur volumétrique ou non. Ces machines sont les plus répandues, mais consomment exclusivement de l'énergie mécanique. Elles se différencient selon le nombre d'étage de compression ou qu'elle met en œuvre un ou plusieurs frigorigènes. [4]

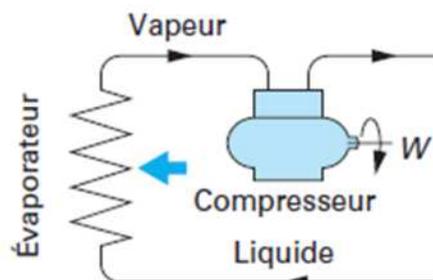


Figure (I.5) : système à compression de vapeur

#### a) Machine à compression mono-étagée :

On utilise un seul étage de compression mécanique pour la production du froid à température pas trop basses (généralement supérieures à  $-20^{\circ}\text{C}$  ou  $-25^{\circ}\text{C}$  mais aussi jusqu'à  $-40^{\circ}\text{C}$  avec certains HFC tel que R507). De tels systèmes sont extrêmement répandus.

#### b) Machine à compression bi-étagée :

Lorsqu'il s'agit de produire du froid à températures plus basses ( $-25^{\circ}\text{C}$  et  $-45^{\circ}\text{C}$ ), les cycles à compression mono-étagée présentent beaucoup d'inconvénients :

- Efficacité plus réduite

- Température de refoulement excessive
- Fuites internes accrues
- Fatigue liée aux écarts de pression

On fait alors appel aux systèmes mettant en jeu deux étages de compression associés en série. Ces systèmes à compression bi-étagée sont très courants.

#### **c) Systèmes à plus de deux étages de compression :**

On utilise de tels systèmes pour la production de froid à des températures encore plus basses ( $-45^{\circ}\text{C}$  ou  $-50^{\circ}\text{C}$ ) ils sont beaucoup plus rares. [5]

#### **I.4. Machines utilisant la vaporisation et la condensation d'un frigorigène :**

Le changement d'état liquide – vapeur est le phénomène majeur sur lequel on s'appuie pour produire du froid. On peut le mettre en œuvre dans des systèmes soit ouverts ou fermés.

##### **I.4.1. Systèmes ouverts :**

Après l'utilisation de son effet frigorigène, le fluide frigorigène n'est pas récupéré mais rejeté dans le milieu extérieur. Pour qu'il en soit ainsi, le frigorigène doit être sans action sur l'environnement (air, azote, eau) qui est en outre peu coûteux.

##### **I.4.2. Systèmes fermés :**

Le frigorigène évolue dans un système clos parfaitement étanche vis-à-vis de l'extérieur. Ce circuit comporte nécessairement un évaporateur, un condenseur et un détendeur.

#### **I.5. Configurations des systèmes frigorifiques :**

##### **I.5.1. Systèmes directs :**

Un système direct est une installation dont le transfert de chaleur est réalisé par le réfrigérant, on le prévoit généralement pour une petite machine frigorifique dont le condenseur et le compresseur sont placés à l'extérieur du milieu à refroidir et dont l'évaporateur est placé dans ce même milieu.

##### **I.5.2. Systèmes indirects :**

Les systèmes indirects sont utilisés dans les installations de grandes tailles. Le transport de froid s'effectue par un frigoporteur (exemple eau glycolée) et la quantité de réfrigérant nécessaire s'en trouve fortement réduite. [6]

#### **I.6. Principaux composants d'une machine frigorifique**

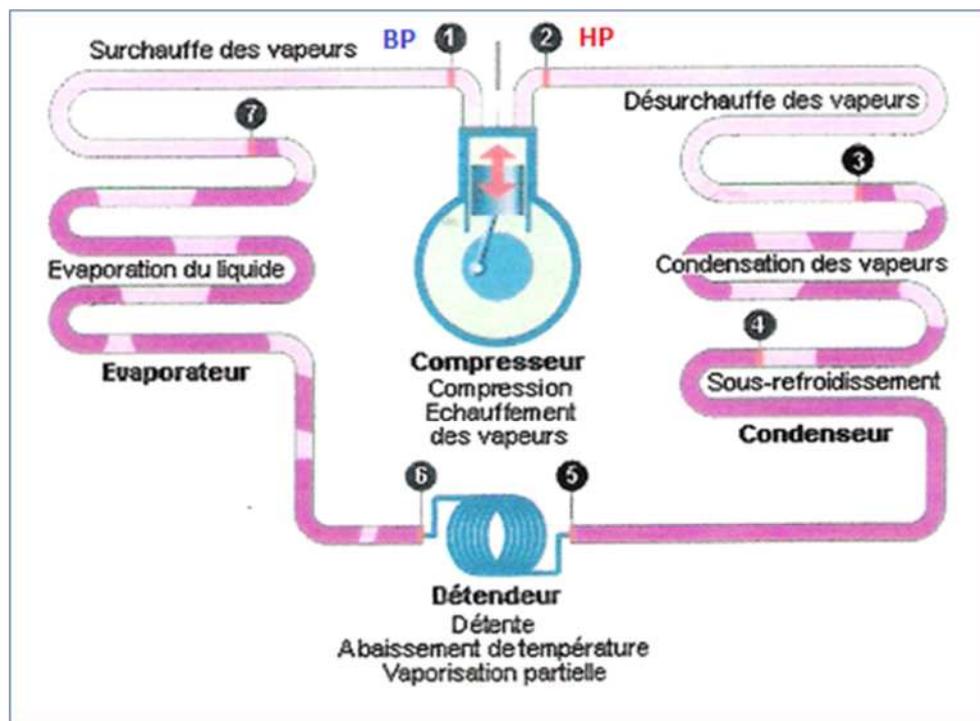
La machine à un étage de compression se compose de quatre éléments essentiels

- **Un évaporateur :** vaporise le frigorigène en prélevant de la chaleur au milieu à refroidir il en doit maintenir sa température  $T_f$  La vapeur sortant de cet évaporateur est

saturée. L'évaporation s'effectue à la température de vaporisation  $T_f$ , correspondant à la pression d'évaporation  $P_f$ .

- **Un compresseur** : le compresseur aspire, la vapeur de frigorigène issue de l'évaporateur sous la pression  $P_f$ , et la comprime jusqu'à la pression  $P_c$  pour la rejeter dans le condenseur
- **Un condenseur** : le condenseur condense le frigorigène en cédant la chaleur au milieu Extérieur. Le liquide frigorigène quittant cet échangeur est saturé, la condensation s'effectue à la température de condensation  $T_c$  correspondant à la pression de condensation  $P_c$ .
- **Un détendeur** : le détendeur permet de ramener le fluide à son état initial, à l'entrée de l'évaporateur. Il s'agit d'une simple détente par laminage, sans récupération de travail de détente, et pratiquement adiabatique. La restriction de la section de passage pour le frigorigène provoque une diminution brusque de sa pression, jusqu'à  $P_f$ .

Dans la réalité technique, on dispose en général d'une bouteille accumulatrice de liquide à la sortie du condenseur. Cette bouteille joue le rôle d'un volant qui permet d'alimenter le détendeur toujours en phase liquide malgré les fluctuations des volumes de liquide frigorigène retenus, à un moment donné, dans les échangeurs. [7]



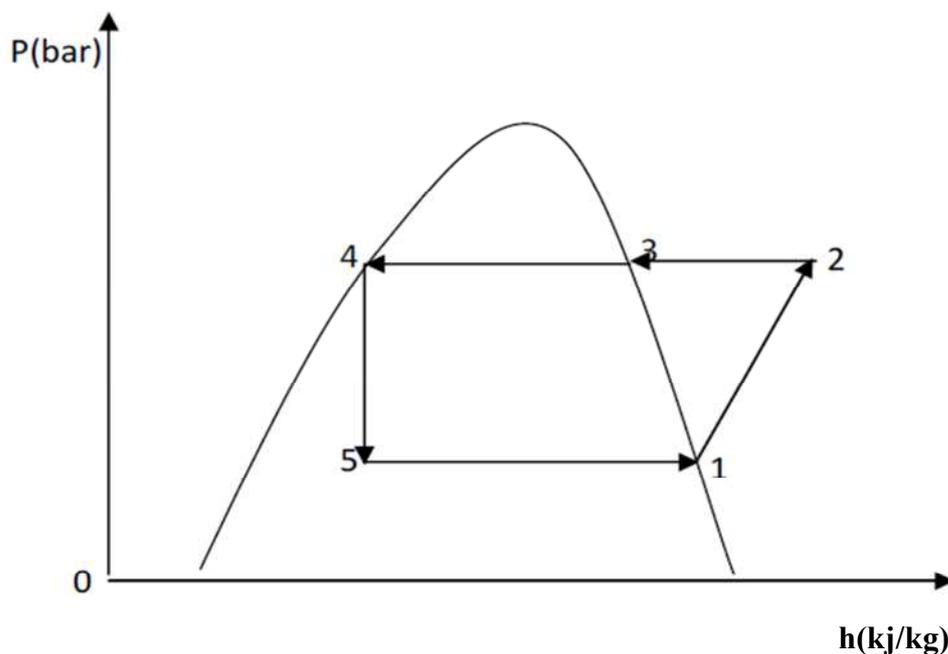
Figure(I.6) : cycle frigorifique élémentaire

## 1.7. Cycle thermodynamique

### I.7.1. Cycle théorique

Le cycle théorique suppose un fonctionnement idéal des composants de la machine frigorifique, sans perte de charge, sans fuites thermiques et fonctionnant sans irréversibilité sauf au niveau de la détente supposé isenthalpique.

Le cycle théorique de base pour toutes les machines est le cycle de Carnot. Ce cycle comprend deux transformations isothermes et deux transformations adiabatiques ou isentropiques. Il s'agit d'un cycle à rendement maximum. Les réfrigérateurs à compression utilisent le cycle de Hirn. [8]



Figure(I.7) : cycle théorique d'une machine frigorifique

- Le point 1 : état du fluide à l'aspiration ( $x = 1$ ).
- Compression isentropique de l'état 1 à l'état 2
- Refroidissement isobare ou désurchauffe dans le condenseur de l'état 2 à l'état 3
- Condensation isobare et isotherme dans le condenseur de l'état 3 à l'état 4
- Détente adiabatique et isenthalpique de l'état 4 à l'état 5
- absorption de la chaleur prise à la source froide de l'état 5 à l'état 1

### I.7.2. Cycle réel :

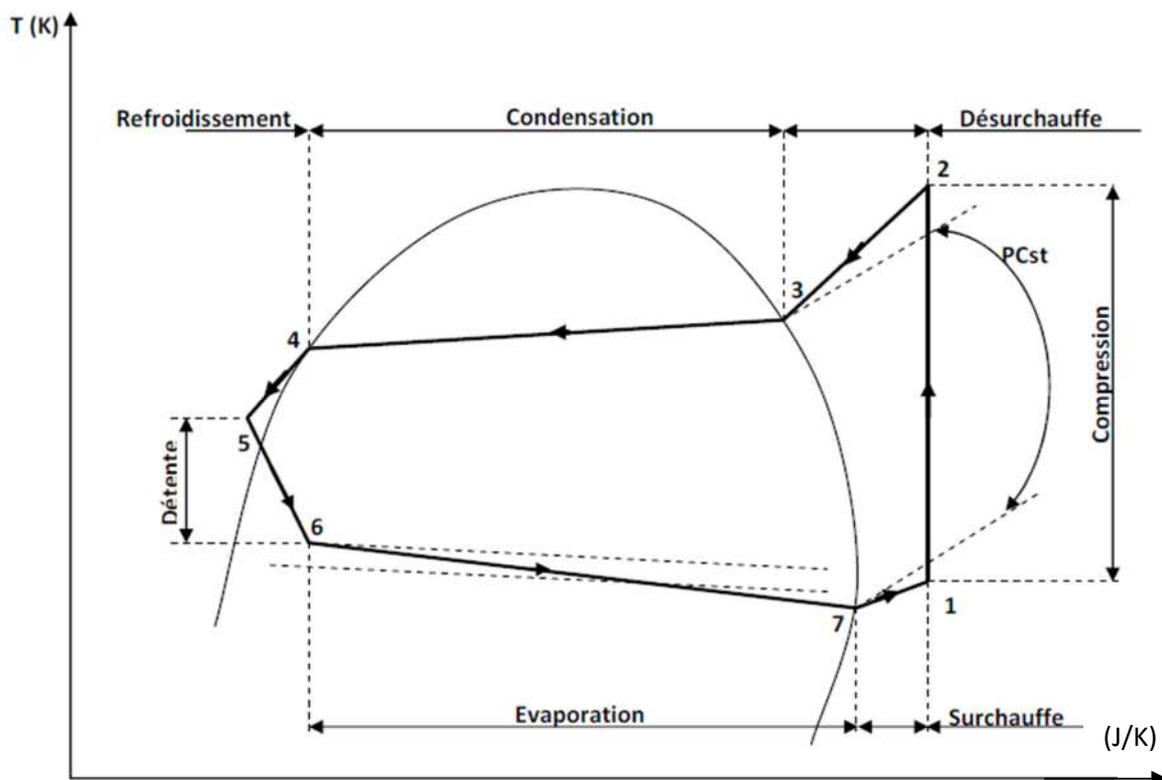
Les cycles réels à compression de vapeur se différencient du cycle de Carnot (idéal) et ce suite aux divers irréversibilités engendrées notamment par :

- La compression qui s'effectue sur de la vapeur et non sur un fluide diphasique, de plus elle n'est pas isentropique.

- Les échanges de chaleur aux niveaux des sources de chaleur, ne peuvent être isotherme réversibles.
- Les pertes de charge dans l'ensemble du circuit du système.
- Au niveau de l'évaporateur, suite aux pertes de charge, l'évaporation n'est pas isobare et à la sortie de cet échangeur les vapeurs sont en pratique surchauffées.

Cette surchauffe assure une protection du compresseur contre l'introduction du liquide dans ce dernier. Au niveau du condenseur les pertes de charges sont moins sensibles qu'à l'évaporateur.

Le cycle pratique est généralement tracé à partir des températures et des pressions réelles, ce qui permet de dresser par la suite le bilan thermique de l'installation



Figure(I.8) : cycle réel d'une machine frigorifique

- 1 à 2, la vapeur de frigorigène est comprimée de  $P_f$  à  $P_c$ . Si le compresseur était parfait et fonctionnait isentropiquement, c'est-à-dire adiabatiquement et réversiblement, la transformation suivrait l'isentrope  $s=st$ .
- 2 à 3, la vapeur de frigorigène est désurchauffée de  $T_2$  à  $T_3$ , du point 3 apparaissent les Premières gouttes liquides.
- 3 à 4, le fluide frigorigène se condense; sa température continue, généralement, à s'abaisser, de  $T_3$  à  $T_4$ .
- 4 à 5, le fluide frigorigène subit un sous refroidissement.

- 5 à 6, le liquide frigorigène se détend dans le détendeur de  $P_c$  à  $P_f$  en n'échangeant, avec le milieu extérieur, ni énergie mécanique ni chaleur. L'enthalpie du frigorigène reste constante, la détente est isenthalpique. Le liquide se refroidit de  $T_5$  à  $T_6$ , une partie de sa masse se vaporise. Après la détente, le titre en vapeur du mélange liquide-vapeur est  $x_6$ .
- 6 à 7, le frigorigène se vaporise, sous la pression  $P_f$ , à la température  $T_6$ , en produisant du froid utile dans l'évaporateur. La vapeur se surchauffe ensuite légèrement de  $T_6$  à  $T_7$ .
- 7 à 1, le frigorigène se surchauffe, dans la conduite d'aspiration, de  $T_7$  à  $T_1$ , pour un nouveau cycle. [5]

### I.8. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique (EER) mesure la puissance frigorifique pour chaque unité d'énergie électrique consommée lorsque l'appareil fonctionne continuellement. On le calcule en divisant la puissance frigorifique par la puissance électrique, plus l'EER est élevé, plus l'appareil est efficace. Le rapport entre les efficacités mesurées et théoriques est appelé le rendement effectif. Il est donné comme suit :

### I.9. COP d'une machine frigorifique

La machine frigorifique est énergétiquement efficace si elle demande peu d'énergie pour atteindre les performances souhaitées. Son efficacité est quantifiée par le » Coefficient of Performance. Ce coefficient est défini comme le rapport entre la quantité de chaleur  $Q_f$  absorbée par l'évaporateur et l'équivalence calorifique d'énergie totale absorbée par cette machine (W). [6]

$$\text{COP} = \frac{\text{chaleur prelevée à la source froide}}{\text{travail fourni}} = \frac{Q_f}{w} \quad (\text{I.1})$$

### I.10. Fluide frigorigène :

#### I.10.1. Définition du fluide frigorigène

Un fluide frigorigène est une substance qui évolue dans le circuit d'une machine frigorifique et qui grâce à un phénomène endothermique consistant en un changement d'état faisant passer le fluide de l'état liquide à l'état gazeux dans un évaporateur, permet de produire du froid par retrait de chaleur, celle-ci étant évacuée hors de la machine par un phénomène exothermique consistant en un changement d'état inverse du précédent, c.-à-d. faisant passer le fluide de l'état gazeux à l'état liquide dans un condenseur.[9]

Les plus importants des fluides et qui sont utilisés par l'ENIEM sont :

- Les hydrofluorocarbures ou HFC qui ne nuisent pas à l'environnement et constituent donc les principaux fluides frigorigènes du futur, exemple le R134a

On notera que les HCFC et HFC sont fréquemment regroupés dans la littérature technique sous l'appellation de HFA ou hydrofluoroalcane. [9]

### **I.10.2. Caractéristiques du R134a (HFC)**

Le R134a est un corps pur de la famille des hydrocarbures halogénés de formule Chimique  $\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$ . C'est un liquide incolore, ininflammable et explosible, très stable aux températures d'utilisation, son odeur est légèrement éthérée, sa température critique et sa pression critique sont respectivement  $101^\circ\text{C}$  et 40,7 bars. Sa température d'ébullition, sous pression atmosphérique, est de  $-26^\circ\text{C}$ .

### **I.11. Conclusion**

Ce chapitre est une généralité sur la production du froid, on a donnée un aperçu sur les cycles énergétiques et les différents composants d'un système frigorifique.

On s'y intéressé aux machines à compression de vapeur qui seront à la base de notre projet.

A decorative border in blue ink, featuring a repeating pattern of stylized leaves and scrolls, framing the central text.

***Chapitre II :***  
***Les capteurs***  
***photovoltaïques***

## II.1. Introduction

Les capteurs photovoltaïques sont des assemblages de cellules photovoltaïques, qui sont utilisées pour produire de l'énergie électrique lorsqu'ils sont soumis à un rayonnement solaire.

L'énergie solaire montre une attractivité spécifique, elle est abondante sur Terre, inépuisable et gratuite. En effet, l'énergie solaire reçue au niveau de la terre est de l'ordre de  $1300 \text{ W/m}^2$ . L'atmosphère réfléchit et absorbe une partie de ce flux d'énergie, en moyenne la terre reçoit au niveau de sol  $1000 \text{ W/m}^2$  à midi

La production de l'énergie électrique donc est en fonction de l'intensité du rayonnement reçu, qui elle-même est en fonction du site d'implantation, l'orientation et la température des panneaux.

Dans ce chapitre, on présentera les principales données concernant le soleil, l'ensoleillement et les capteurs solaires photovoltaïques.

## II.2. Le soleil

La source du rayonnement solaire est le soleil. Cet astre est situé à environ  $150.10^6 \text{ km}$  de la terre. Vue de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène. Son rayon qui est de  $696\,000 \text{ km}$ , est 100 fois supérieur que celui de la terre et sa masse est  $333\,000$  fois celle de notre planète. Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ  $8400$  fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée, reçue de  $1 \text{ kilowatt crête par mètre carré (kWc/m}^2)$  répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. Pour connaître l'énergie reçue à un site donné, il est nécessaire de repérer ce site sur la surface terrestre, de connaître la position et la trajectoire du soleil dans la voûte céleste et les mouvements de la terre autour du soleil. [10].

### II.2.1. Position du soleil par rapport à la terre :

Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voûte céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur sur la terre.

#### II.2.1.1. Repérage d'un site à la surface de la terre (coordonnées géographiques) :

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

##### a. Latitude ( $\varphi$ ) :

Une latitude donne la localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie entre  $0$  et  $90^\circ$ , positivement vers le pôle Nord et négativement vers le pôle Sud. [11]

**b. Longitude (L) :**

La longitude d'un lieu donné est l'angle formé par le méridien de ce lieu avec le méridien d'origine (méridien de Greenwich), elle est comptée de 0° à 180°, positivement vers l'est et négativement vers l'ouest. [11]

**c. Altitude :**

L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée en mètre (m). [11]

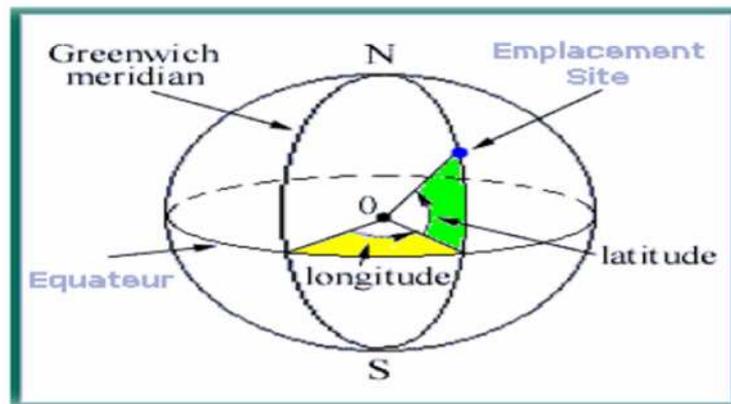


Figure (II-1) : coordonnées géographiques

**II.2.2. La trajectoire apparente du soleil**

La position du soleil dans la voûte céleste est repérée à tout instant de la journée par deux systèmes de coordonnées:

**II.2.2.1. Coordonnées équatoriales**

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont :

**a. La déclinaison  $\delta$** 

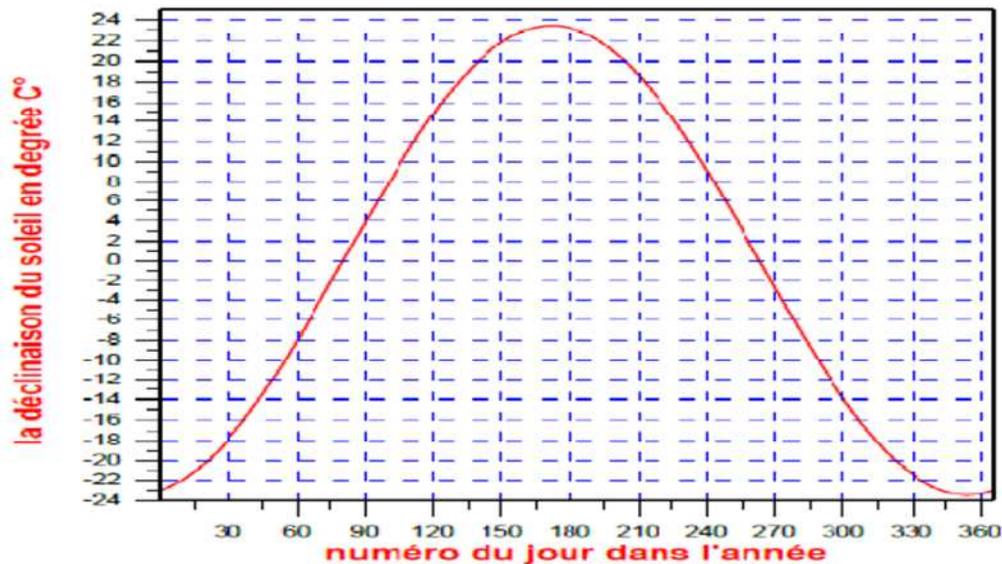
La déclinaison est l'angle que fait la direction d'observation du soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle est exprimée en degrés (°), minute (') et seconde (") d'arc. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique.

En considérant la déclinaison  $\delta$  comme constante sur une journée, l'équation de Kopernic fournit la relation qui relie ces deux grandeurs [12]

$$\delta = 23,45 \sin \left[ \frac{360}{365} (j - 80) \right] \quad (\text{II.1})$$

j : est le numéro du jour de l'année à partir du premier janvier.

déclinaison et qui vaut au cours de l'année  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été (21 juin),  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver (21 décembre), et nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), et cette variation entraîne des variations de la hauteur du soleil pour un même site. En juin, l'hémisphère nord se trouve rapproché du soleil ; le soleil est plus haut sur l'horizon pour une même heure et la durée du jour est plus grande. L'irradiation journalière est ainsi automatiquement augmentée par rapport au solstice d'hiver, en décembre.



Figure(II.2) : Variation annuelle de la déclinaison du soleil. [13]

#### b. L'angle horaire $\omega$ (ah) :

L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu zénith. Cet angle est formé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un moment donné et la projection du Soleil sur ce même plan au midi vrai. L'angle horaire est donné par la relation suivante :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (II.2)$$

Avec TSV est le temps solaire vrai qui sera décrit dans les paragraphes suivants.

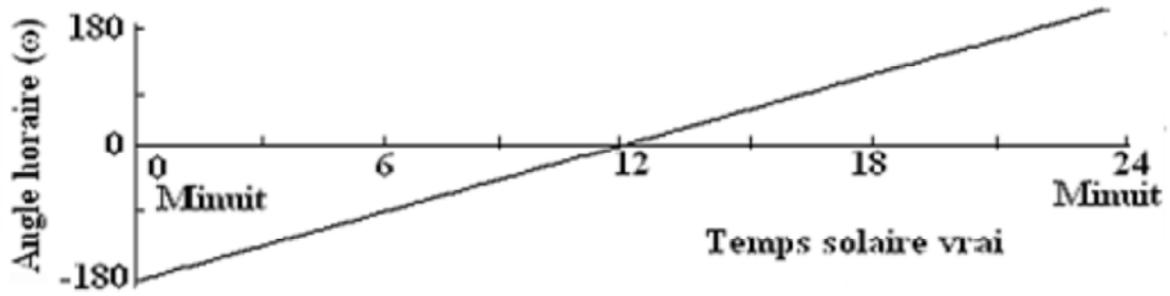


Figure (II.3) : variation de l'angle horaire en fonction de temps solaire vrai. [13]

II.2.2.2. Coordonnées horizontales

Le soleil est repéré par les grandeurs suivantes :

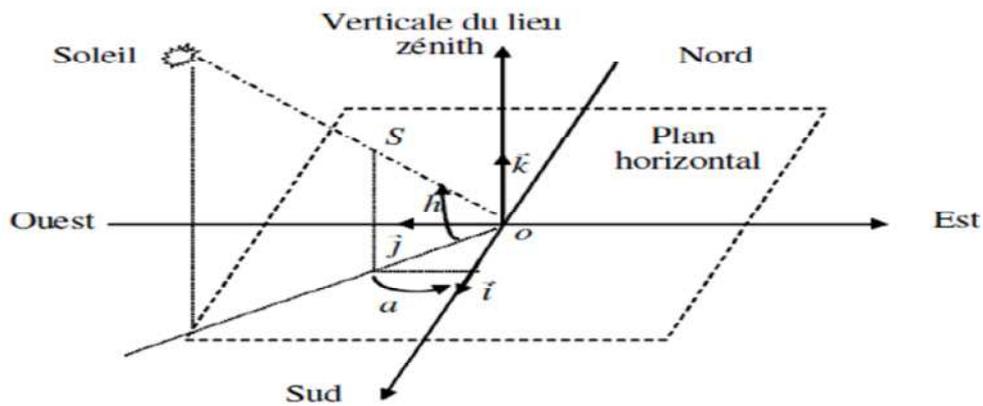


Figure (II.4) : Repère horizontal

a. L'azimut a :

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde. La relation qui donne l'azimut est donnée ci-dessous :

$$\sin a = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cosh} \tag{II.3}$$

Avec:  $a$  varie entre  $-180^\circ$  à  $180^\circ$

On prend :

- $a > 0$  vers l'ouest,
- $a < 0$  vers l'est
- $a = 0$  direction du sud.

**b. La hauteur du soleil (h)**

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante :

$$\sin h = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (\text{II.4})$$

Avec:  $h$  varie entre  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$

On prend:

- $h > 0$  le jour
- $h < 0$  la nuit
- $h = 0$  aux lever et coucher

**II.2.3. Notion de temps**

La terre subie deux types de déplacement : la rotation de la terre autour de l'axe des pôles et sa révolution autour du soleil. Le mouvement de la terre sur elle-même définit la notion de journée solaire. Une rotation complète s'effectue en 24 heures. Elle amène ainsi la définition du temps, puisque chaque heure correspond à un écart angulaire de  $15^\circ$ . La rotation de la terre autour du soleil définit les saisons et amène à distinguer le temps solaire vrai.

**a. Le temps solaire vrai (TSV) :** C'est le temps défini par les coordonnées angulaires vraies du soleil.

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{II.5})$$

Où  $\omega$  est en degré et TSV en heure

**b. Le temps solaire moyen (TSM) :**

La durée du jour n'est pas constante car la terre n'a pas toujours la même distance par rapport au soleil.

Par suite de la variabilité de la durée du jour environ 30 second chaque jour, on définit un jour solaire moyen de 24h (c'est la durée mesurée pour le 1<sup>er</sup> janvier 1900), à partir du quel se calcul l'écart entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen. Cet écart varie en fonction de la journée considéré dans l'année avec un maximum de  $\mp 16 \text{minut}$ , Et une référence de départ est minuit

$$\text{ET} = -[0.0002 - 0.4197 \cos \alpha_j + 3.2265 \cos 2\alpha_j + 0.903 \cos 3\alpha_j + 7.3509 \sin \alpha_j + 9.3912 \sin 2\alpha_j + 0.3361 \sin 3\alpha_j] \quad (\text{II.6})$$

Avec ET en minute

$$\text{TSV} = \text{TSM} + \text{Et} \quad (\text{II.7})$$

**c. Le temps universel et le temps civil :**

Le temps civil : c'est le TSM avec l'origine à minuit

**d. Le temps universel TU :**

C'est le temps solaire moyen du méridien de Greenwich GMT (Greenwich Mean Time) qui est le méridien central du fuseau horaire.

**e. Le temps du fuseau horaire TFH :**

C'est le temps civil du méridien de Greenwich, appelé encore GMT. La terre est divisée en 24 fuseaux horaires numérotés de 0 à 23.

$$TFH = TU + n \quad (II.8)$$

**n**: le numéro du fuseau horaire

**f. Le temps légal (TL)**

C'est le temps qui tien compte du fuseau horaire dans lequel se situe la majeure partie du pays, il se trouve donc décalé d'un nombre entier d'heures par rapport au fuseau horaire d'origine (Greenwich). Il est donné par la relation suivante :

$$TL = TFH + \Delta \quad (II.9)$$

Avec  $\Delta$  : Décalage administratif, 1h en hiver, et 2h en été en Europe, mais en Algérie, il est sur toute l'année égale à 1 heure.

**g. Heure du levée et du coucher :**

Heure du levé du jour se calcul en faisant  $h=0$

$$\cos \omega_{l,c} = -\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\varphi \quad (II.10)$$

Donc

$$\omega_l = \mp \text{arc cos}(-\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\varphi) \quad (II.11)$$

**h. La durée du jour :**

$$D_j = 2 \left| \frac{\omega_l}{15} \right| \quad (II.12)$$

**II.2.4. Durée et temps d'enseillement :****A. Durée d'enseillement :**

C'est le temps pendant le quel le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré au cours de la journée.

Le rayonnement direct est défini comme la fraction du rayonnement qui arrive au sol sans subir aucune déviation depuis son émission par le soleil.

### B. Taux d'ensoleillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement  $SS_0$ .

On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement. [13]

$$\frac{ss}{sso} = \frac{\text{durée effective d'ensoleillement}}{\text{durée du jour}} \quad (\text{II.13})$$

### II.2.5. Le rayonnement solaire à la traversée de l'atmosphère :

Le rayonnement solaire reçu au sommet de l'atmosphère, dans un plan perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance terre-soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire et vaut  $1367 \text{ W/m}^2$ . Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère pour atteindre la surface terrestre, il est fortement atténué en raison des phénomènes d'absorption et de diffusion par les différents constituants de celle-ci.

#### II.2.5.1. L'atmosphère

La structure de l'atmosphère influe de façon non négligeable sur le rayonnement reçu. On peut grossièrement séparer :

- La troposphère qui s'étend jusqu'à 15Km d'altitude ou la température décroît de  $6.5^\circ\text{C}$  par Km pour atteindre  $-70^\circ\text{C}$  à la base de la couche suivante
- La stratosphère de 15 à 55 Km, ou la température croît de  $-70^\circ\text{C}$  à  $10^\circ\text{C}$
- La mésosphère de 55 à 80 Km, ou la température augmente à niveau de  $+10^\circ\text{C}$  à  $80^\circ\text{C}$
- L'ionosphère ou la température croît régulièrement pour atteindre  $1500^\circ\text{C}$  à l'altitude 300Km.
- L'exosphère au delà de 700 km qui s'ouvre sans frontière sur l'espace intersidérale. [14]

#### II.2.5.2. Le rôle de l'atmosphère :

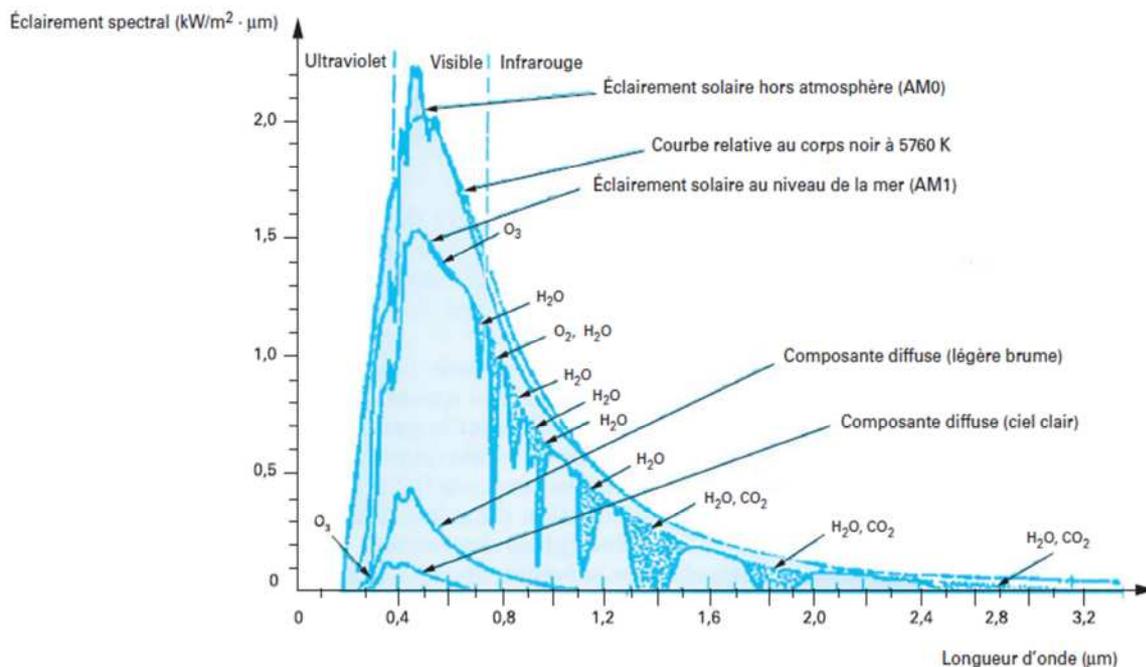
L'atmosphère terrestre modifie le spectre énergétique du rayonnement solaire par l'action de trois mécanismes principaux :

- ✓ **L'absorption par les gaz** : chaque gaz possède des raies caractéristiques. Les plus marquantes sont, dans l'ordre des longueurs d'ondes croissantes : l'ozone ( $\text{O}_3$ ), l'oxygène ( $\text{O}_2$ ),  $\text{CO}_2$
- ✓ **La diffusion moléculaire de Rayleigh** est causée par les molécules d'air, dont la taille est très inférieure à la longueur d'onde de la lumière. La diffusion de Rayleigh varie en  $\lambda^{-4}$  et explique la couleur bleue du ciel clair et le passage de la couleur du soleil à l'orange et au rouge lorsqu'il est bas sur l'horizon

- ✓ **La diffusion par les aérosols par les poussières et les fumées** (dont la taille des particules varie de 0,5 à 10  $\mu\text{m}$ ) provoque également une variation spectrale en  $\lambda^{-n}$ , avec  $n$  compris entre 0 et 4. [15]

### II.2.6. Le spectre solaire

Le spectre du rayonnement électromagnétique solaire comporte une très grande étendue, depuis les rayonnements radio jusqu'aux rayons X. On distingue en général le spectre continu, qui est sensiblement celui d'un corps noir à environ 6000°K et le spectre réel d'émission du soleil [15]. La figure(II.5) présente la courbe d'énergie du corps noir à 6000K, le rayonnement solaire hors de l'atmosphère et le rayonnement solaire au niveau de la mer en fonction de la longueur d'onde. Ces courbes montrent que 9,2% de l'énergie de ce spectre se trouve dans l'ultraviolet, 42,4% dans le visible et 48,4% dans l'infrarouge



**Figure(II.5) : Spectre de rayonnement du soleil et raies d'absorption par l'atmosphère [32]**

D'après la figure (II.5), nous constatons que le rayonnement solaire peut être réfléchi, diffusé ou absorbé. Par ailleurs, les spectres des rayonnements réfléchi, diffusé, et absorbé sont différents.

A la surface de la terre, le spectre solaire n'est pas le même que dans l'espace, car il est pondéré par l'absorption des molécules présentes dans l'atmosphère ( $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,...). Les conditions climatiques ainsi que la présence de particules influencent également la valeur réelle du spectre. Pour tenir compte de ces différences, comparer les performances des cellules solaires et qualifier les différents spectres solaires utilisés, on introduit un coefficient appelé masse d'air ( $\text{AM}_x$ ).

### II.2.6.1. Masse d'air (AM<sub>x</sub>)

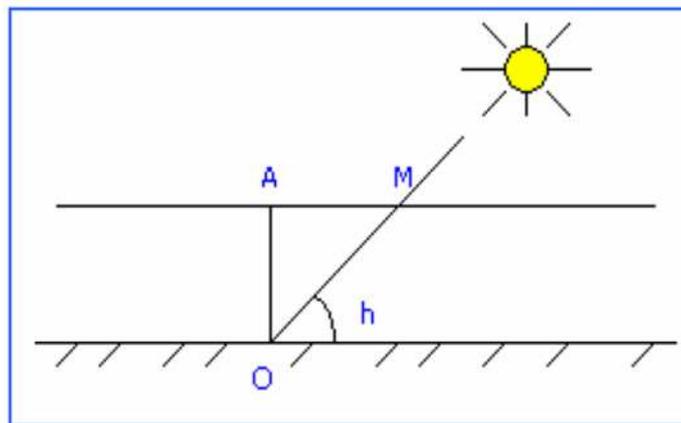
La masse d'air optique est définie (par ciel clair) comme la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol, rapportée à la traversée verticale au niveau de la mer. On suppose que cette couche est plane et stratifiée horizontalement et on admet un trajet rectiligne des rayons lumineux, la longueur du trajet est donné l'expression est:

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \quad (\text{II.14})$$

On appelle  $m$  le rapport  $\frac{OM}{OA}$ , soit  $\frac{1}{\sin h}$

A une pression  $p$  différente de 1013 mbar et à altitude  $z$  (km), on désignera par masse atmosphérique ou nombre d'air masse le nombre

$$m = \frac{p}{1013 \cdot \sin h} \exp\left(-\frac{z}{7.8}\right) \quad (\text{II.15})$$



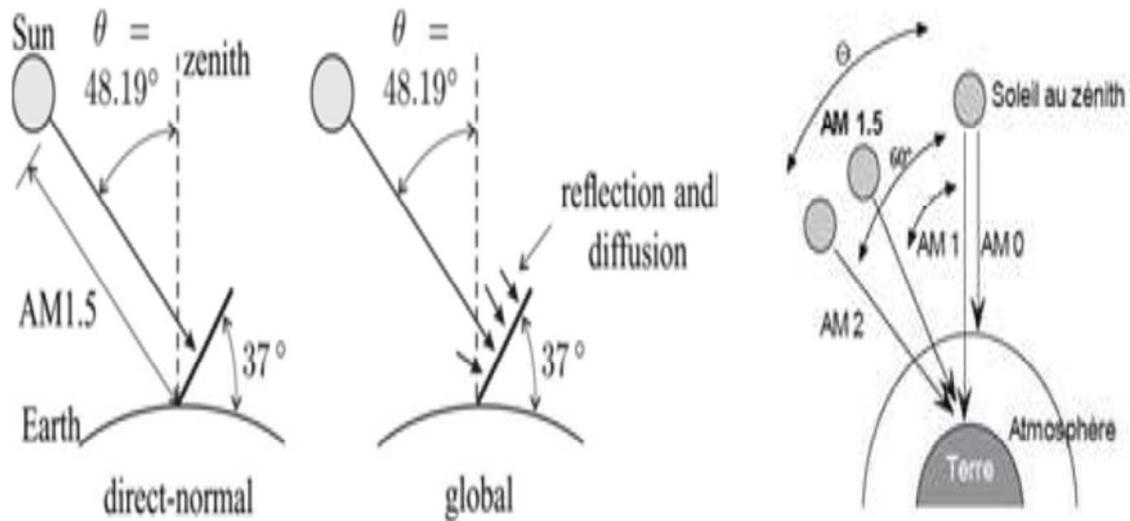
Figure(II.6) : le rayonnement solaire et le nombre d'air masse

On dit qu'on a les conditions AM1 lorsque le soleil est au zénith, AM2 lorsqu'on a une inclinaison de  $30^\circ$ . Hors atmosphère à haute altitude, on est dans les conditions AM0.

Quand le soleil fait un angle de  $48.19^\circ$  par rapport au zénith, la lumière incidente est dite AM1.5.

Le nombre de masse d'air caractérise la puissance transportée par le rayonnement solaire ( $83.3 \text{ mW/cm}^2$  pour AM1.5 dont la surface est inclinée à  $37^\circ$  du soleil) et de plus, sert de standard pour quantifier les performances de nouveaux dispositifs photovoltaïques.

Les conditions standards de caractérisation sont définies par les normes IEC-60904 de l'International Electrotechnical Commission (IEC).



Figure(II.7) : Schéma indiquant le nombre d'air masse AMx en fonction de la position géographique

### II.2.6.2. Rayonnement solaire

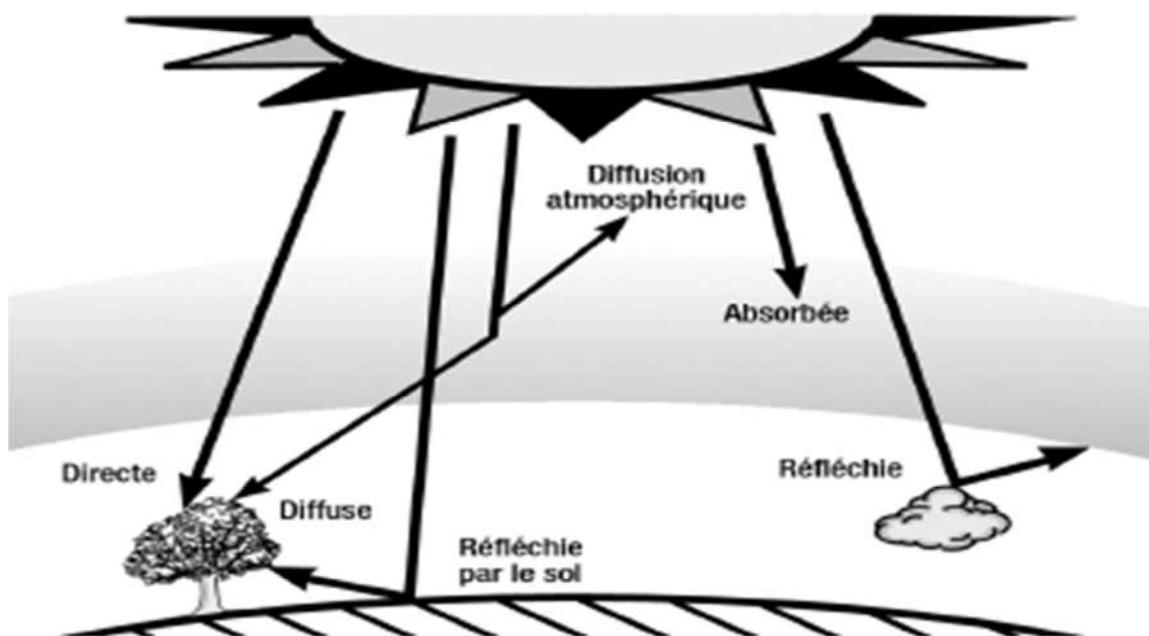
Le soleil émet en permanence, dans toutes les directions de l'espace, des rayonnements électromagnétiques composés de «grains» de lumière appelés photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière  $C$  ; il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère. L'énergie,  $E_{ph}$  de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde  $\lambda$  par la relation.

$$E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{II.16})$$

Où  $h$  est la constante de Planck,  $h = 6,62.10^{-34}$  J.s

#### II.2.6.2.1. Les différents types de rayonnement :

- ✓ **Le rayonnement direct** : c'est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre.
- ✓ **Le rayonnement diffus** : c'est le résultat de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil [16]
- ✓ **Le rayonnement global** : Il se décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus, et ce sont ces deux rayonnements qui sont exploités par les générateurs solaires [17].



Figure(II.8) : composition du rayonnement solaire au sol

Les notations utilisées pour les composantes du rayonnement solaire sur une surface horizontale sont représentées dans le tableau.

Irradiation solaire Energie reçue pendant une certaine durée $W.m^{-2}.durée^{-1}$ ou $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$	direct	S	G=S+D
	diffus	D	
	global	G	
Eclairement solaire Flux instantané $W.m^{-2}$	direct	$S^*$	$G^*=D^*+S^*$
	diffus	$D^*$	
	global	$G^*$	

Tableau(II.1) : Rayonnement solaire sur un plan horizontal

## II.2.7. Evaluation du rayonnement solaire sur une surface horizontale :

### II.2.7.1. Le rayonnement global :

$$G = G_0 \cdot k_T \quad (\text{II.17})$$

$$\text{Avec } k_T = \frac{G}{G_0} = \frac{\text{irradiation globale journaliere au sol par rapport au plan horizontal}}{\text{irradiation globale journaliere hors atmosphere par rapport au plan horizontal}} \quad (\text{II.18})$$

$k_T$  est l'indice de clarté de la journée

Et  $G_0$  dépend de la journée considérée

$$G_0 = 3,795 \cdot 10^4 \cdot \cos\varphi \cdot \cos\delta \left[ \sin\omega_l - \frac{\pi\omega_l}{180} \cdot \cos\omega_l \right] \quad (\text{II.19})$$

#### a. Le rayonnement diffus D :

A partir de la mesure G on peut déterminer D par la relation :

$$D = 0.99 G \quad \text{si } k_T \leq 0.17 \quad (\text{II.20})$$

$$D = (1,188 - 2.172 k_T + 9,473 k_T^2 - 21,865 k_T^3 + 14,648 k_T^4) G \quad (\text{II.21})$$

si  $0.75 \leq k_T \leq 0.8$

$$D = 0.20 G \quad \text{si } k_T \geq 0.8 \quad (\text{II.22})$$

#### b. Le rayonnement direct S :

$$S = G - D \quad (\text{II.23})$$

## II.2.8. Evaluation de l'éclairement solaire :

### A. Eclairement solaire direct $S^*$

$$S^* = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_l}{\sin \omega_l - \frac{\pi \omega_l}{180} \cos \omega_l} \cdot S \quad (\text{II.24})$$

Avec

$$a = 0,409 + 0.502 \sin(\omega_l - 60^\circ) \quad (\text{II.25})$$

$$b = 0.661 - 0.477 \sin(\omega_l - 60^\circ) \quad (\text{II.26})$$

### B. Éclairement solaire diffus $D^*$ :

$$D^* = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_l}{\sin \omega_l - \frac{\pi \omega_l}{180} \cos \omega_l} \cdot D \quad (\text{II.27})$$

**II.2.9. Evaluation du rayon solaire sur un plan quelconque :**

Toute surface inclinée est caractérisée par deux angles :

- Un angle  $i$  que fait la surface avec le plan horizontal du lieu désigné par  $i$  qui est l'inclinaison
- Un angle  $\gamma$  que fait la surface avec la direction sud du lieu désigné par  $\gamma$  qui l'azimut

Le rayonnement reçu par cette surface a trois composantes :

- Rayonnement direct
- Rayonnement diffus
- Rayonnement réfléchi
- Rayonnement global

**II.2.10. Evaluation de l'éclairement solaire :****a. L'éclairement solaire direct  $S^*$  :**

$$S^*(i, \gamma) = I * \cos \theta \quad (\text{II.28})$$

Avec  $\theta$  est l'angle d'incidence de rayons solaire sur la surface inclinée

$$\cos \theta = \sin i \cos \gamma \cdot \cos h \cdot \cos a + \sin i \sin \gamma \cdot \cos h \cdot \sin a + \cos i \cdot \sin h \quad (\text{II.29})$$

**b. Calcul de l'éclairement solaire diffus  $D^*$  :**

$$D^*(i, \gamma) = D * \left( \frac{1 + \cos i}{2} \right) \quad (\text{II.30})$$

**c. Calcul de l'éclairement solaire réfléchi  $R^*$** 

$$R^*(i, \gamma) = \left( \frac{1 - \cos i}{2} \right) * \rho * (I * \sin h + D) \quad (\text{II.31})$$

Avec  $\rho$  appelé albédo qui est le coefficient de réflexion qui se diffère d'un milieu à un autre.

**II.3. Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site :**

L'estimation d'une valeur de référence du rayonnement solaire que reçoit quotidiennement la surface du générateur solaire est possible Lorsque des stations météorologiques existent dans les environs et peuvent être considérées comme comprises dans la même zone climatique du site envisagé, les mesures sont aisément acquises.

Généralement, quelques séries de mesure de rayonnement, sur le site, au moins pendant un an sont nécessaires afin de vérifier que les estimations sont cohérentes avec les mesures. Un autre moyen d'estimation du rayonnement solaire est l'usage des données satellitaires. Le satellite devient alors un moyen d'observation idéal, une source irremplaçable d'information du plus grand intérêt sur le climat et son homogénéité.

Dans notre cas en absence des données météorologiques pour la région de Tizi ousou on a utilisé le logiciel Météonome.

### II.3.1.L'estimation du rayonnement solaire sur un plan horizontal

Les valeurs mensuelles du rayonnement solaire global reçus sur un plan horizontal sont énumérées dans le tableau suivant :

irradiation solaire globale KW/m <sup>2</sup> .j	jan	Fev	Mars	avril	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	Dec
G(0.0)	2.1	2.8	3.5	5.3	5.6	7.2	6.6	6.1	4.6	3.72	2.2	2.1

Tableau (II.2) : irradiation solaire globale sur un plan horizontal

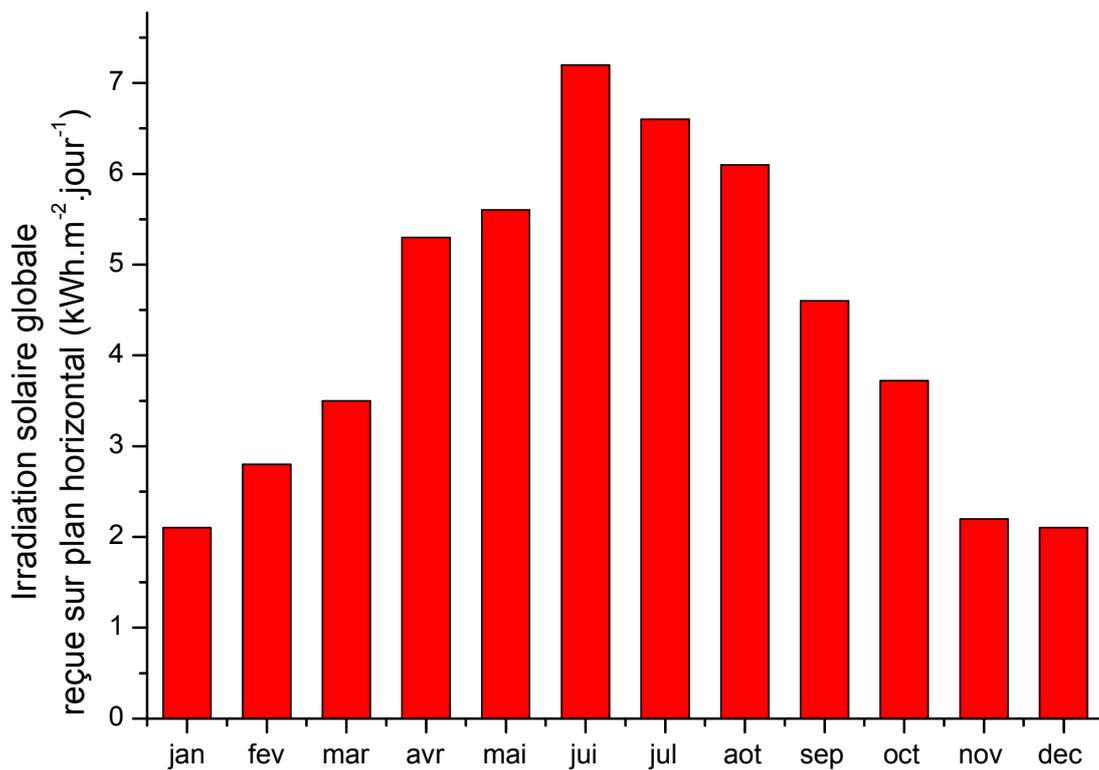


Figure (II.9) : Irradiation solaire globale reçue sur le plan horizontal

### II.3.2.L'estimation du rayonnement globale sur un plan incliné

- **L'angle d'inclinaison**

L'inclinaison peut se calculer avec précision en faisant le rapport entre la puissance captée sur une surface verticale et celle qui tombe sur la même surface placée horizontalement à chaque période de l'année. L'idéal serait une double inclinaison pour l'été et l'hiver. Mais comme la chose n'est guère praticable, il vaut mieux adopter un compromis plus proche de la solution de l'hiver plutôt que celle de l'été dans la mesure où il est préférable que la captation soit optimale quand la chaleur est plus rare. C'est ainsi qu'il est conseillé une inclinaison égale à la latitude de l'endroit (car le soleil est d'autant plus haut dans le ciel qu'on est proche de l'équateur) augmenté de  $10^\circ$

Le tableau suivant donne les valeurs de l'inclinaison idéale des capteurs photovoltaïque pour une utilisation annuelle constante en fonction de la latitude. [18]

Latitude $\varphi$ ( $^\circ$ )	Inclinaison $\beta$ ( $^\circ$ )
$\varphi < 10^\circ$	$10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

**Tableau (II.3)** : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle

irradiation solaire KW/m <sup>2</sup> .j	Jan	Fev	mar	Avr	mai	jui	jul	aot	sep	oct	nov	dec
G(46,0)	3.47	4.06	4.68	4.75	5.16	5.05	5.79	5.93	5.56	4.19	4.28	3.32

**Tableau (II.4)** : irradiation solaire globale sur un plan incliné de  $46^\circ$

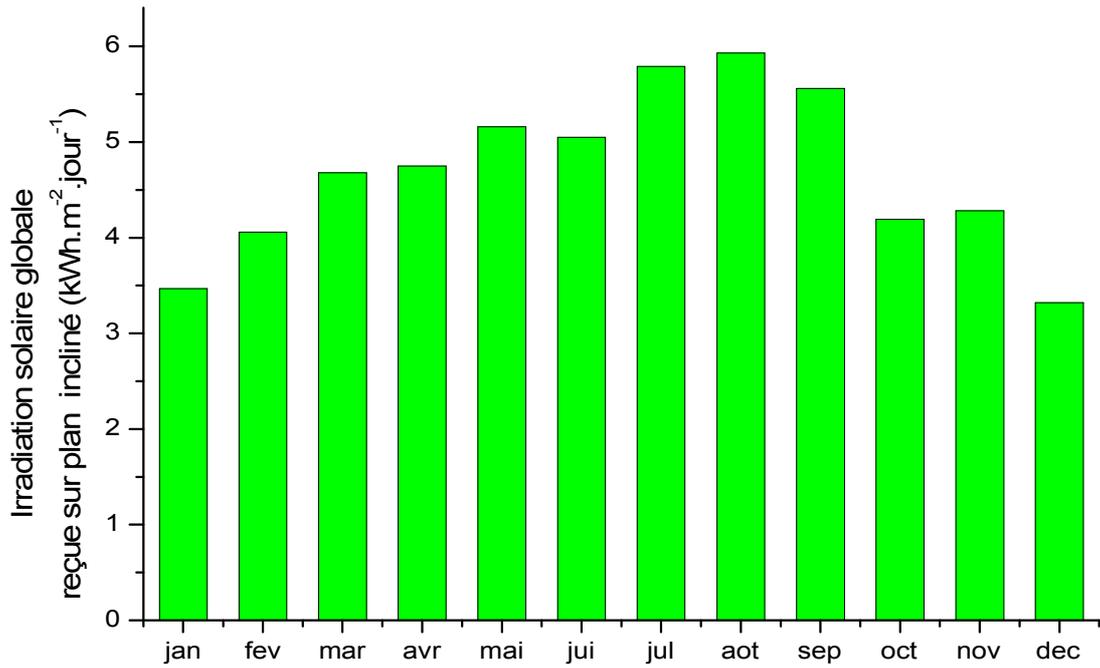


Figure (II.10):Irradiation solaire globale reçue sur le plan incliné

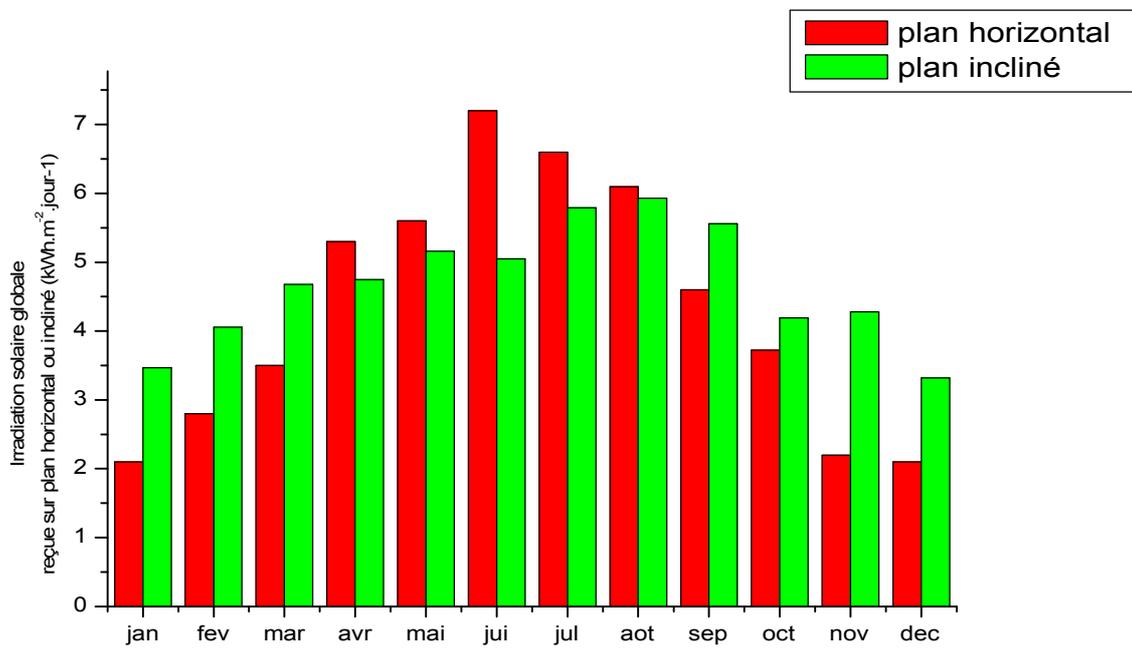


Figure (II.11) : Irradiation solaire globale reçue sur le plan horizontal ou incliné

#### II.4. Préambule sur les systèmes photovoltaïques :

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique au moyen de cellules solaires, réalisées généralement sur du silicium et appelées photopiles. Pour obtenir une puissance électrique suffisante, les photopiles sont reliées entre elles et constituent alors ce qu'on appelle un module ou panneau photovoltaïque. En fonction de la puissance électrique désirée, les panneaux photovoltaïques eux-mêmes peuvent être assemblés pour constituer ce qu'on appelle un générateur photovoltaïque.

Relié directement au récepteur sans aucun autre élément, un panneau photovoltaïque fonctionne au fil du soleil, c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance lumineuse d'ensoleillement. Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit.

Très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas toujours aux heures d'ensoleillement et/ou nécessitent une puissance électrique régulière (comme par exemple l'alimentation d'un appareil électronique ou électroménager), on équipe alors le générateur photovoltaïque de batteries ou d'un système d'accumulateurs appropriés qui permettent de stocker l'électricité photo-générée et de la restituer en temps voulu. Un régulateur est alors indispensable pour protéger le système de stockage contre les surcharges ou les décharges profondes nocives à sa durée de vie.

Enfin, comme le générateur photovoltaïque ne peut produire que du courant électrique continu (comme des piles), il est donc nécessaire, pour un certain nombre d'applications, de convertir ce courant en courant alternatif à l'aide d'un onduleur (comparable à celui utilisé pour alimenter les appareils de type télévision, réfrigérateur, etc.), on appelle tout ce procédé par un système photovoltaïque.

#### II.5. Capteurs photovoltaïque :

##### II.5.1. Cellules photovoltaïques

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation Photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique, elle est constituée de:

- Une fine couche semi-conductrice.
- Une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode
- une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule [17].

### II.5.2.Semi-conducteur :

Un semi-conducteur est un matériau, solide ou liquide, qui conduit l'électricité à température ambiante, mais moins aisément qu'un métal conducteur. La conductivité électrique désigne la capacité d'un corps à conduire un courant électrique lorsqu'une tension électrique lui est appliquée. Aux basses températures, les semi-conducteurs purs se comportent comme des isolants. A des températures élevées, ou en présence d'impuretés ou de lumière, la conductivité des semi-conducteurs s'accroît fortement, pouvant même devenir comparable à celle des métaux.

#### II.5.2.1.Semi-conducteur intrinsèque

Un semi-conducteur dit intrinsèque est un matériau idéal ne possédant ni défaut physique ni défaut chimique. Un tel monocristal possède une structure de type tétraédrique c'est à dire que chaque atome est entouré symétriquement de 4 atomes.

Sa bande de conduction est vide, il possède des électrons dans la bande de valence, la bande intermédiaire est étroite. Il conduit le courant qu'à haute température, si on le chauffe, on crée des paires électron-trou. La conduction est assurée par deux types de porteur : électrons libres et trous libres. Leurs concentration respectives  $N$  et  $P$  équivalente à la concentration intrinsèque  $N_i$  :  $N_i = N = P$ .

#### II.5.2.2. différents type de dopages

Les semi conducteurs intrinsèques n'ont pas une grande utilité en tant que tels ; ils servent de base aux semi conducteurs dopés, on y rajoute des impuretés pour modifier leur comportement. Il existe deux types de semi conducteurs extrinsèques [19]:

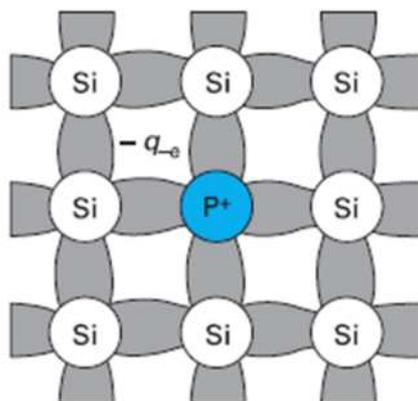
##### a. Semi- conducteur dopé n

Matériau dopé n est un semi-conducteur dont la concentration en électrons est largement supérieure à la concentration en trous. On y a introduit généralement du phosphore, de l'Arsenic ou encore de l'Antimoine. Prenons par exemple le cas du Silicium dans lequel on introduit de l'Arsenic (possède 5 électrons sur la couche extérieure). On associe à l'Arsenic un niveau donneur  $E_d$  dans la bande interdite très proche de la bande de conduction. L'intérêt est que pour les températures supérieures à  $0^\circ\text{K}$ , les atomes d'arsenic sont ionisés ce qui revient à faire passer l'électron du niveau donneur à la bande de conduction. La concentration de donneurs sera donc supérieure à la concentration d'accepteurs ( $N_d - N_a > 0$ ) ce qui correspond à la définition d'un semi-conducteur dopé n.

A la température ambiante pratiquement tous les donneurs sont ionisés et si la concentration en atomes donneurs est  $N_d$ , la densité de porteurs libres du semi-conducteur sera :

$$n = n_0 + N_d \quad (\text{II.32})$$

Où  $n_0$  est la densité d'électrons générés par le processus de rupture de liaisons de covalence qui engendre des paires électrons-trous.



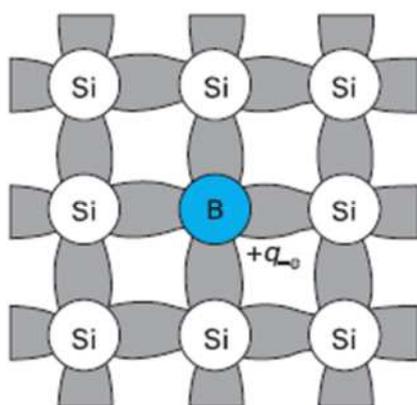
Figure(II.12) : semi conducteur dopé n

**b. Semi-conducteur dopé p**

Il s'agit d'un semi-conducteur dont la concentration en trous est largement supérieure à la concentration en électrons. On y a introduit généralement du Bore, de l'Aluminium, du Gallium ou encore de l'Indium, prenons le cas du Silicium dans lequel on introduit du Bore. On associe au Bore un niveau accepteur  $E_a$  dans la bande interdite très proche de la bande de valence [19].

De la même façon que pour le semi-conducteur dopé  $n$ , la concentration en trous du semi-conducteur sera :

$$P = P_0 + N_a \tag{II.33}$$



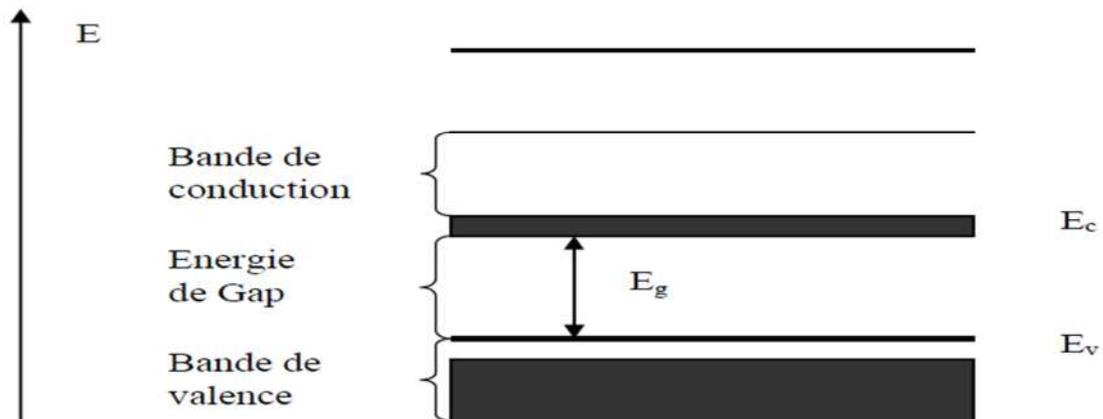
Figure(II.13) : semi conducteur dopé p

**II.5.3. Bande d'énergie :**

Les niveaux d'énergie des électrons de valence et le niveau d'énergie d'ionisation génèrent deux bandes d'énergies permises, la bande de conduction,  $E_c$  avec des minimums d'énergie permise, bande inférieure est appelée bande de valence  $E_v$  avec des maximums

d'énergie permise pour les vacances d'électrons, c'est-à-dire des trous.  $E_c$  et  $E_v$  sont séparées par une bande d'énergie interdite  $E_g$  (g pour la dénomination anglaise de gap).

La particularité de ces bandes permises tient au fait que les électrons peuvent circuler librement dans toute la maille cristalline et ainsi génèrent des courants de conduction électrique. [15]



Figure(II.14) : Diagramme des bandes d'énergie des semi-conducteurs

#### II.5.4. Jonction de deux semi-conducteurs dopés

Si on réunit deux semi-conducteurs de même bande interdite, l'un dopé  $n$  (avec une concentration de phosphore  $N_d$  de  $2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ), l'autre dopé  $p$  (avec une concentration de bore  $N_a$  de  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ), il se forme à la jonction entre ces deux matériaux une zone de transition. Afin de conserver l'équilibre des charges, on a :

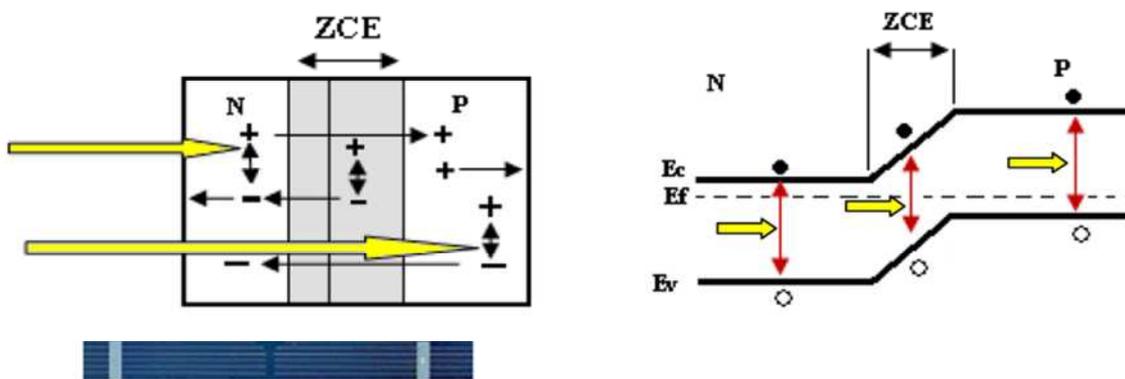
$$-q N_a = q N_d \quad (\text{II.34})$$

Et on appelle cette région **zone de charge d'espace** ou **zone de déplétion**.

Le niveau de Fermi de la région dopée  $n$  est d'autant plus proche de la bande de conduction que le niveau de dopage au phosphore est élevé. De même, le niveau de Fermi de la région dopée  $p$  est proche de la bande de valence. La différence d'énergie entre leurs niveaux de Fermi est égale à la différence entre leurs potentiels chimiques. Comme ces potentiels doivent s'égaliser, il apparaît une différence d'énergie  $qV_b$  à la jonction entre les bandes de conduction et de valence respectives des deux semi-conducteurs dopés  $n$  et  $p$ . Le niveau de Fermi résultant de la réunion des deux matériaux est unique tout en restant proche de la bande de conduction dans la zone dopée  $n$  et proche de la bande de valence dans la zone dopée  $p$ . Cette barrière de potentiel s'oppose au courant de majoritaires, c'est-à-dire aux électrons, pour les semi-conducteurs dopés  $n$ , ou aux trous, ceux dopés  $p$ , qui tendent à diffuser vers la région où ils sont peu nombreux. En réalité, dans une cellule photovoltaïque au silicium, la jonction est très dissymétrique le côté  $p$ , appelé base, est épais pour absorber

une grande partie du rayonnement solaire (typiquement de l'ordre de 200 à 300  $\mu\text{m}$ ) et peu dopé en atomes de bore lors de sa fabrication (typiquement à une concentration de  $5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  à  $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ). Le côté  $n$ , appelé émetteur, est exposé à la lumière et dopé par une diffusion d'atomes de phosphore sur une très faible épaisseur (typiquement de l'ordre de 0,3  $\mu\text{m}$ ) à une forte concentration, proche de la solubilité limite de l'élément dans le silicium (de 1 à  $2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ). Ainsi la barrière de potentiel maximale est de :  $v_b = 0,9 \text{ V}$ .

Les porteurs minoritaires (trous de la région  $n$  et électrons de la région  $p$ ) vont migrer sous l'action du champ interne qui favorise leur passage dans la région opposée à leur région d'origine. Ils donnent naissance à deux courants inverses de minoritaires qui s'additionnent pour s'opposer au courant de diffusion des majoritaires. [15]



Figure(II.15) : jonction PN

### II.5.5. Filières technologiques :

Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux semi-conducteurs. En réalité, il existe aujourd'hui trois principales filières technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques. Ces filières partagent désormais le marché.

#### II.5.5.1. Le silicium

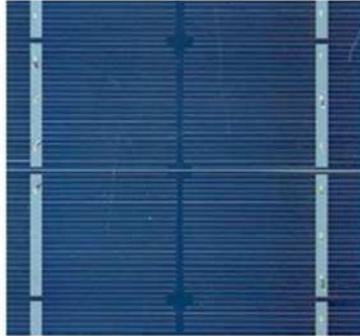
La filière silicium représente aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. Il s'agit d'un matériau extrêmement abondant, stable et non toxique. Cette filière est elle-même subdivisée en plusieurs technologies distinctes de part la nature du silicium employé et/ou sa méthode de fabrication. Cette filière comporte deux technologies :

- le silicium monocristallin
- le silicium multi cristallin [20].

##### a. Le silicium mono-cristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules.

Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme, intense et brillant. Le rendement du silicium monocristallin est le plus élevé, il est compris entre 12 et 20% pour les cellules industrielles. Son coût élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium monocristallin perd du terrain devant le silicium multi cristallin.



Figure(II.16) : une cellule en silicium mono-cristallin

#### b. Le silicium multi-cristallin (Poly-cristallin)

Le silicium multi-cristallin (Poly-cristallin) est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. A elle seule elle représente près de 50% du marché. Ces cellules sont obtenues par coulage de cristaux de silicium, ce qui rend sa structure hétérogène. Son rendement est légèrement inférieur au silicium monocristallin il est compris entre 10 et 14% selon les fabricants. En revanche sa fabrication est beaucoup plus simple, les coûts de production sont donc plus faibles.



Figure(II.17) : une cellule en silicium multi-cristallin

#### II.5.5.2. Les couches minces

D'autres filières sont en cours de développement dans le secteur photovoltaïque comme les cellules dites de seconde génération composées de couches minces pour des raisons économiques (utilisation d'une plus faible quantité de matériau). Les matériaux photo actifs

les plus utilisés en couche minces sont le silicium amorphe (a-Si), le diséléniure de cuivre indium (CIS), le tellure de cadmium (CdTe) et le (GaAs). L'avantage principal des cellules photovoltaïques composées de couches minces de matériaux est le faible coût de production par rapport à celui des cellules composées de silicium épais.

Ces technologies possèdent de bons rendements, pouvant aller jusqu'à 19%. Malgré les potentialités de ces trois technologies, les problèmes de toxicité sur l'environnement et d'approvisionnement en matières premières qu'elles soulèvent les cloisonneront aux laboratoires ou à des applications très spécifiques. [14]



*Module souple Unisolar (68Wc, 1,12 m²).*

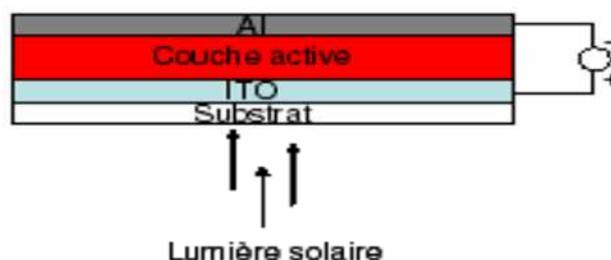
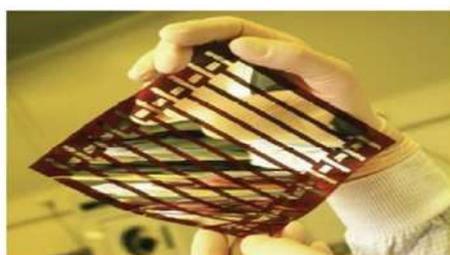


*Module rigide Sharp (115Wc, 1,42 m²).*

**Figure(II.18) : Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe).**

### II.5.5.3. Les cellules solaires organiques

Une cellule photovoltaïque organique est composée d'une couche active organique entre deux électrodes. Une électrode transparente, généralement d'ITO (anode, oxyde d'indium et d'étain  $(In_2O_3)_{90}(SnO_2)_{10}$ ), est déposée sur un substrat transparent comme du verre ou du plastique. Pour la cathode, de l'aluminium est déposé par évaporation sur la couche active. Cette couche active organique est composée de deux matériaux, l'un transporteur de trous, l'autre transporteur d'électrons [20].



**Figure(II.19) : cellule organique**

## II.6. Conversion photovoltaïque :

Le principe de conversion photovoltaïque est basé sur trois mécanismes :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif;
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la :
  - ✓ Création de paires électron/trou dans le matériau semi-conducteur.
  - ✓ Collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque. Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons / trou créées est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN comme illustré précédemment, Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région : dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont envoyés par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura un photo-courant de diffusion.

Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons/ trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. On aura un photo-courant de génération [21].

## II.7. Constitution d'un module photovoltaïque :

En associant les cellules PV en série (somme des tensions de chaque cellule) ou en parallèle (somme des intensités de chaque cellule), on peut constituer un générateur PV selon les besoins des applications visées. Les deux types de regroupement sont en effet possibles et souvent utilisés afin d'obtenir en sortie des valeurs de tension et intensité souhaités. Ainsi, pour  $N_s$  cellules en série, constituant des branches elles-mêmes  $N_p$  en parallèle, la puissance disponible en sortie du générateur PV est donnée par :

$$P_{pv} = N_s \cdot V_{pv} \cdot N_p \cdot I_{pv} \quad (\text{II.35})$$

Avec :

$P_{pv}$  : La puissance disponible en sortie du GPV

$V_{pv}$  : La tension à la sortie du GPV

$I_{pv}$  : Le courant de sortie du GPV

### a . Mise en série :

Une association de  $N_s$  cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la

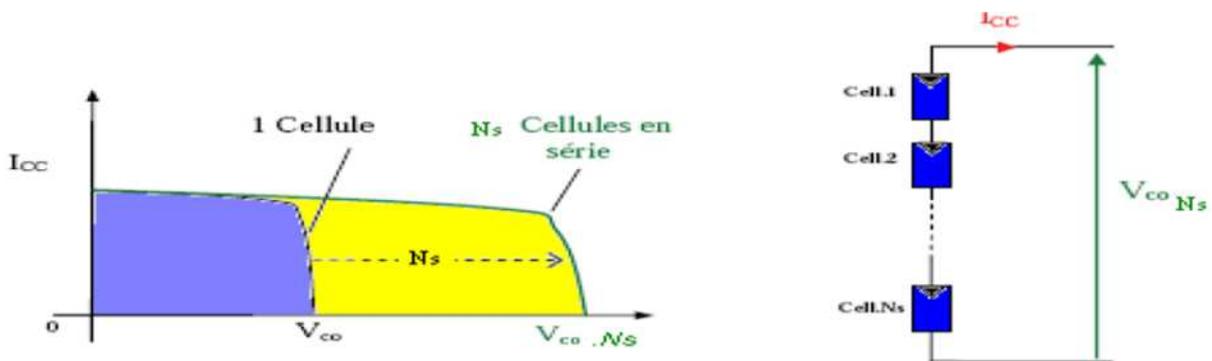
caractéristique résultant du groupement en série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

$$V_{co} = N_s \cdot V_{co} \tag{II.36}$$

Avec :

$V_{co}$  : La tension du circuit ouvert

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble.



Figure(II.20) : Caractéristiques résultantes d'un groupement de Ns cellules en série.

**b. Mise en parallèle :**

D'autre part, une association parallèle de  $N_p$  cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants.

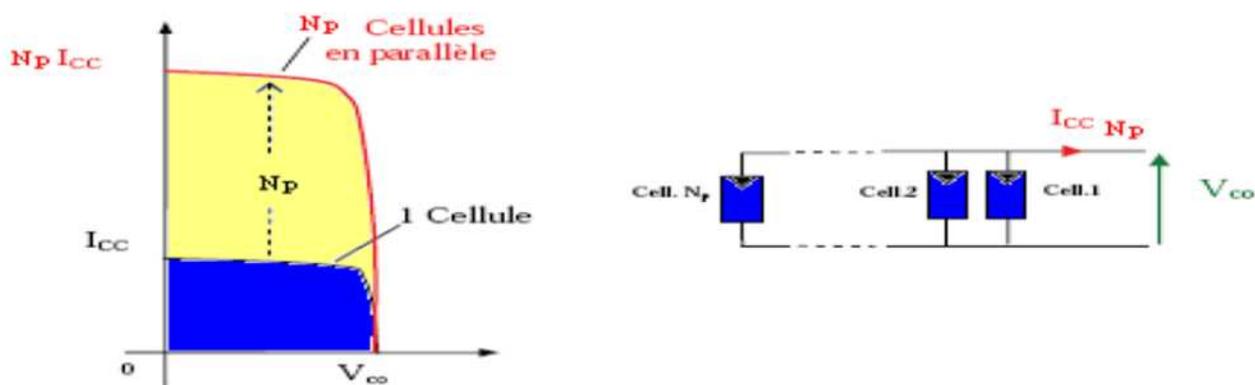
$$I_{cc} = N_p \cdot I_{cc} \tag{II.37}$$

Avec

$I_{cc}$  : Le courant de court circuit

Si l'on désire avoir un générateur PV ayant un courant de sortie plus intense, on peut soit faire appel à des cellules PV de plus grande surface et de meilleur rendement, soit associer en parallèle plusieurs modules PV de caractéristiques similaires.

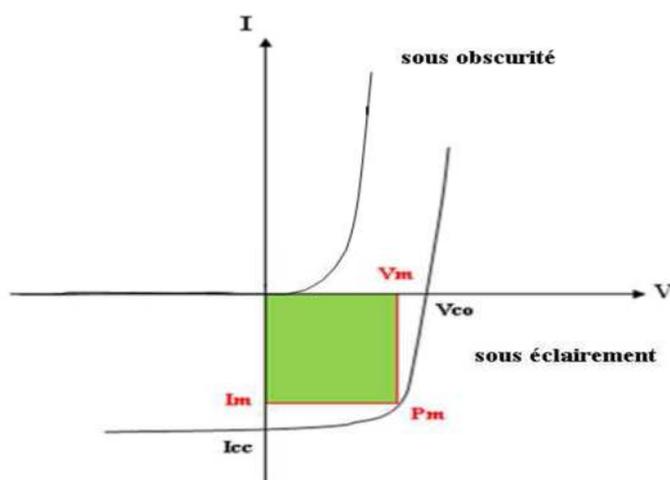
Pour qu'un générateur PV ainsi constitué puisse fonctionner de façon optimale, il faut que les ( $N_s$ ,  $N_p$ ) cellules se comportent toutes de façon identique. Elles doivent pour cela être issues de la même technologie, du même lot de fabrication et qu'elles soient soumises aux mêmes conditions de fonctionnement (éclairage, température, vieillissement et inclinaison).



Figure(II.21) : Caractéristiques résultantes d'un groupement de  $N_s$  cellules en série

### II.8. Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

On appelle caractéristique courant tension  $I(V)$ , la courbe représentant la variation du courant  $I$  en fonction de la tension  $V$  aux bornes de la cellule.



Figure(II.22) : La variation du courant  $I$  en fonction de la tension  $V$  aux bornes de la cellule.

Les grandeurs caractéristiques suivantes peuvent être extraites de ce graphe :

- Le courant de court circuit  $I_{cc}$  :

Correspond au courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle.

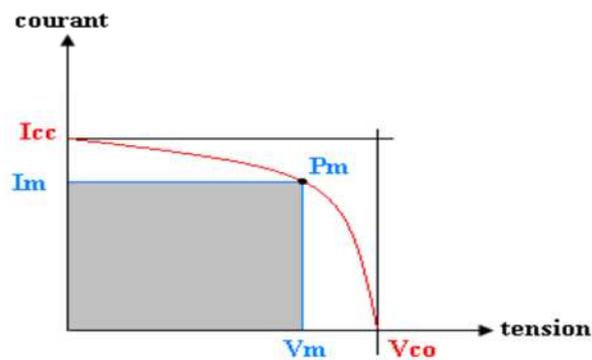
- La tension de circuit ouvert  $V_{co}$  :

Correspond à la tension qui apparaît aux bornes de la cellule quand le courant débité est nul.

### a. Facteur de forme, FF

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique  $I(V)$  pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV : c'est le facteur de remplissage ou fill factor ( $FF$ ). Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée  $P_{max}$  et la puissance formée par le rectangle  $I_{cc} * V_{co}$ . Plus la valeur de cet acteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales [22]. Il est défini par la relation suivante:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} * V_{co}} \quad (II.38)$$



Figure(II.23) : Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension.

### b. Le rendement $\eta$ :

Le rendement des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente  $P_{in}$ .

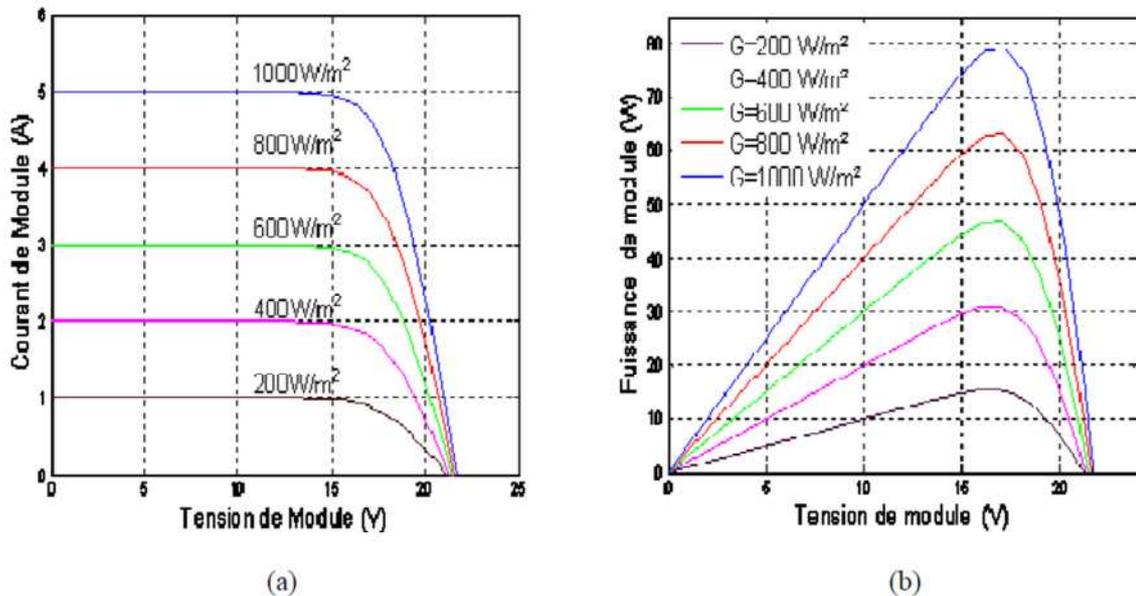
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{cc} \cdot V_{co}}{P_{in}} \quad (II.39)$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court circuit et la tension à circuit ouvert. Le rendement de conversion est un paramètre essentiel. En effet, la seule connaissance de sa valeur permet d'évaluer les performances de la cellule.

### c. Influence de la température et de l'éclairement :

La caractéristique d'une cellule PV (ou d'un générateur PV) est directement dépendante de l'éclairement et de la température.

Les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairements à température maintenue constante  $25^{\circ}\text{C}$ , la figure (II.21), montrent clairement l'existence de maxima sur les courbes de puissance correspondant aux Points de Puissance Maximale  $P_{max}$ . Lorsque l'irradiation varie pour une température donnée, le courant de court-circuit  $I_{cc}$  varie proportionnellement à l'irradiation. Dans un même temps, la tension de circuit ouvert  $V_{co}$  (à vide) varie très peu. [23]

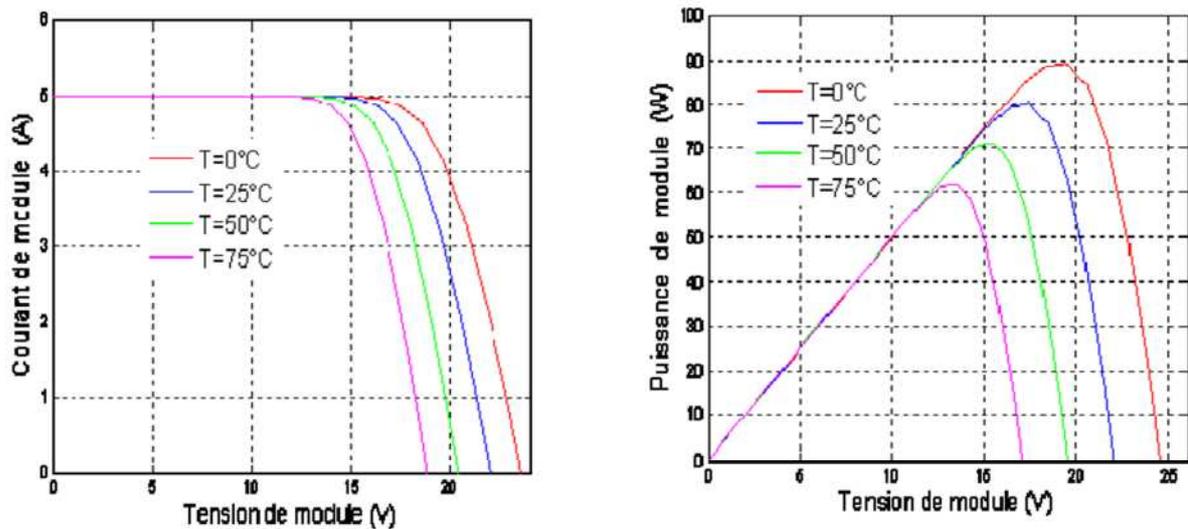


Figure(II.24) : Evolution de la caractéristique I(V) (a) et P(V) (b) en fonction de l'irradiation.

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules solaires. Son augmentation entraîne d'une part, une augmentation du courant photonique, en raison, principalement, de la diminution de la largeur de la bande interdite du matériau et d'autre part, une diminution de la tension du circuit ouvert  $V_{oc}$ . L'augmentation de la température entraînerait

- Une diminution de la puissance maximale disponible et de la tension (0.06 % par  $^{\circ}\text{C}$ ).
- Une augmentation du courant (0.4 % par  $^{\circ}\text{C}$ ).
- Une diminution du rendement et de facteur de forme FF.

La figure suivante présente la variation des caractéristiques d'une cellule PV en fonction de la température à un éclairement donné. L'éclairement est ici fixé à  $1000 \text{ W.m}^{-2}$



Figure(II.25) : Evolution de la caractéristique I(V) (a) et P(V) (b) en fonction de la température.

La température et l'éclairement sont donc les deux principaux paramètres qui vont modifier la caractéristique d'un générateur PV. Ces deux paramètres devront donc être étudiés avec soin lors de la mise en place d'une installation PV. [23]

## II.9. Systèmes photovoltaïques

### II.9.1. Systèmes autonomes

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. [17]

### II.9.2. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu- courant alternatif (CC-CA). Etant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil. [17]

## II. 10. Stockage de l'énergie :

Les caractéristiques de l'énergie solaire posent le problème de stockage au niveau des installations photovoltaïques. En effet, l'apport et les besoins en énergie ne coïncident pas, les besoins augmentent la ou les apports solaires, existent pas, comme c'est le cas pour les systèmes d'éclairage dont le besoin augmente la nuit.

Les durées de stockage peuvent être très variables, de quelques heures (passage des nuages), d'une nuit, à plusieurs jours ou mêmes plusieurs mois pour les systèmes autonomes. et selon le degré que l'on fixe au niveau de la sécurité d'approvisionnement. Le moyen le plus adapté aux systèmes photovoltaïques est le stockage.

Le système le plus couramment utilisé est les batteries d'accumulateurs électrochimiques qui permettent de stocker l'énergie électrique sous forme chimique pour le restituer à tout moment et sur demande grâce à des réactions réversibles.

### II.10.1. Le rôle d'une batterie :

Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- ✓ **Autonomie** : une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tous temps même la nuit ou par temps nuageux, sans être rechargée ni endommagée.
- ✓ **Courant de surcharge** : une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant de d'utilisation.
- ✓ **Stabilisation de la tension** : l'un des intérêts d'une batterie est la disponibilité d'une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

### II.10.2. Caractéristiques d'une batterie

Généralement une batterie est caractérisée par un certain nombre de paramètres qui déterminent son fonctionnement qui sont :

#### ✓ **La tension nominale :**

C'est la tension type de la batterie, elle correspond aussi à la tension de fonctionnement du système. Aux bornes d'un élément d'accumulateur, elle est voisine de 2V (entre 1,7 et 2,4V) suivant l'état de charge en conditions normales de fonctionnement. Elle dépend du nombre d'accumulateurs placés, ainsi une tension de 12V s'obtient en plaçant 6 éléments de 2V en série. Pour les systèmes solaires les plus courantes sont : 12V, 24V et 48V.

#### ✓ **La charge**

Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur (environ 2,2 V), en fin de charge on note un accroissement rapide de la tension, les plaques complètement polarisées, la fin de charge est atteinte à 2,6V ou 2,7V en charge cyclique.

#### ✓ **La décharge :**

Pendant la décharge, la force électromotrice varie en fonction du temps. Durant une assez longue durée d'utilisation, elle reste remarquablement constante à la valeur de 2V environ. Puis elle diminue brusquement (1,8V), il faut alors recharger l'accumulateur.

✓ **Rendement :**

Le rendement charge/décharge est le rapport entre la quantité d'électricité débitée à la décharge  $Q_d$  et celle fournie lors de la charge  $Q_c$  tel que :

$$= \frac{Q_d}{Q_c} \quad (\text{II.40})$$

Il est calculé en **Ah** et en pourcentage, ce rendement est pratiquement constant pour une batterie neuve et on prend une valeur de 0.9 Ah.

On note que le rendement est en fonction de l'état de charge de la batterie, pour un état de charge moyen, il est élevé puis il baisse rapidement lorsqu'on atteint la fin de charge et que le courant n'est plus absorbé.

✓ **Capacité**

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie que l'on peut stocker et que l'on peut restituer par celle-ci sous une tension nominale, elle est exprimée en ampère-heure (Ah).

✓ **Auto décharge**

C'est le rapport entre la quantité d'énergie perdue sans utilisation et la quantité d'énergie stockée, ou bien c'est la perte de capacité obtenue en laissant l'accumulateur au repos pendant un temps donné tel que :

$$\tau(\%) = \frac{Q_a - Q_p}{n * Q_a} \quad (\text{II.41})$$

Avec  $Q_a$  : capacité avant stockage

$Q_p$  : Capacité après stockage

$n$  : Durée de stockage en mois

✓ **Profondeur de décharge (PDD) :**

C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie.

Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie

**La durée de vie :**

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent ; c'est le nombre de séquences de charge/décharge que peut subir une batterie à sa profondeur de décharge. Le nombre de cycles maximal et la durée de vie sont fortement dépendants de la technologie de fabrication et des conditions ainsi que le mode d'utilisation de l'accumulateur, donc il a une durée de vie totale exprimée en année.

### II.10.3. Types de batteries :

#### II.10.3.1. Batterie plomb- Acide :

Elles constituent l'écrasante majorité du marché des accumulateurs. Sa bonne maîtrise technologique, son bas coût de revient, son bon rendement énergétique de charge/décharge. Ses conditions d'utilisation non difficiles à satisfaire militent en faveur de sa large utilisation. Ce système se compose de deux électrodes (positive et négative) et d'un électrolyte. L'électrode positive est en dioxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>) et la négative en plomb. L'électrolyte est une solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) qui permet le flux d'ions entre les deux électrodes et crée un courant [24].

#### ✓ Performances techniques

Le tableau suivant résume les principales données techniques des accumulateurs au plomb.

<b>Température de fonctionnement</b>	-20 à +50°C
<b>Energie</b>	25/45 Wh/kg 60/120 Wh/dm <sup>3</sup>
<b>Nombre de cycles profonds</b>	300/1500
<b>Puissance massique</b>	80/150 W/kg
<b>Rendement (a)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energétique : de 60 à 95 %</li> <li>• Faradique : de 65 à 100%</li> </ul>
<b>Auto décharge</b>	2 à 10 % par mois à 25°C
<b>Maintenance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surveiller le niveau d'eau pour les batteries (ouvertes) non étanches tous les 2 mois</li> <li>• Sulfatation de l'électrolyte en cas de stockage prolongé → brassage</li> </ul>
<b>Impact environnemental</b>	Le plomb est toxique → recyclage (≅ 100%) par réduction des oxydes de plomb et tri pneumatique ou hydraulique des plastiques (polypropylène)
<b>Sécurité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acide sulfurique : corrosif</li> <li>• Problèmes de suppression de l'hydrogène en cas de surcharge</li> </ul>

Tableau(II.5) : Principales données techniques de la batterie au plomb

### II.10.3.2. Batteries au Nickel- cadmium :

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb- Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium. La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément Suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif. [25]

### II.11. Système de régulation :

Les systèmes de régulation de charge sont des équipements qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie.

Une longévité raisonnable n'est atteinte que par une protection soignée contre la surcharge ou la décharge trop profonde d'une batterie. Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation.



Figure(II.26) : régulateur de charge

### II.12. Système de conversion :

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu continue), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

Un onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil [26].



Figure(II.27) : convertisseur

### II.13. Câblage :

#### a. Câblage électrique :

Ils seront à l'extérieur, exposés au vent, au gel, au soleil et autres agressions. Il est strictement nécessaire d'utiliser des câbles adaptés à des sections (diamètre) suffisantes. Nous allons d'abord effectuer un branchement par un câble électrique qui sera un câble de qualité par exemple, il devra subir les agressions du vent, de la pluie, du soleil, du gel, croissance marines et autres. La section sera d'au moins  $1.5 \text{ mm}^2$ ,  $2.5 \text{ mm}^2$  dès que la longueur excède 25m ou que la puissance du module soit supérieure à 100W [27].

#### b. Câblage de liaison :

Il se trouve entre les modules et le régulateur, il doit être d'une section d'au moins  $2.5 \text{ mm}^2$  ou plus si la longueur excède 15cm. Pour une intensité inférieure à 4A, sa section sera calculée de façon à ne pas avoir plus de 6% de chute de tension.

### II.14. Conclusion

Ce chapitre est consacré aux données sur le soleil et son exploitation pour la production de l'énergie électrique nécessaire pour le fonctionnement du réfrigérateur objet de notre étude.

En premier lieu nous nous sommes intéressé au gisement solaire, on a présenté les multiples coordonnées terrestres et horaires, on suite on a montré les différents types de rayonnement et les expressions mathématiques de chaque rayonnement selon la variation d'inclinaison et d'orientation.

On a défini les composants des capteurs photovoltaïque, on commençant par les filières technologiques des cellules, leurs différentes caractéristiques ainsi que la transformation de l'énergie lumineuse en énergie électrique.



***Chapitre III :***  
***Dimensionnement***  
***des composants du***  
***réfrigérateur***



### III.1. Introduction

Le réfrigérateur solaire RS 218, est assemblé à partir de la cuve intérieure du 300 D et les pièces de tôlerie du 520 L, les dimensions qu'on fera seront donc imposées pour celles de ces pièces. Le but de ce chapitre est d'établir le bilan thermique, et le dimensionnement du circuit frigorifique, pour déduire la consommation électrique, l'élément clé dans le chapitre suivant.

### III.2 .Description de l'appareil

Le réfrigérateur solaire RS218 est une machine frigorifique à compression de vapeur, d'une capacité de 218L, avec un seul compartiment (la partie réfrigérateur) de température modérée. L'armoire est constitué de deux cuves, une cuve intérieure et une autre extérieure, séparée l'une de l'autre par une couche d'isolant.

#### III.2.1. La cuve intérieure

C'est une armoire en matière plastique de type HIS (High Impact Styrene) réalisée par le procédé de thermoformage.

#### III.2.2. La cuve extérieure

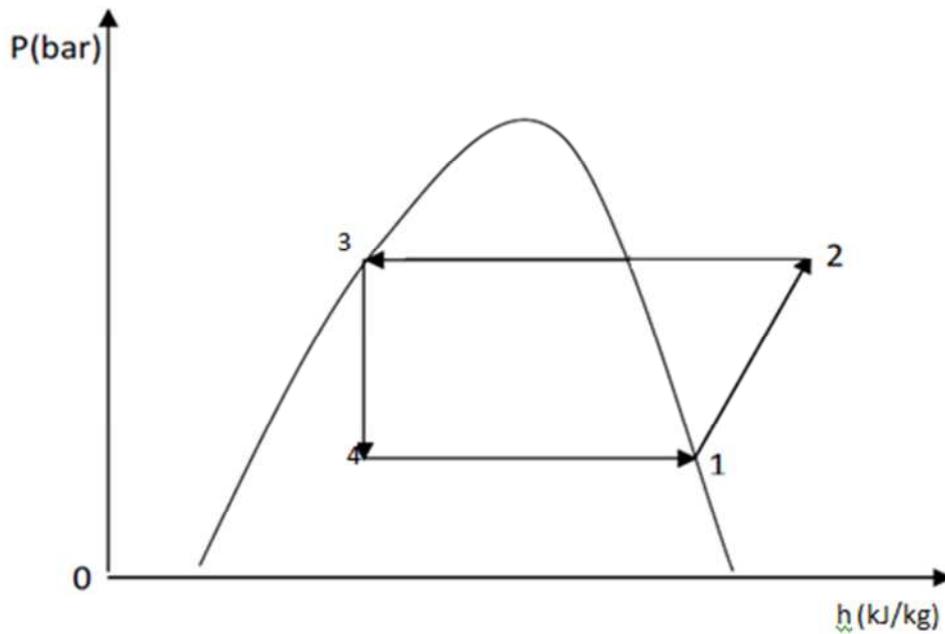
Elle est construite par une tôle d'acier avec traitement antirouille et revêtue d'une couche de peinture blanche.

#### III.2.3. L'isolant

L'isolation thermique est réalisée par l'injection de la mousse de polyuréthane expansée entre la cuve intérieur et la cuve extérieur constituant l'armoire frigorifique, d'une épaisseur de 100 mm en moyenne.

### III.3. Cycle théorique du réfrigérateur RS218

Les transformations subies par le fluide frigorigène lorsqu'il décrit un système idéal sont représentées sur le diagramme enthalpique (p, h), et les évolutions sont comme suit :



Figure(III.1) : cycle théorique d'une machine frigorifique

**1→2 :**

Le compresseur aspire les vapeurs provenant de l'évaporateur et restitue au refoulement des vapeurs comprimées et surchauffées ; le travail fourni au compresseur est égal à la différence des enthalpies du fluide entre le point de refoulement et le point d'aspiration.

$$w = h_2 - h_1 \quad (\text{III.1})$$

**2→3 :**

Les vapeurs comprimées et à température relativement élevée pénètrent dans le condenseur ; après leur désurchauffe jusqu'à la température de saturation, elles sont condensées à température constante en cédant de la chaleur au milieu extérieur.

La quantité de chaleur à évacuer au condenseur est égale à celle absorbée à l'évaporateur augmentée par le travail de compression

$$Q_c = Q_e + w = Q_e + h_2 - h_1 \quad (\text{III.2})$$

Avec

$$Q_e = h_1 - h_4 \quad (\text{III.3})$$

**Finalement**

$$Q_c = h_2 - h_4 \quad (\text{III.4})$$

## Chapitre III Dimensionnement des composants du réfrigérateur

**3→4 :**

Le fluide frigorigène entre dans le tube capillaire et subi une chute de pression, ceci provoque d'une part, la vaporisation partielle de celui-ci et d'autre part, le refroidissement du frigorigène jusqu'à la température de vaporisation du liquide restant. La détente du fluide est une détente isenthalpique, soit

$$h_3 = h_4 \quad (\text{III.5})$$

**4→1 :**

Le mélange liquide-vapeur provenant du détendeur se vaporise totalement dans l'évaporateur par ébullition à une température constante ce que provoque une absorption d'une quantité de chaleur du milieu à refroidir, soit :

$$Q_e = h_1 - h_4 \quad (\text{III.6})$$

On introduisant ces évolutions dans le diagramme enthalpique on aura les résultats suivant :

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Pression (bar)	1.8	12	12	1.8
Température (°C)	-13	45	45	-13
Enthalpie (kJ/kg)	390	430	264	264

Tableau III.1 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique

### III.4 .Besoin frigorifiques du réfrigérateur RS218

Les besoins frigorifiques sont équivalent aux apports calorifiques, en provenance de L'extérieur par différents modes de transmission à travers les parois, et par les joints.

### III.5. Dimensions de l'armoire frigorifique

Les dimensions des parois du réfrigérateur et les apports calorifiques, sont représentées sur la figure (III.2).

### III.6. Bilan thermique :

Le réfrigérateur est conçu pour assurer une température de conservation de +5°C et doit répondre à la classe climatique (tropicale). C.à.d. 43°C.

Pour simplifier le calcul, nous supposons que la température de la paroi extérieure est inférieure de 2°C par rapport à l'ambiance et la température des parois internes est supérieure de 2°C par rapport à la température de consigne.

La température de l'ambiance extérieure à utiliser pour le calcul sera de 45°C.

Le flux de chaleur traversant une paroi du réfrigérateur par conduction est donné par la formule :

$$\phi_i = K S_m \Delta T \quad (\text{III.7})$$

Avec

## Chapitre III Dimensionnement des composants du réfrigérateur

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1} + h_r} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{c2} + h_r}}$$

$S_m$  : Surface moyenne de la paroi

$\lambda$  : conductivité thermique de l'isolant = 0,021 w/m°C

$e$  : épaisseur de l'isolant.

$\Delta T = (T_{pe} - T_{pi})$ .

en négligeant les résistances thermiques de convection  $\frac{1}{h_{c1} + h_r}$  et de rayonnement  $\frac{1}{h_{c2} + h_r}$

Devant la résistance thermique de l'isolant.

Paroi	Flux	Surface Moy	Epaisseur Moy	$T_{p_{ext}}$	$T_{p_{int}}$	Valeur Du flux
01	$\phi_1$	0.55	0.1	43	7	4.158
02	$\phi_2$	0.55	0.1	43	7	4.158
03	$\phi_3$	0.57	0.08	43	7	5.255
04	$\phi_4$	0.349	0.08	43	7	3.298
05	$\phi_5$	0.215	0.09	43	7	1.806
06	$\phi_6$	0.149	0.1	43	7	1.126
07	$\phi_7$	0.049	0.2	43	7	0.185
08	$\phi_8$	0.603	0.04	43	7	11.396
joint	$\phi_j$	/	/	45	5	7.9

**Tableau (III.2): flux thermiques traversant les parois du réfrigérateur**

Les apports vers l'intérieur sont donnés par :

$$\Phi_T = \sum \phi_T = 39.282W$$

### III.7 : Débit massique du fluide frigorigène

Le débit théorique du fluide frigorigène est donné par le rapport de la puissance frigorifique effective  $\phi_0$  par la quantité de chaleur soutirée de l'évaporateur.

$$\dot{m} = \frac{Q_0}{Q_e} \tag{III.8}$$

Avec

$$Q_e = h_1 - h_4 = 390 - 264 = 126 \text{ kJ/kg}$$

$Q_0$  : La puissance frigorifique effective elle est calculée pour un temps de marche entre 14h et 16h dans notre cas la durée de marche de l'installation est de 15h

$$Q_0 = \frac{24 * Q_T}{15} = 54.5 \text{ kcal/h} = 63W \tag{III.9}$$

D'où

$$\dot{m} = 1.65 \text{ kg/h}$$

### III.8 : Dimensionnement des échangeurs :

#### III.8.1 : Evaporateur :

Pour maintenir la température intérieure à + 5°C, il va falloir extraire de l'enceinte du réfrigérateur les apports de chaleur calculé précédemment.

Pour ce faire, on doit déterminer la surface d'échangeur nécessaire de l'évaporateur pour son évacuation.

Le flux à évacuer :

$$\Phi_{EV} = h s \Delta T \quad (\text{III.10})$$

$h$  : coefficient d'échange convectif que l'on prendra à 8kcal/m<sup>2</sup>h°C. [28]

Soit 9,28 w/m<sup>2</sup>°C

$$T = T_{\text{int}} - T_{\text{ext}} \quad (\text{III.11})$$

(Température d'évaporation que assimilera à la température d'évaporation de -13°C).

D'ou :

$$S = \frac{\Phi_{EV}}{h \Delta T} \quad (\text{III.12})$$

Application :

$$S = \frac{63}{9,28(5 - (-13))} = 0,38 \text{ m}^2$$

$$S = 0,38 \text{ m}^2$$

La plaque évaporateur du réfrigérateur 520L ayant une surface d'échange de 0,41m<sup>2</sup> (566\*372mm) convient parfaitement pour cet évaporateur



Figure (III.3): évaporateur roll bond

### III.8.2. Condenseur:

La quantité de chaleur à dissiper au condenseur est la somme de la quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur et l'équivalent calorifique produit par le condenseur.

En utilisant le diagramme enthalpique pour notre application :

✓ **Débit du fluide frigorigène :**

$$\dot{m} = \frac{\Phi_0}{h_3 - h_2} = \frac{63}{390 - 264} = 1.65 \text{ Kg/h} \quad (\text{III.13})$$

✓ **Equivalent calorifique du compresseur :**

$$\dot{m} = \frac{\Phi_{\text{comp}}}{(h_3 - h_2)} \rightarrow \Phi_{\text{comp}} = \dot{m} * (h_3 - h_2) \quad (\text{III.14})$$

$$\Phi_{\text{comp}} = 5.10^{-4} * (430 - 390) * 10^3 = 20 \text{ W}$$

✓ **Chaleur à dissiper au condenseur :**

$$\Phi_c = \Phi_{\text{comp}} + \Phi_0 = 63 + 20 = 83 \text{ W} \quad (\text{III.15})$$

$\Phi_c = 83 \text{ W}$

Le condenseur doit être dimensionné pour évacuer 83W

### III.8.3 : Surface d'échange du condenseur :

En supposant que la température de la paroi extérieure vaut la température de condensation, on néglige la résistance thermique due à la condensation.

La résistance thermique de conduction la paroi de condenseur  $K = h_c$

Nous déterminons la surface d'échange du condenseur en posant l'équation suivante:

$$\Phi_c = h_c s \Delta T \quad (\text{III.16})$$

$h$  : coefficient convectif que nous prendrons égale à  $14,5 \text{ w/m}^2\text{°C}$  [28]

$S$  : surface d'échange du condenseur

$\Delta T$  : écart de température entre le condenseur ( $54\text{°C}$ ) et l'ambiance extérieure ( $45\text{°C}$ )

$$S = \frac{\Phi_c}{h \Delta T} = \frac{83}{14,5 \cdot (54 - 45)} = 0,65 \text{ m}^2$$

La surface du condenseur doit être de  $0,65 \text{ m}^2$ . Sachant que la surface d'un seul étage est  $0,031 \text{ m}^2$ , donc le nombre total d'étage on aura Soit 21 étages.

$N = 21$  étage

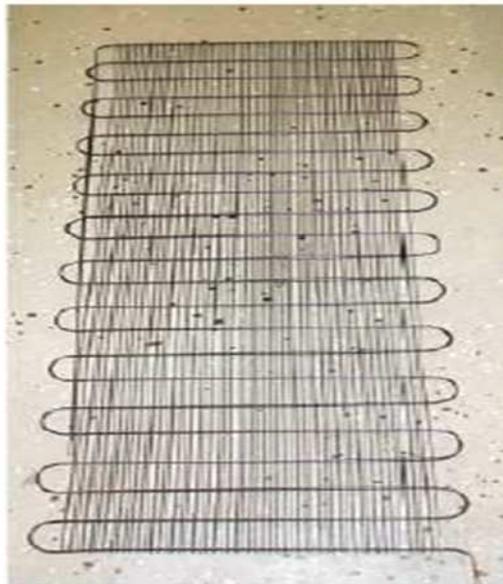


Figure (III.4) : Condenseur de type tube et fil

### III.8.4 : Choix du compresseur :

Le choix du compresseur est obtenu en utilisant un logiciel de DANFOSS qui est le coolselector pour compresseur basse tension.

Le compresseur correspondant à nos spécifications est le BD50F

#### III.8.4.1 : Caractéristiques techniques du compresseur BD50F (utilisé pour le réfrigérateur solaire RS 218) :

- ✓ Tension d'alimentation : 12/24 volt (continue)
- ✓ Utilisation de R134a
- ✓ Température d'évaporation : 0 jusqu'à  $-30\text{°C}$

## Chapitre III Dimensionnement des composants du réfrigérateur

- ✓ Charge maximale est de 300g
- ✓ Moteur à vitesse variable.
- ✓ Température maximale de condensation est de 55°C.
- ✓ Température ambiante maximale est de 43°C.
- ✓ Capacité : 34,9 W à -23,3°C selon (EN12900/CEOOMAF), et de 43,1°C selon (ASHRAE).
- ✓ Consommation d'énergie électrique : 34 W à -15°C (Température d'évaporation).
- ✓ Cop : 1,03 à -15°C (Température d'évaporation).
- ✓ Vitesse de rotation est de 2000tr/min.



Figure (III.5) : Compresseur BD50F

### III.9.Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'étude d'un réfrigérateur à compression de vapeur composé d'un seul compartiment et fonctionnant en R134a, les contraintes industrielles étaient liées à l'utilisation de la cuve intérieure du 300D et les pièces de tôlerie du 520L. Le bilan thermique nous a permis de dimensionner les différents composants du réfrigérateur solaire et définir à la fin sa consommation électrique.

Le chapitre suivant sera dédié à déterminer la taille du champ photovoltaïque à installer

A decorative border in blue ink, featuring stylized floral and vine motifs, frames the entire page. The border is composed of four segments: a top segment, a bottom segment, a left vertical segment, and a right vertical segment, all meeting at the corners.

# ***Chapitre IV :***

## ***Etude technico- économique***

### IV.1. Introduction

Le photovoltaïque a trouvé son utilité dans des applications à petites échelles et pour des Systèmes de transmissions isolés. L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie Intéressante. Elle est renouvelable, inépuisable et non polluante. Pour qu'elle soit utilisée sur une large plage d'applications et pour satisfaire les contraintes du coût, le système devrait présenter une bonne exploitation des cellules photovoltaïques. Pour cela, il faut extraire le maximum de puissance du générateur PV. Le dimensionnement des systèmes photovoltaïques optimisés est par nature difficile, elle exige une analyse précise des besoins électriques et les données météorologiques du site.

Ce chapitre présente l'étude de la performance du réfrigérateur utilisant un compresseur de type DANFOSS avec une consommation électrique de 44.7W et fonctionnant en 24VCC.

### IV.2. Dimensionnement du système photovoltaïque alimentant le réfrigérateur

Le dimensionnement des systèmes photovoltaïques consiste en la détermination des deux principales grandeurs à savoir la taille du champ de modules photovoltaïques produisant de l'énergie électrique et la capacité du stockage énergétique (batterie) pour un fonctionnement journalier.

D'une manière générale, pour dimensionner ce système photovoltaïque, les tailles respectives des sous-systèmes qui le compose (champ de modules, batteries) sont données en tenant compte de la ressource énergétique solaire existante sur le site où le système est implanté (rayonnement solaire) et du profil de charge du système frigorifique (c'est-à-dire la consommation journalière moyenne). Il est bien entendu que la fiabilité et l'efficacité du système solaire dépendent étroitement du dimensionnement effectué.

Les méthodes sont nombreuses, dans notre cas, nous allons procéder comme suit :

#### IV.2.1. Méthode du mois le plus défavorable

On s'intéresse à une méthode dite « la méthode du mois le plus défavorable » vu qu'on ne dispose que de valeurs mensuelles de l'irradiation solaire. Son principe est de réaliser un bilan énergétique sous les conditions les plus défavorables [29] pour le système. C'est-à-dire, si le système fonctionne durant ce mois, il fonctionnera les autres mois, donc il nous garantit un fonctionnement annuel.

##### IV.2.1.1. Estimation de la consommation

La première étape à suivre lors du dimensionnement d'une installation photovoltaïque est l'estimation de la consommation d'électricité, et la connaissance de la périodicité de ses besoins. La périodicité est en fait le rythme de la consommation d'électricité, elle peut être continue (tous les jours de l'année), ou périodique (week-end, vacance,..). L'évaluation précise des besoins en électricité consommée est primordiale pour un bon dimensionnement. Pour calculer l'énergie consommée nécessaire par jour (Wh/jour), on multiplie la puissance

(W) de chaque équipement par le nombre d'heures de fonctionnement respectivement (h/jour).

$$E_c = p * h \quad (IV.1)$$

Avec

$E_c$  : consommation en électricité de l'application

$P$  : puissance électrique consommé par la charge(en W)

$h$  : la durée d'utilisation quotidienne moyenne (en h)

Pour notre réfrigérateur solaire la consommation électrique elle est de l'ordre de 44.7W fonctionnant 15h par jour, on aura

$$E_c = p * h = 44.7 * 15 = 670.5 \text{ Wh/j}$$

#### IV.2.1.2. Dimensionnement du système photovoltaïque

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra installer pour couvrir ces besoins en électricité, il faut pour cela :

##### a. Estimer la puissance crête du champ photovoltaïque

La puissance crête du champ photovoltaïque à installer dépend de l'irradiation du lieu. On la calcule de façon à satisfaire les besoins pendant la période la plus défavorable en appliquant la formule suivante [30]:

$$P_c = \frac{E_c}{K.E} \quad (IV.2)$$

Avec

$E_c$  : Consommation électrique de l'application.

$E$  : le rayonnement solaire global journalier minimal reçue sur le plan des modules

$K$  : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

De l'incertitude météorologique, de l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison. des rendement de la batterie et du régulateur et les pertes dans les câbles de connections.

$K$  est en générale compris entre 0,55 et 0,75. La valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est  $k=0,65$  [31].

$$P_c = \frac{0.670}{0.65 * 3.32} = 312 \text{ W}_c$$

##### b. Déterminer le nombre de modules photovoltaïques

Soit une installation fonctionnant sous une tension  $V_{ch}$ , la puissance crête nécessaire est égale à  $P_{ch}$ , les modules disponibles sont de puissances crête et de tension nominale  $V_n$ . Le nombre total de modules à installer se calcule par :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{P_c} \quad (IV.3)$$

$$N_m = \frac{312}{80} = 3.89 = 4 \text{ modules.}$$

Le nombre de module en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (IV.4)$$

Le nombre de module en parallèle :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (IV.5)$$

Pour la disposition des modules on choisit une disposition de 2\*2 ou bien 02 modules en série avec 02 branches.

### c. Dimensionnement des batteries

Pour assurer la continuité de l'alimentation pendant les jours de mauvais temps, on prévoit un système de stockage qui se compose généralement de batteries. La capacité qui doit être installée dépend, de la tension ( $U$ ), du rendement de la batterie ( $\eta_{bat}$ ) et de la profondeur de décharge (PDD = 0,8) de la batterie, ainsi que l'énergie demandée par la charge ( $E_c$ ) et le nombre de jours d'autonomie ( $N$ ) pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité sans que les modules ne fonctionnent.

$$C_{bat} = \frac{E_c * N}{PDD * \eta_{bat} * V_{bat}} \quad (IV.6)$$

$$C_{bat} = \frac{670.5 * 3}{0.8 * 0.97 * 12} = 216 \text{ Ah}$$

Nombre de batterie en série

$$N_{bat.s} = \frac{U}{U_b} \quad (IV.7)$$

Avec

$U$  : tension du système qui est de 24V

$U_b$  : Tension élémentaire d'une batterie, elle est de l'ordre de 12V

Donc

$$N_{bat.s} = \frac{24}{12} = 2 \text{ batteries}$$

Nombre de batterie en parallèle :

$$N_{bat.p} = \frac{C_{bat}}{C_U} \quad (IV.8)$$

Avec

$C_U$ : Capacité unitaire d'une batterie obtenue du constructeur.

Donc

$$N_{bat.p} = \frac{216}{120} = 2 \text{ branchement}$$

#### d. Dimensionnement du régulateur

Le régulateur sera 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.
- **Courant de sortie :** 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 :

$$I_S = 1.5 * \frac{P}{V_{ch}} \quad \text{(IV.9)}$$

Avec

P : Puissance totale des récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au maximum de leur puissance de fonctionnement ( $w$ ), donc la puissance d'un appareil fois le nombre de modules en séries.

$$I_S = 1.5 * \frac{44.7*2}{12} \approx 10A$$

### IV.2.2. Dimensionnement photovoltaïque avec le logiciel PV syst

#### IV.2.2.1. Présentation du logiciel PV syst

Le logiciel PVSYST est un logiciel d'étude et de simulation de systèmes photovoltaïques, développé dans la cadre du Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève par André Mermoud. il comporte quatre fenêtres :

- Pré-dimensionnement
- Concept de projet
- Base de données
- Outil

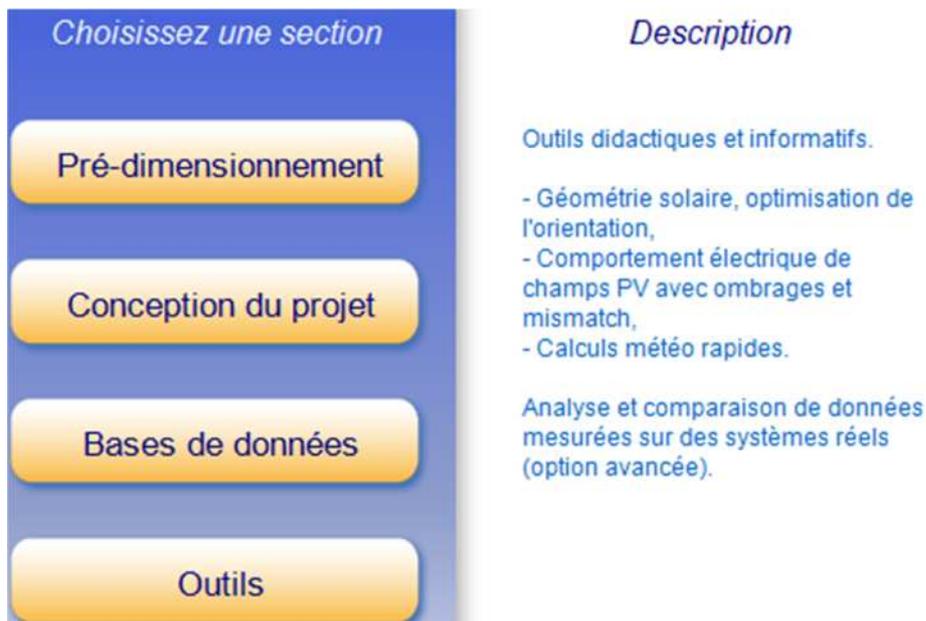


Figure (IV.1) : interface principale du logiciel PV syst

#### A. Pré-dimensionnement :

- **Systèmes liés au réseau**

Le niveau qui propose l'étude d'un avant projet est destiné aux personnes qui souhaitent Dimensionner rapidement un système photovoltaïque et en obtenir les résultats majeurs aisément. Un avant projet ne requiert comme données que les éléments suivants:

Un lieu, une puissance installée, une surface à disposition ou une quantité d'énergie souhaitée des considérations concernant le type de panneaux (technologie), leur intégration (toiture plate, inclinée) ainsi que leur ventilation.

- **Systèmes isolés avec batteries**

Le pré-dimensionnement offre également la possibilité de dimensionner rapidement et simplement un système autonome. A l'instar de la démarche pour un système connecté au réseau, la définition d'un système autonome est rapide et d'appréhension simple. Une fois la situation ainsi que l'orientation du champ défini, l'utilisateur introduit la charge du système. Celle-ci peut se définir annuellement, mensuellement ou par saison.

**Definition of Daily Household consumptions**

Number		Power	Mean Daily use	Daily energy
0	Fluorescent lamps	0 W/lamp	0.0 h/day	0 Wh
0	TV / Magnetoscope / PC	0 W/app.	0.0 h/day	0 Wh
0	Domestic appliances	0 W/app.	0.0 h/day	0 Wh
1	Fridge / Deep-freeze		0.67 kWh/day	670 Wh
0	Dish-washer, Cloth-washer		0.00 kWh/day	0 Wh
	Other uses	0 W tot	0.0 h/day	0 Wh
	Stand-by consumers	0 W tot	24h/day	0 Wh

**Total daily energy 670 Wh/day**  
**Total monthly energy 20.1 kWh/month**

Appliances info

Consumption definition by:  Year  Seasons  Months

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

Model:

Figure(IV.2) : introduction de charge pour un système isolé

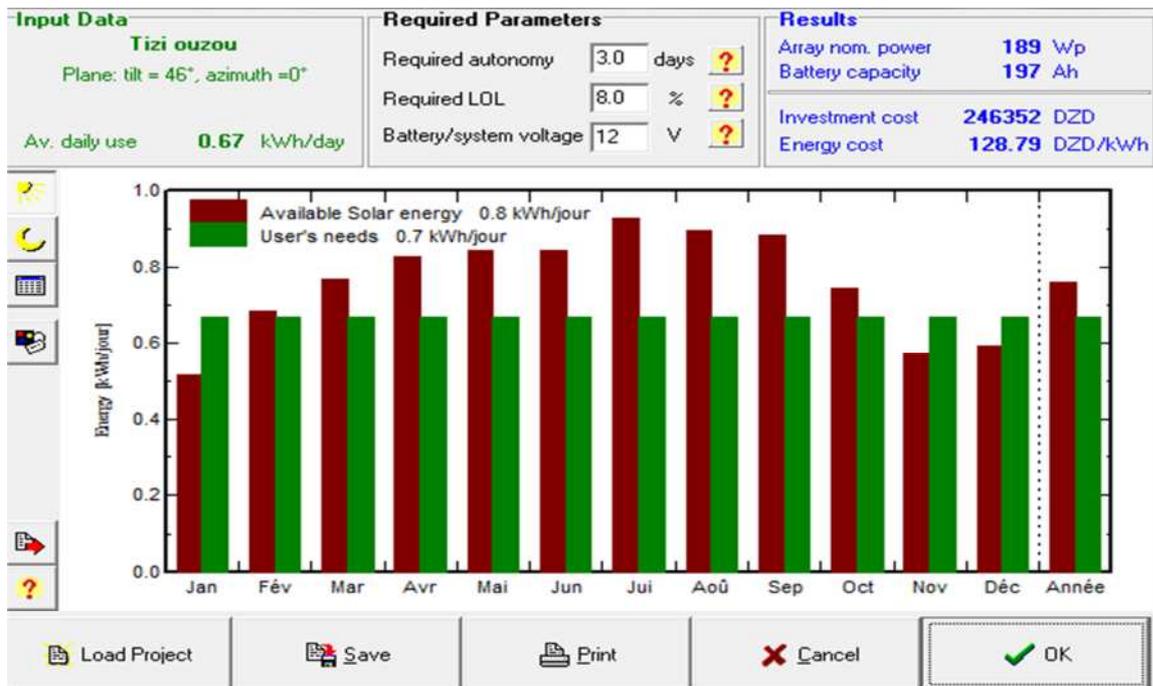


Figure (IV.3) : résultat de pré-dimensionnement

**B. Concept de projet**

**• Définition du système et configuration du champ photovoltaïque**

Cette étape dans la définition d'un système photovoltaïque a connu une grande amélioration par l'implémentation d'un système expert qui guide, sans le contraindre, l'utilisateur vers un dimensionnement adéquat des différents composants d'une installation. Ce guide a été introduit dans chaque type de système proposé, à savoir

- Système connecté au réseau
- Système autonome
- Système connecté à un réseau de tension continue (transports publics).

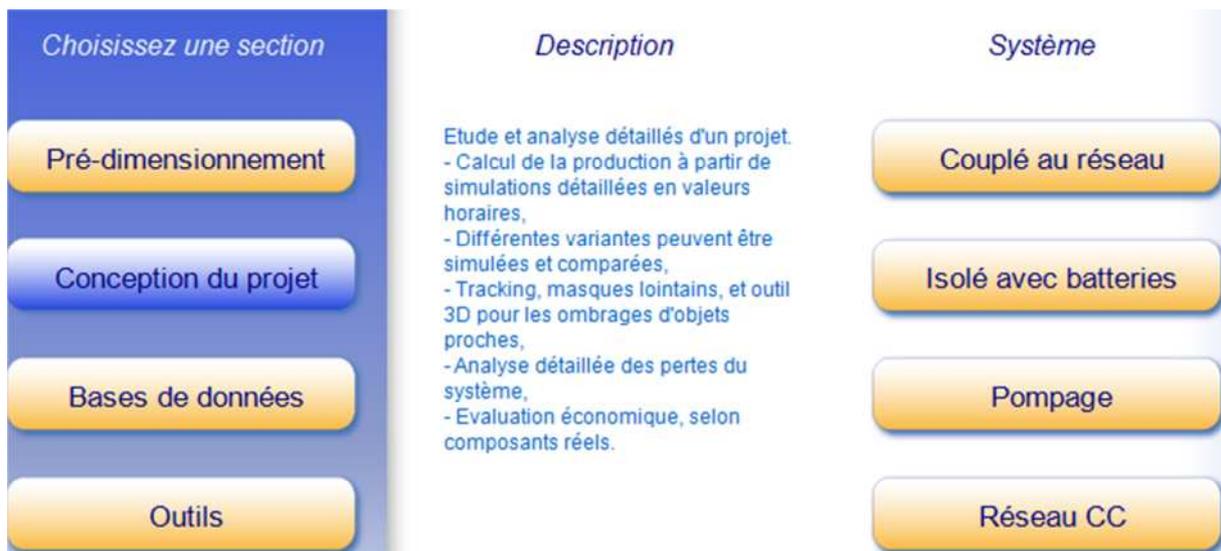


Figure (IV.4) : conception d'un projet

- **Système autonome**

Dans ce type de système, après avoir défini les besoins de l'utilisateur final, le planificateur doit optimiser la taille de l'accumulateur et du champ photovoltaïque en fonction des paramètres météorologiques et du facteur d'autonomie désiré. Dans cette démarche, il est guidé par PVSYST qui, lui propose une configuration possible en fonction de ces critères.

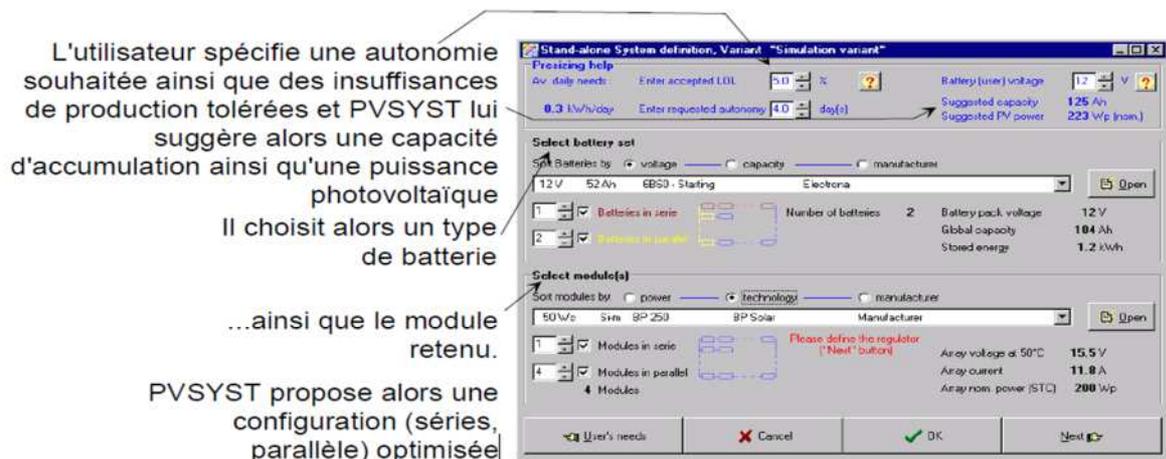


Figure (IV.5) : configuration optimisée proposée par le logiciel

### C. Base de données

Le troisième niveau d'utilisation proposé par PVSYST offre une grande palette d'outils informatiques relatifs à l'énergie solaire. Ce niveau d'utilisation permet de saisir des données météorologiques, de définir des composants photovoltaïques et de comprendre le fonctionnement d'un tel système.

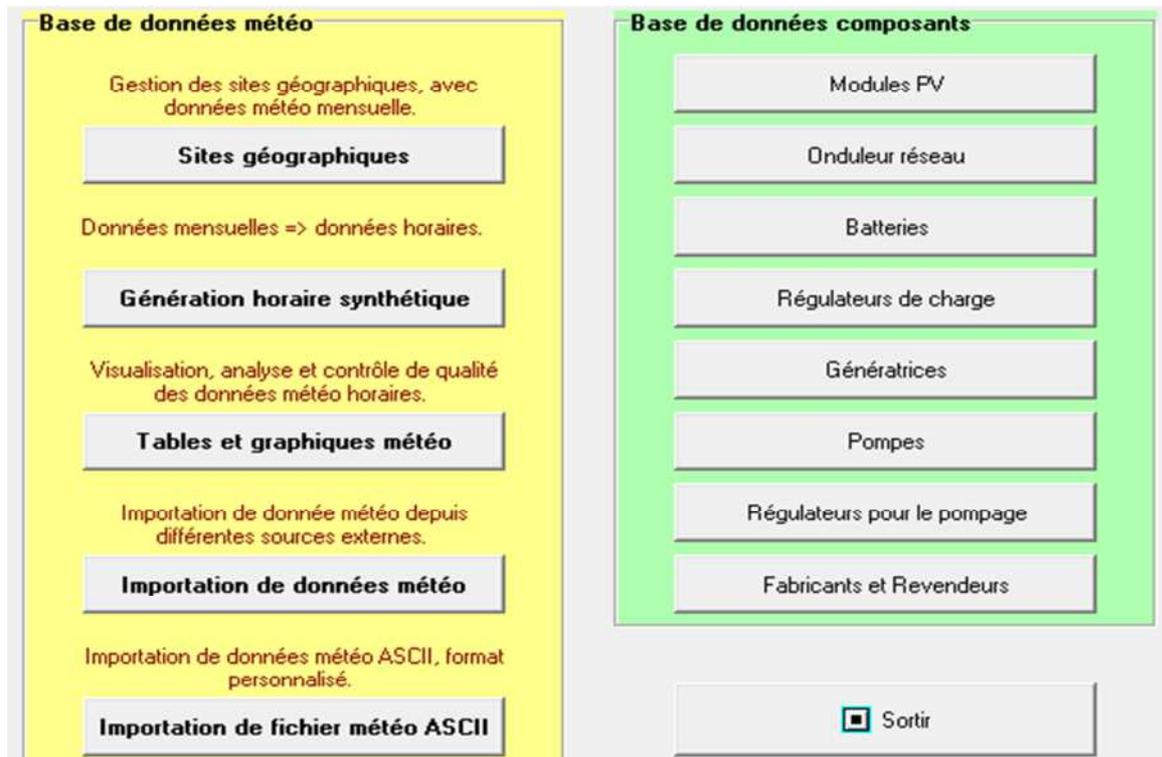


Figure (IV.6) : base de données du logiciel

#### IV.2.2.2. Conception du projet du dimensionnement de l'installation photovoltaïque dans PVsyst :

- Le système est autonome avec batteries
- Introduction des données relative à la charge :
  - La consommation journalière de la charge est de 0.67KWh/j
  - L'inclinaison du lieu est de 46°
- Le système requis par le logiciel a les caractéristiques suivantes :
  - La puissance crête nominal est de 187 W<sub>C</sub>
  - La capacité des batteries est de 100Ah

En fonction de ces caractéristiques on choisit les tailles des accumulateurs et du champ photovoltaïque.

La configuration suggérée par le logiciel

- Un module de 190W<sub>C</sub>
- Deux accumulateurs montés en séries avec une capacité de 120Ah et une tension de 12V pour chacun.

**Presizing help**

Av. daily needs : Enter accepted LOL  %

0.7 kWh/day Enter requested autonomy  day(s)

Battery (user) voltage  V

Suggested capacity **100 Ah**

Suggested PV power **187 Wp (nom.)**

---

**Select battery set**

Sort Batteries by  voltage  capacity  manufacturer

All Manufacturers  120 Ah S12-160 AGM isofoton

Batteries in serie  Number of batteries 2 Battery pack voltage 24 V

Batteries in parallel  Global capacity 120 Ah

Stored energy 2.9 kWh

---

**Select module(s)**

Sort modules by:  power  technology  manufacturer

isofoton  Si-mono ISF 190/18 Until 2010 Phol

Modules in serie  The PV array voltage is slightly undersized

Modules in parallel  Array voltage at 50°C 23.4 V

1 Modules Array current 7.4 A

Array nom. power (STC) 190 Wp

Figure (IV.7) : la configuration optimale.

### IV.3. Comparaison et discussion :

Dans ce chapitre on a dimensionné notre installation photovoltaïque avec deux méthodes distinctes :

#### 1. Dimensionnement avec le logiciel PV syst

Après avoir introduit les différents paramètres, le logiciel nous a proposé la configuration suivante :

- Un module de 190W<sub>C</sub>
- Deux accumulateurs montés en séries avec une capacité de 120Ah et une tension de 12V pour chacun.

Avec ces paramètres on aura les résultats suivants :

**tizi ouzou**  
**Bilans et résultats principaux**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>E Avail</b> kWh	<b>EUnused</b> kWh	<b>E Miss</b> kWh	<b>E User</b> kWh	<b>E Load</b> kWh	<b>SolFrac</b>
<b>Janvier</b>	65.5	113.7	18.37	0.008	4.064	17.02	21.08	0.807
<b>Février</b>	84.7	119.7	19.28	0.015	0.305	18.74	19.04	0.984
<b>Mars</b>	127.2	148.3	24.06	0.682	0.000	21.08	21.08	1.000
<b>Avril</b>	160.6	155.3	25.07	3.064	0.000	20.40	20.40	1.000
<b>Mai</b>	196.4	166.9	26.71	4.267	0.000	21.08	21.08	1.000
<b>Juin</b>	203.8	162.5	25.20	3.069	0.000	20.40	20.40	1.000
<b>Juillet</b>	226.9	187.6	28.00	5.394	0.000	21.08	21.08	1.000
<b>Août</b>	192.7	180.9	26.23	3.306	0.000	21.08	21.08	1.000
<b>Septembre</b>	152.6	170.0	25.49	3.689	0.000	20.40	20.40	1.000
<b>Octobre</b>	107.1	142.3	21.76	0.909	0.000	21.08	21.08	1.000
<b>Novembre</b>	71.3	106.0	17.05	0.025	2.437	17.96	20.40	0.881
<b>Décembre</b>	64.7	98.3	15.75	0.021	5.114	15.97	21.08	0.757
<b>Année</b>	1653.5	1751.4	272.97	24.449	11.919	236.28	248.20	0.952

Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale E Miss Energie manquante  
 GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E User Energie fournie à l'utilisateur  
 E Avail Energie solaire disponible E Load Besoin d'énergie de l'utilisateur  
 EUnused Energie inutilisée (batterie chargée) SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

**Tableau (IV.1) : résultats principaux**

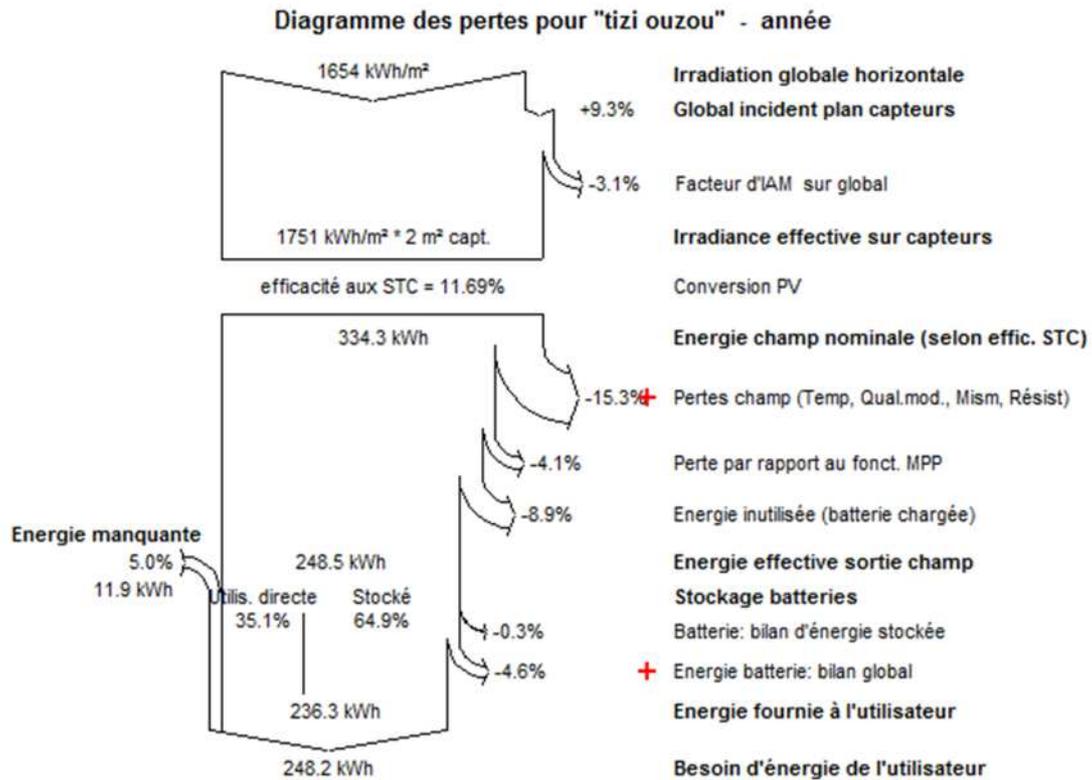


Figure (IV.8) : diagramme de perte

D'après cette configuration suggérée par le logiciel on remarque que le besoin d'énergie de l'utilisateur correspond à l'énergie fournie par le système et l'énergie manquante est égale à zéro surtout dans les mois où la demande du froid est très grande, c-à-d du mois de mars au mois d'octobre, par contre du mois de novembre au mois de février l'énergie fournie ne satisfait pas complètement les besoins, l'énergie manquante est de l'ordre de 11.919KWh, la demande du froid à l'hiver baisse sensiblement, ce que ne pose pas de problème de performance pour l'installation.

## 2. La méthode du mois le plus défavorable :

C'est-à-dire, si le système fonctionne durant ce mois, il fonctionnera les autres mois, donc il nous garantit un fonctionnement annuel.

On a utilisé quatre modules de 80W<sub>C</sub> avec une configuration de 2\*2 (deux modules en série avec deux branches) et quatre accumulateurs de 12V et 120Ah avec une configuration de 2\* 2 (deux batteries en série avec deux branches).

Si on introduit cette configuration dans le logiciel PV syst on aura les résultats suivants :

tizi ousou  
Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Janvier	65.5	113.7	28.74	5.65	0.000	21.08	21.08	1.000
Février	84.7	119.7	30.53	9.32	0.000	19.04	19.04	1.000
Mars	127.2	148.3	37.46	15.59	0.000	21.08	21.08	1.000
Avril	160.6	155.3	39.74	17.78	0.000	20.40	20.40	1.000
Mai	196.4	166.9	42.25	19.38	0.000	21.08	21.08	1.000
Juin	203.8	162.5	41.20	18.34	0.000	20.40	20.40	1.000
Juillet	226.9	187.6	47.46	25.46	0.000	21.08	21.08	1.000
Août	192.7	180.9	45.97	23.19	0.000	21.08	21.08	1.000
Septembre	152.6	170.0	43.30	20.24	0.000	20.40	20.40	1.000
Octobre	107.1	142.3	36.11	14.10	0.000	21.08	21.08	1.000
Novembre	71.3	106.0	27.09	5.50	0.000	20.40	20.40	1.000
Décembre	64.7	98.3	23.43	0.04	0.000	21.08	21.08	1.000
Année	1653.5	1751.4	443.27	174.60	0.000	248.20	248.20	1.000

Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale E Miss Energie manquante  
 GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E User Energie fournie à l'utilisateur  
 E Avail Energie solaire disponible E Load Besoin d'énergie de l'utilisateur  
 EUnused Energie inutilisée (batterie chargée) SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

Tableau (IV.2) : résultats principaux obtenus avec la méthode du mois le plus défavorable

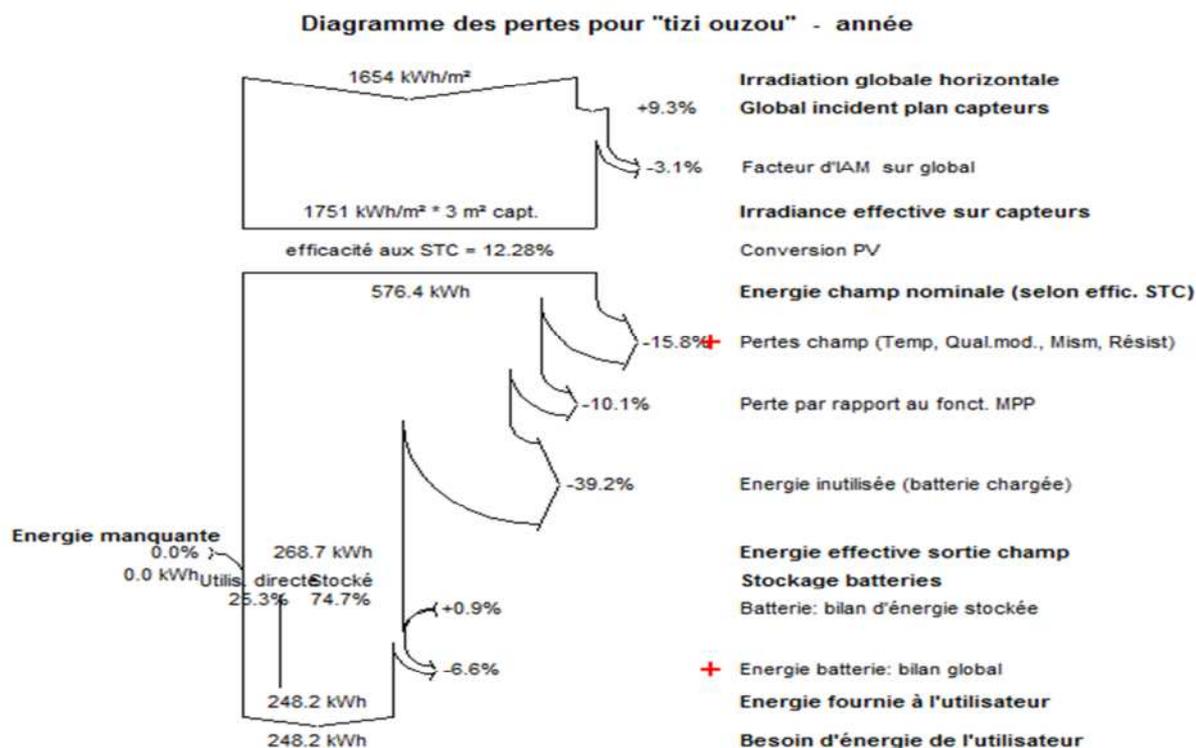


Figure (IV.9) : diagramme de perte

On remarque que la configuration est idéale, l'énergie produite est de 443KWh/an, La fraction solaire est de 100% autrement dit l'énergie utile est égale aux besoins de la charge, et sont estimées à 248KWh/an. L'énergie en excès (inutilisée) vaut 175KWh/an.

#### IV.4. Etude économique de l'installation photovoltaïque

L'étude économique des couts d'une installation photovoltaïque est la référence pour déterminer si un projet est rentable ou non.

On peut procéder par des calculs manuels qui consistent à déterminer :

- Le cout de la consommation annuel en électricité de la charge
- le cout total de l'installation
- la durée d'amortissement du projet.
- Et enfin à la base de ces calculs, on prévoit le prix du kilowatt solaire.

On peut aussi utiliser le logiciel RETScreen.

##### IV.4.1. Présentation du logiciel RETScreen :

RETScreen est un outil logiciel d'analyse de projets d'énergies propres, développé en collaboration avec de nombreux experts de l'industrie, du gouvernement et du milieu académique. Il peut être utilisé partout à travers le monde pour évaluer la production et les économies d'énergies, le cout, les réductions des émissions et la viabilité financière.

Le model pour énergie photovoltaïque du logiciel RETScreen permet d'évaluer la production des installations photovoltaïques (solaire électrique) hors réseaux, raccordées à un réseau isolé ou à un réseau central. Le logiciel peut modéliser une gamme de projets allant de centrales électriques de grande taille composées de plusieurs champs PV, jusqu'aux systèmes de production d'électricité décentralisée situés sur les bâtiments commerciaux et des maisons. En passant par des systèmes hybrides éolienne-PV-génératrice en régions éloignées et par des systèmes autonomes de stockage dans des batteries pour l'éclairage.

Pour étudier un notre modèle pour l'alimentation en énergie photovoltaïque RETScreen nous propose cinq étapes :

##### ➤ Paramètres et conditions du site :

La base de données météorologique du site de NASA comporte 6500 sites autour du monde, malheureusement la wilaya de Tizi ouzou n'est pas incluse. Alors on choisi le site d'Alger comme ce site est a moins de 100Km. Donc les données sont presque les mêmes.

##### ➤ Modèle énergétique :

Caractéristique de la charge :

- La consommation annuelle en électricité : 245KWh/an
- Le cout de la consommation annuel : 1022DA/an

Caractéristique des modules photovoltaïques :

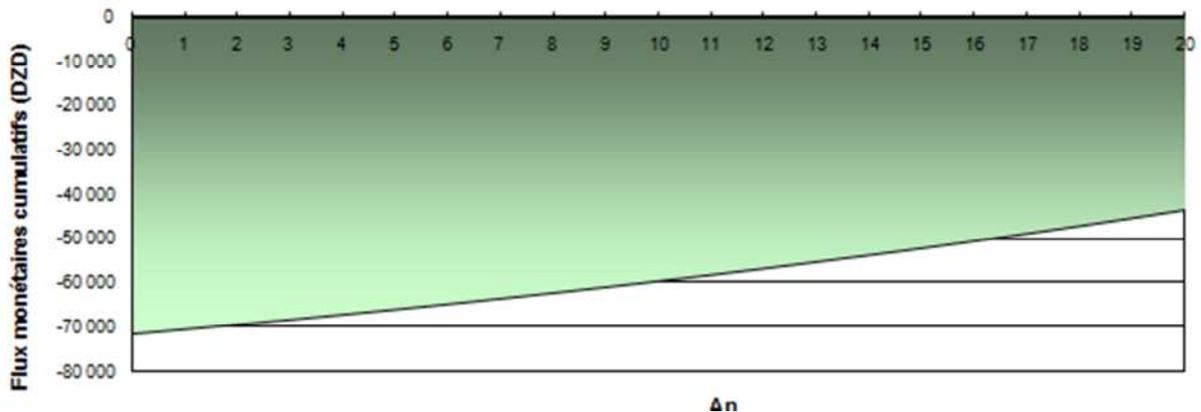
- La puissance crête des modules : 190W<sub>C</sub>
- Tension du système : 24V
- Nombre de modules : 1 module
- Accumulateurs
- Nombre de jour d'autonomie : 3 jours
- Tension élémentaire d'une batterie : 12V
- Capacité des batteries : 100Ah
- Nombre de batterie : 2batteries
- Puissance de décharge : 8%
- Rendement des batteries : 97%
- **Analyse de coûts :**

Désignation	Qté	Prix unitaire T.T.C	Montant T.T.C
Panneaux solaire 190W <sub>C</sub>	1	10000.00	10000.00
Batterie solaire 120Ah	2	20000.00	40000.00
Régulateur de charge	1	11500.00	11500.00
		<b>Total:</b>	<b>60500.00DA</b>

**Tableau (IV.3) :** cout de l'installation photovoltaïque

- Analyse financière
- Taux d'inflation : 3%
- La durée de vie de projet : 20ans

Le résultat de notre étude est donné par le graphe du flux monétaire suivant



Figure(IV.10) : le graphe du flux monétaire

Dans ce graphe on remarque qu'on ne pourra pas récupérer notre investissement pendant la durée de projet, le déficit est de -70000.00DA pendant la 1ere année puis il diminue en fonction des années. Ce que nous mène à conclure que cette installation n'est pas rentable.

#### IV.5. Conception du projet du dimensionnement de l'installation photovoltaïque dans PVsyst pour la region de Tamanrasset

- Le système est autonome avec batteries
- Introduction des données relative à la charge :
  - La consommation journalière de la charge est de 0.67KW/j
  - L'inclinaison du lieu est de 22°
- Le système requis par le logiciel a les caractéristiques suivantes :
  - La puissance crête nominal est de 124  $W_C$
  - La capacité des batteries est de 100Ah

En fonction de ces caractéristiques on choisit les tailles des accumulateurs et du champ photovoltaïque.

La configuration suggérée par le logiciel

- Un module de 150 $W_C$
- Deux accumulateurs montés en séries avec une capacité de 120Ah et une tension de 12V pour chacun.

**Presizing help**

Av. daily needs : Enter accepted LOL  %  Battery (user) voltage  V

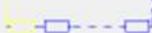
**0.7 kWh/day** Enter requested autonomy  day(s)  Suggested capacity **100 Ah**  
Suggested PV power **124 Wp (nom.)**

---

**Select battery set**

Sort Batteries by  voltage  capacity  manufacturer

isofoton

Batteries in serie  Number of batteries: 2 Battery pack voltage: 24 V  
  Batteries in parallel  Global capacity: 120 Ah  
 Stored energy: 2.9 kWh

---

**Select module(s)**

Sort modules by:  power  technology  manufacturer

isofoton

Modules in serie  Array voltage at 50°C: 31.0 V  
  Modules in parallel  Array current: 4.3 A  
 1 Modules Array nom. power (STC): 150 Wp

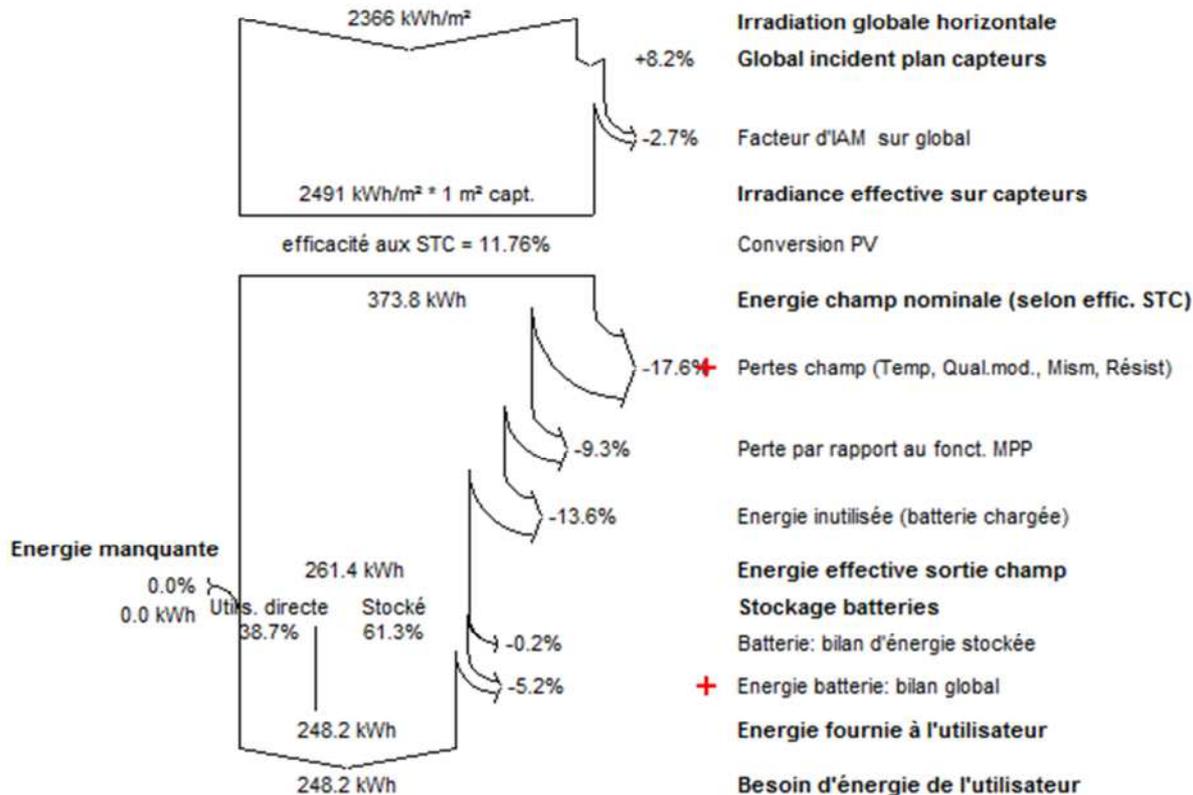
Figure (IV.7) : la configuration optimale.

**tamanrasset**  
**Bilans et résultats principaux**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Janvier	164.4	215.3	25.32	2.110	0.000	21.08	21.08	1.000
Février	177.4	214.0	28.06	7.609	0.000	19.04	19.04	1.000
Mars	216.5	234.9	30.70	8.100	0.000	21.08	21.08	1.000
Avril	223.2	217.2	27.31	5.494	0.000	20.40	20.40	1.000
Mai	225.4	202.9	23.67	1.651	0.000	21.08	21.08	1.000
Juin	234.0	202.1	24.41	2.599	0.000	20.40	20.40	1.000
Juillet	235.9	206.2	24.91	2.907	0.000	21.08	21.08	1.000
Août	219.5	206.5	23.67	1.161	0.000	21.08	21.08	1.000
Septembre	193.0	200.0	23.27	1.952	0.000	20.40	20.40	1.000
Octobre	186.7	215.7	26.33	3.949	0.000	21.08	21.08	1.000
Novembre	147.6	186.6	21.18	0.632	0.000	20.40	20.40	1.000
Décembre	142.1	189.1	20.76	0.010	0.000	21.08	21.08	1.000
Année	2365.7	2490.6	299.59	38.172	0.000	248.20	248.20	1.000

Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale E Miss Energie manquante  
 GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E User Energie fournie à l'utilisateur  
 E Avail Energie solaire disponible E Load Besoin d'énergie de l'utilisateur  
 EUnused Energie inutilisée (batterie chargée) SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

**Diagramme des pertes pour "tamanrasset " - année**



On remarque que pour la region de Tamanrasset le rayonnement solaire disponible annuellement est de l'ordre de 2490.6kwh/m<sup>2</sup>, l'énergie produite est de 261.4KWh/an,

La fraction solaire est de 100% autrement dit l'énergie utile est égale aux besoins de la charge, et sont estimées à 248KWh/an. L'énergie en excès (inutilisée) vaut 38.17KWh/an.

#### IV.6 Etude économique de l'installation photovoltaïque

##### ➤ Paramètres et conditions du site :

La base de données météorologique du site de NASA comporte 6500 sites autour du monde, la wilaya de Tamanrasset est incluse. donc on la choisit directement de la liste des sites.

##### ➤ Modèle énergétique :

Caractéristique de la charge :

- La consommation annuelle en électricité : 245KWh/an
- Le cout de la consommation annuel : 1022DA/an

Caractéristique des modules photovoltaïques :

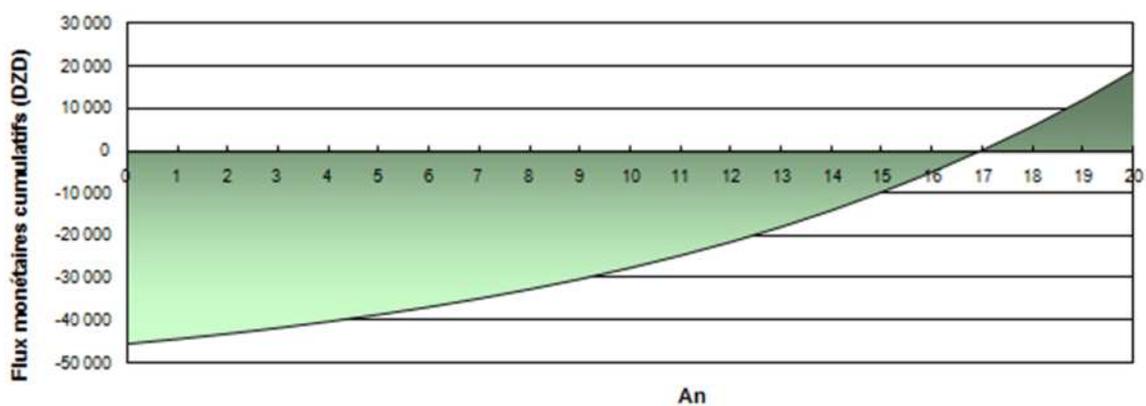
- La puissance crête des modules : 150W<sub>C</sub>
- Tension du système : 24V
- Nombre de modules : 1 module
- Accumulateurs
- Nombre de jour d'autonomie : 3 jours
- Tension élémentaire d'une batterie : 12V
- Capacité des batteries : 100Ah
- Nombre de batterie : 2batteries
- Puissance de décharge : 8%
- Rendement des batteries : 97%
- Analyse de couts :

Désignation	Qté	Prix unitaire H.T	Montant H.T.
Panneaux solaire 150W <sub>C</sub>	1	8600.00	8600.00
Batterie solaire 120Ah	2	20000.00	40000.00
Régulateur de charge	1	11500.00	11500.00
		<b>Total:</b>	<b>59100.00DA</b>

Tableau (IV.3) : cout de l'installation photovoltaïque

- Analyse financière
  - Taux d'inflation : 3%
  - La durée de vie de projet : 20ans

Le résultat de notre étude est donné par le graphe du flux monétaire suivant

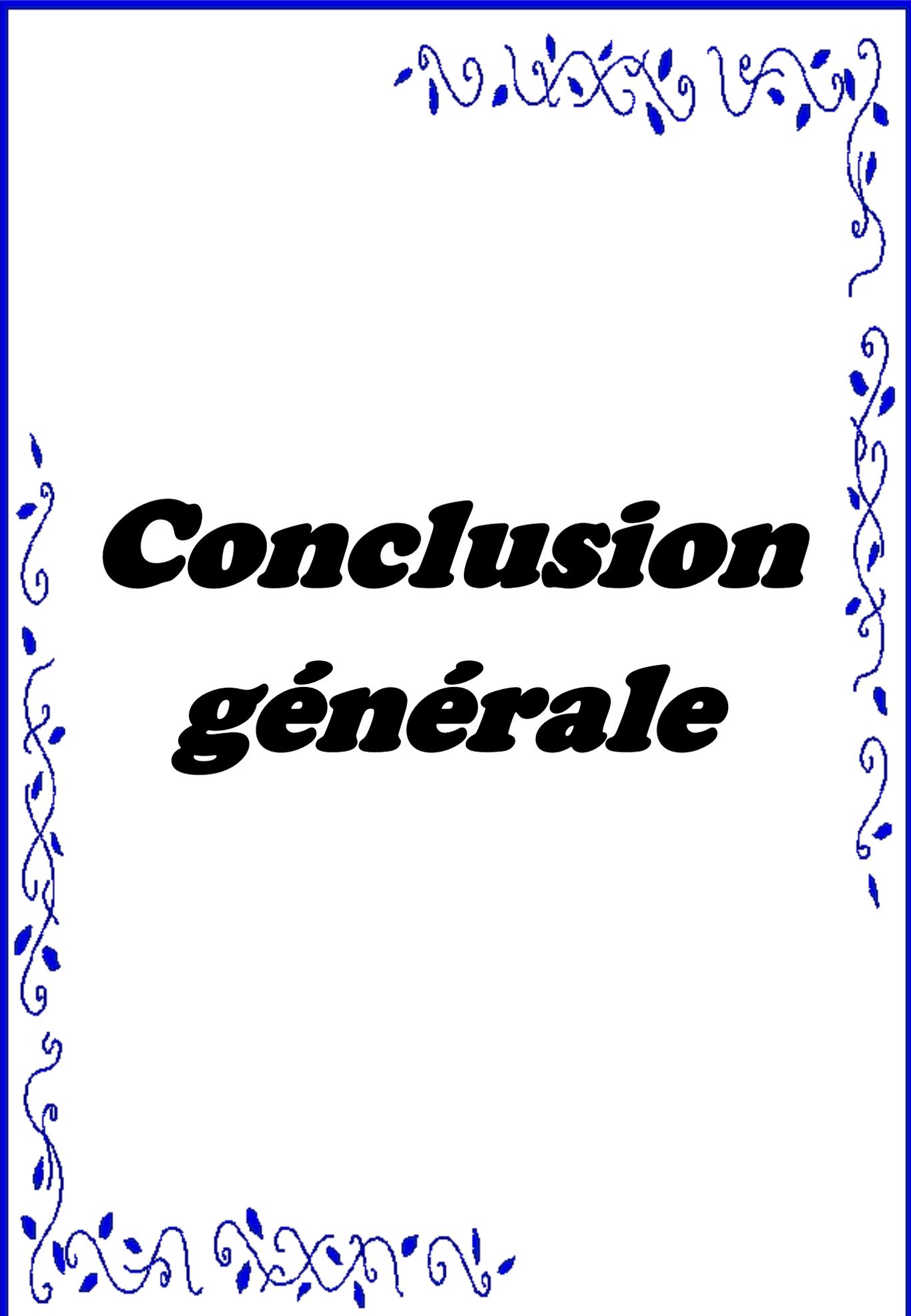


Figure(IV.10) : le graphe du flux monétaire

#### IV.7. Conclusion

Après avoir déterminé la consommation électrique du réfrigérateur, on a dimensionné le système photovoltaïque pour satisfaire le besoin annuel en électricité de la charge, pour cela on a utilisé deux méthodes, celle du mois le plus défavorable, on a obtenu une configuration optimal de quatre modules et quatre batteries et un seul régulateur. Pour la deuxième méthode on a fait appel au logiciel PV syst, qui nous a suggéré pour un fonctionnement minimal une configuration constitué d'un seul module et deux batteries, qui peut répondre aussi au besoin de l'utilisation durant toute l'année avec un léger manque durant la période hivernale.

Cependant l'étude économique c'est avérée non fructueuse, le cout de kilowatt solaire est très cher par rapport au kilowatt d'origine hydrocarbure pratiqué chez nous, le taux d'amortissement est loin. Donc le projet n'est rentable sur le volet économique, tant que l'état continue à subventionner les prix d'électricité et tant que y'a pas de possibilité de rachat de surplus d'énergie produite par le système.



***Conclusion  
générale***

# CONCLUSION GENERALE

---

## Conclusion général

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles des énergies renouvelables, celle d'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour l'alimentation d'un système frigorifique à compression de vapeur, l'objectif étant de garantir l'efficacité énergétique de la chaîne de production avec l'option du coût minimal.

A partir de la cuve intérieure du réfrigérateur 300D et la pièce de tôlerie du 520L, on a dimensionné les différents composants de notre réfrigérateur solaire et déduit à la fin de sa consommation électrique l'élément clé pour la configuration photovoltaïque.

Pour le dimensionnement de l'installation solaire on a procédé par deux méthodes différentes, la première est celle du mois le plus défavorable, Cependant son utilisation exige la connaissance du potentiel de l'irradiation solaire sur des plans horizontaux et inclinés. Malheureusement, la station météorologique de Tizi-Ouzou ne dispose pas d'instrument de mesure de ce paramètre météorologique fondamental dans notre application. En conséquence on a utilisé le logiciel météonome pour nous fournir les valeurs du rayonnement solaire pour notre région. et on a pu réaliser un dimensionnement optimal et couvrant les besoins de toute une année qui comporte quatre modules, quatre batteries et un régulateur de charge. Mais un type d'installation pareil revient très cher.

On fait appel alors au logiciel PVsyst qui est un logiciel de dimensionnement photovoltaïque très crédible qui nous a suggéré une configuration minimale avec un seul module et deux batteries qui peut aussi satisfaire le besoin du réfrigérateur solaire avec un léger manque constaté dans la période hivernale, mais sans conséquence majeure sur la fiabilité du système.

Malheureusement l'étude économique de l'installation effectuée avec le logiciel RETScreen a montré que le projet n'est pas rentable et la durée d'amortissement est très loin, le prix de kWh solaire revient très cher. Donc son usage particulier n'est pas garanti tant qu'il n'y a pas de subvention d'état et pas de possibilité de rachat du surplus par l'état. Nous recommandons vivement d'entamer et d'enrichir ce projet par l'intégration des MCP (matériaux à changement de phase), en utilisant une plaque eutectique.

La plaque eutectique sera composée d'un mélange d'eau et de glycol qui gèle pendant les premiers cycles du compresseur. Une fois complètement gelée, il est possible de la décharger, c'est-à-dire que le compresseur s'arrête et le froid est obtenu par le dégel progressif de cette plaque. Une fois complètement dégelé, le compresseur se remet en marche et le cycle recommence. La plaque eutectique permet de réduire la consommation électrique du réfrigérateur qui peut avoir une influence directe sur les champs photovoltaïques installés et le stockage dans les batteries.



# ***Annexes***



# Annexe

## ANNEXE 1

**TABLE A-11**  
Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp., T, °C	Press., P <sub>sat</sub> , MPa	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg		Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg · K)	
		Sat. liquid, v <sub>f</sub>	Sat. vapor, v <sub>g</sub>	Sat. liquid, u <sub>f</sub>	Sat. vapor, u <sub>g</sub>	Sat. liquid, h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Sat. vapor, h <sub>g</sub>	Sat. liquid, s <sub>f</sub>	Sat. vapor, s <sub>g</sub>
-40	0.05164	0.0007055	0.3569	-0.04	204.45	0.00	222.88	222.88	0.0000	0.9560
-36	0.06332	0.0007113	0.2947	4.68	206.73	4.73	220.67	225.40	0.0201	0.9506
-32	0.07704	0.0007172	0.2451	9.47	209.01	9.52	218.37	227.90	0.0401	0.9456
-28	0.09305	0.0007233	0.2052	14.31	211.29	14.37	216.01	230.38	0.0600	0.9411
-26	0.10199	0.0007265	0.1882	16.75	212.43	16.82	214.80	231.62	0.0699	0.9390
-24	0.11160	0.0007296	0.1728	19.21	213.57	19.29	213.57	232.85	0.0798	0.9370
-22	0.12192	0.0007328	0.1590	21.68	214.70	21.77	212.32	234.08	0.0897	0.9351
-20	0.13299	0.0007361	0.1464	24.17	215.84	24.26	211.05	235.31	0.0996	0.9332
-18	0.14483	0.0007395	0.1350	26.67	216.97	26.77	209.76	236.53	0.1094	0.9315
-16	0.15748	0.0007428	0.1247	29.18	218.10	29.30	208.45	237.74	0.1192	0.9298
-12	0.18540	0.0007496	0.1068	34.25	220.36	34.39	205.77	240.15	0.1388	0.9267
-8	0.21704	0.0007569	0.0919	39.38	222.60	39.54	203.00	242.54	0.1583	0.9239
-4	0.25274	0.0007644	0.0794	44.56	224.84	44.75	200.15	244.90	0.1777	0.9213
0	0.29282	0.0007721	0.0689	49.79	227.06	50.02	197.21	247.23	0.1970	0.9190
4	0.33765	0.0007801	0.0600	55.08	229.27	55.35	194.19	249.53	0.2162	0.9169
8	0.38755	0.0007884	0.0525	60.43	231.46	60.73	191.07	251.80	0.2354	0.9150
12	0.44294	0.0007971	0.0460	65.83	233.63	66.18	187.85	254.03	0.2545	0.9132
16	0.50416	0.0008062	0.0405	71.29	235.78	71.69	184.52	256.22	0.2735	0.9116
20	0.57160	0.0008157	0.0358	76.80	237.91	77.26	181.09	258.35	0.2924	0.9102
24	0.64566	0.0008257	0.0317	82.37	240.01	82.90	177.55	260.45	0.3113	0.9089
26	0.68530	0.0008309	0.0298	85.18	241.05	85.75	175.73	261.48	0.3208	0.9082
28	0.72675	0.0008362	0.0281	88.00	242.08	88.61	173.89	262.50	0.3302	0.9076
30	0.77006	0.0008417	0.0265	90.84	243.10	91.49	172.00	263.50	0.3396	0.9070
32	0.81528	0.0008473	0.0250	93.70	244.12	94.39	170.09	264.48	0.3490	0.9064
34	0.86247	0.0008530	0.0236	96.58	245.12	97.31	168.14	265.45	0.3584	0.9058
36	0.91168	0.0008590	0.0223	99.47	246.11	100.25	166.15	266.40	0.3678	0.9053
38	0.96298	0.0008651	0.0210	102.38	247.09	103.21	164.12	267.33	0.3772	0.9047
40	1.0164	0.0008714	0.0199	105.30	248.06	106.19	162.05	268.24	0.3866	0.9041
42	1.0720	0.0008780	0.0188	108.25	249.02	109.19	159.94	269.14	0.3960	0.9035
44	1.1299	0.0008847	0.0177	111.22	249.96	112.22	157.79	270.01	0.4054	0.9030
48	1.2526	0.0008989	0.0159	117.22	251.79	118.35	153.33	271.68	0.4243	0.9017
52	1.3851	0.0009142	0.0142	123.31	253.55	124.58	148.66	273.24	0.4432	0.9004
56	1.5278	0.0009308	0.0127	129.51	255.23	130.93	143.75	274.68	0.4622	0.8990
60	1.6813	0.0009488	0.0114	135.82	256.81	137.42	138.57	275.99	0.4814	0.8973
70	2.1162	0.0010027	0.0086	152.22	260.15	154.34	124.08	278.43	0.5302	0.8918
80	2.6324	0.0010766	0.0064	169.88	262.14	172.71	106.41	279.12	0.5814	0.8827
90	3.2435	0.0011949	0.0046	189.82	261.34	193.69	82.63	276.32	0.6380	0.8655
100	3.9742	0.0015443	0.0027	218.60	248.49	224.74	34.40	259.13	0.7196	0.8117

Source for Tables A-8 through A-10: M. J. Moran and H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 2nd ed. (New York: John Wiley & Sons, 1992), pp. 710–15. Originally based on equations from D. P. Wilson and R. S. Basu, "Thermodynamic Properties of a New Stratospherically Safe Working Fluid—Refrigerant-134a," *ASHRAE Trans.* 94, Pt. 2 (1988), pp. 2095–118. Used with permission.



# BD50F

## Direct Current Compressor

### R134a

### 12 - 24V

Data Sheet (Replaces CD.46.B4.02)

**Code numbers**

BD50F without electronic unit	101Z1220
Electronic unit 12-24V DC - standard	single: 101N0210, 30 pcs: 101N0211
Electronic unit 12-24V DC - w. metal shielding	single: 101N0220, 30 pcs: 101N0221
Electronic unit 12-24V DC - with AEO	single: 101N0300, 30 pcs: 101N0301

**Application**

Application	LBP/MBP/(HBP)
Evaporating temperature range °C	-30 to 0 (10)
Voltage range / max. voltage	12 - 24V DC / 31.5V DC
Max. machine compartment temperature °C	55
Comp. cooling at ambient temp. 43°C	S or F <sub>1</sub> *

**Design**

\* depending on application

Displacement	cm <sup>3</sup>	2.50
Oil quantity	cm <sup>3</sup>	150
Maximum refrigerant charge	g	300
Free gas vol. in compressor	cm <sup>3</sup>	870
Weight: Compressor/Electronic unit	kg	4.3/0.25

**Motor**

Motor type	Variable speed
Resistance, all 3 windings (25°C)	Ω 2.0
Approvals (electronic unit)	E4 72/245 95/54 0277 00

**Dimensions**

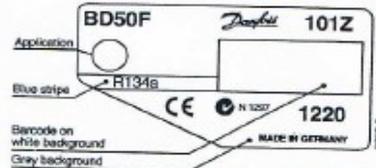
Height	mm	A	137
		B	135
		B1	128
		B2	73
Suction connector	location/I.D. mm	C	6.2 ±0.09
Process connector	location/I.D. mm	D	6.2 ±0.09
Discharge connector	location/I.D. mm	E	5.0 +0.12/+0.20
Compressors on a pallet	pcs.		150

**Standard battery protection settings (no connection C - P)**

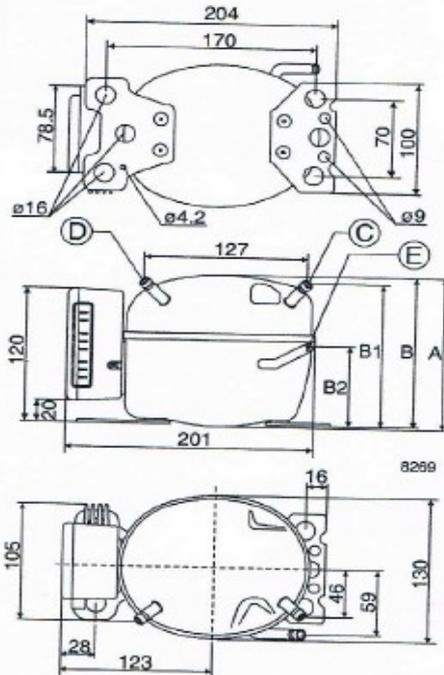
12V cut-out [V]	12V cut-in [V]	24V cut-out [V]	24V cut - in [V]
10.4	11.7	22.8	24.2

**Optional battery protection settings**

Resistor (R2) [kΩ]	12V cut-out [V]	12V cut-in [V]	12V max. Voltage	24V cut-out [V]	24V cut-in [V]	24V max. Voltage
0	9.6	10.9	17.0	21.3	22.7	31.5
1.6	9.7	11.0	17.0	21.5	22.9	31.5
2.4	9.9	11.1	17.0	21.8	23.2	31.5
3.6	10.0	11.3	17.0	22.0	23.4	31.5
4.7	10.1	11.4	17.0	22.3	23.7	31.5
6.2	10.2	11.5	17.0	22.5	23.9	31.5
8.2	10.4	11.7	17.0	22.8	24.2	31.5
11	10.5	11.8	17.0	23.0	24.5	31.5
14	10.6	11.9	17.0	23.3	24.7	31.5
18	10.8	12.0	17.0	23.6	25.0	31.5
24	10.9	12.2	17.0	23.8	25.2	31.5
33	11.0	12.3	17.0	24.1	25.5	31.5
47	11.1	12.4	17.0	24.3	25.7	31.5
82	11.3	12.5	17.0	24.6	26.0	31.5
220	9.6	10.9				31.5



- S = Static cooling normally sufficient
- O = Oil cooling
- F<sub>1</sub> = Fan cooling 1.5 m/s (compressor compartment temperature equal to ambient temperature)
- F<sub>2</sub> = Fan cooling 3.0 m/s necessary



# Annexe

## ANNEXE 3

**TABLE A-12**  
Saturated refrigerant-134a—Pressure table

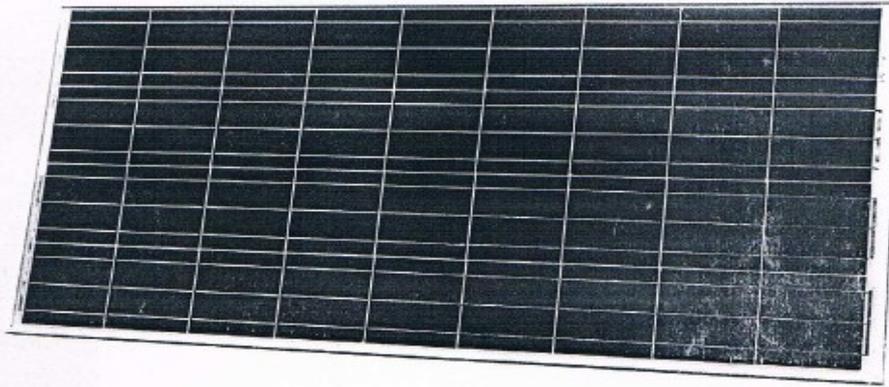
Press., P MPa	Temp., T <sub>sat</sub> °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg		Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg · K)	
		Sat. liquid, v <sub>f</sub>	Sat. vapor, v <sub>g</sub>	Sat. liquid, u <sub>f</sub>	Sat. vapor, u <sub>g</sub>	Sat. liquid, h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Sat. vapor, h <sub>g</sub>	Sat. liquid, s <sub>f</sub>	Sat. vapor, s <sub>g</sub>
0.06	-37.07	0.0007097	0.3100	3.41	206.12	3.46	221.27	224.72	0.0147	0.9520
0.08	-31.21	0.0007184	0.2366	10.41	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.9447
0.10	-26.43	0.0007258	0.1917	16.22	212.18	16.29	215.06	231.35	0.0678	0.9395
0.12	-22.36	0.0007323	0.1614	21.23	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.9354
0.14	-18.80	0.0007381	0.1395	25.66	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.9322
0.16	-15.62	0.0007435	0.1229	29.66	218.32	29.78	208.18	237.97	0.1211	0.9295
0.18	-12.73	0.0007485	0.1098	33.31	219.94	33.45	206.26	239.71	0.1352	0.9273
0.20	-10.09	0.0007532	0.0993	36.69	221.43	36.84	204.46	241.30	0.1481	0.9253
0.24	-5.37	0.0007618	0.0834	42.77	224.07	42.95	201.14	244.09	0.1710	0.9222
0.28	-1.23	0.0007697	0.0719	48.18	226.38	48.39	198.13	246.52	0.1911	0.9197
0.32	2.48	0.0007770	0.0632	53.06	228.43	53.31	195.35	248.66	0.2089	0.9177
0.36	5.84	0.0007839	0.0564	57.54	230.28	57.82	192.76	250.58	0.2251	0.9160
0.4	8.93	0.0007904	0.0509	61.69	231.97	62.00	190.32	252.32	0.2399	0.9145
0.5	15.74	0.0008056	0.0409	70.93	235.64	71.33	184.74	256.07	0.2723	0.9117
0.6	21.58	0.0008196	0.0341	78.99	238.74	79.48	179.71	259.19	0.2999	0.9097
0.7	26.72	0.0008328	0.0292	86.19	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.9080
0.8	31.33	0.0008454	0.0255	92.75	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3459	0.9066
0.9	35.53	0.0008576	0.0226	98.79	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	0.9054
1.0	39.39	0.0008695	0.0202	104.42	247.77	105.29	162.68	267.97	0.3838	0.9043
1.2	46.32	0.0008928	0.0166	114.69	251.03	115.76	155.23	270.99	0.4164	0.9023
1.4	52.43	0.0009159	0.0140	123.98	253.74	125.26	148.14	273.40	0.4453	0.9003
1.6	57.92	0.0009392	0.0121	132.52	256.00	134.02	141.31	275.33	0.4714	0.8982
1.8	62.91	0.0009631	0.0105	140.49	257.88	142.22	134.60	276.83	0.4954	0.8959
2.0	67.49	0.0009878	0.0093	148.02	259.41	149.99	127.95	277.94	0.5178	0.8934
2.5	77.59	0.0010562	0.0069	165.48	261.84	168.12	111.06	279.17	0.5687	0.8854
3.0	86.22	0.0011416	0.0053	181.88	262.16	185.30	92.71	278.01	0.6156	0.8735

R-134a



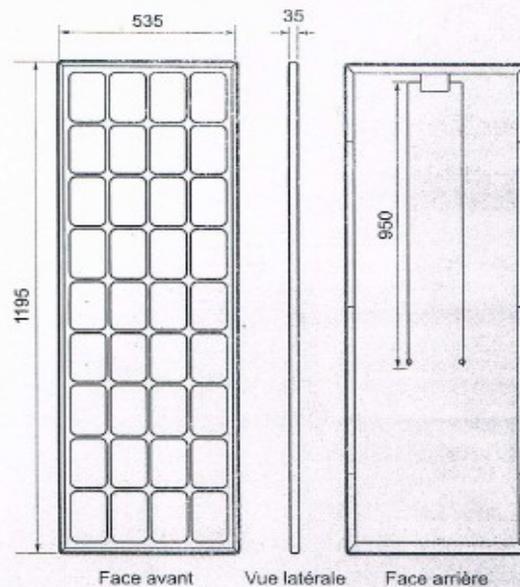


# Module photovoltaïque



## Caractéristiques techniques :

Puissance nominale	80 watts
Tension nominale	18.1 V
Tension à vide	21.7 V
Tension inverse Max	600 V
Courant nominal	4.43 A
Courant de court-circuit	4.92 A
Cellules	(4x9) 36
Dimensions	1195x535x35 mm
Poids	9 Kg



## Direction des Energies Renouvelables

Route de Mascara Z.I BP 101, Sidi Bel Abbes, 22000 - ALGÉRIE

Tél. : 00 213 48 56 79 15 - Fax : 00 213 48 56 66 88

# Annexe

## ANNEXE 6

### Fiche technique

#### Capacity (EN 12900/CECOMAF)

rpm \ °C	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10	-5	0	5	10
2,000	20.1	31.0	34.9	42.8	56.3	72.2	91.6	115	144*	178*
2,500	27.0	39.0	43.4	52.7	68.9	88.9	113	144*	181*	
3,000	31.0	45.4	50.6	61.5	80.7	104	134*	171*		
3,500	36.1	53.2	59.1	71.9	95.0	124*	159*			

#### Capacity (ASHRAE)

rpm \ °C	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10	-5	0	5	10
2,000	24.7	38.3	43.1	52.9	69.5	89.3	113	143	176*	221*
2,500	33.3	48.1	53.6	65.0	85.1	110	140	178*	224*	
3,000	38.2	56.0	62.5	75.9	100	129	166*	212*		
3,500	47.0	65.7	72.9	88.7	117	153*	196*			

#### Power consumption

rpm \ °C	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10	-5	0	5	10
2,000	25.1	31.8	34.0	38.2	44.7	51.3	58.3	65.8	74.2*	83.5*
2,500	34.1	40.5	42.9	47.8	55.8	64.7	74.3	84.8	96.1*	
3,000	39.9	49.2	52.2	57.8	66.5	76.4	88.4*	104*		
3,500	50.2	59.3	62.5	69.0	80.2	93.4*	109*			

#### Current consumption (for 24V applications the following must be halved)

rpm \ °C	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10	-5	0	5	10
2,000	2.2	2.6	2.8	3.1	3.8	4.4	5.1	5.8	6.4*	6.9*
2,500	2.9	3.4	3.6	4.0	4.7	5.4	6.2	7.0*	7.8*	
3,000	3.5	4.2	4.4	4.9	5.6	6.5	7.4*	8.5*		
3,500	4.2	4.9	5.2	5.8	6.7	7.8*	9.0*			

#### COP (EN 12900/CECOMAF)

rpm \ °C	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10	-5	0	5	10
2,000	0.80	0.98	1.03	1.12	1.26	1.41	1.57	1.75	1.94*	2.13*
2,500	0.79	0.96	1.01	1.10	1.24	1.37	1.53	1.70*	1.88*	
3,000	0.78	0.92	0.97	1.06	1.21	1.37	1.51*	1.65*		
3,500	0.76	0.90	0.95	1.04	1.19	1.32*	1.45*			

#### COP (ASHRAE)

rpm \ °C	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10	-5	0	5	10
2,000	0.99	1.21	1.27	1.38	1.56	1.74	1.94	2.16	2.40*	2.65*
2,500	0.98	1.19	1.25	1.36	1.53	1.70	1.89	2.10*	2.33*	
3,000	0.96	1.14	1.20	1.31	1.50	1.69	1.87*	2.04*		
3,500	0.94	1.11	1.17	1.28	1.46	1.64*	1.80*			

#### Test conditions

	EN 12900/CECOMAF	ASHRAE
Condensing temperature	55°C	55°C
Ambient and suction gas temp.	32°C	32°C
Liquid temperature	55°C	32°C

#### Static cooling, 12V DC

\* Fan cooling of electronic unit compulsory  
1 Watt = 0.86 kcal/h

#### Compressor speed

Electronic unit	Resistor (R1) Ω	Motor speed rpm	Contr.circ. current mA
101N0210 101N0220	0	2,000	5
	277	2,500	4
	692	3,000	3
	1523	3,500	2
101N0300 with AEO	0	AEO	6
	173	2,000	5
	450	2,500	4
	865	3,000	3
	1696	3,500	2

In AEO (Adaptive Energy Optimizing) speed mode the BD compressor will always adapt its speed to the actual cooling demand.

#### Wire dimensions

Cross section mm <sup>2</sup>	Max length* m	
	12V operation	24V operation
2.5	2.5	5
4	4	8
6	6	12
10	10	20

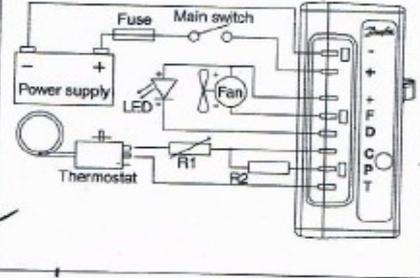
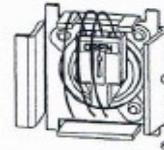
\*Length between battery and electronic unit

#### Accessories

Devices	BD50F
Standard automobile fuse DIN 7259 12V: 15A 24V: 7.5A	Not deliverable from Danfoss
Mounting accessories	
Bolt joint for one compressor	118-1917
Bolt joint in quantities	118-1918
Snap on in quantities	118-1919

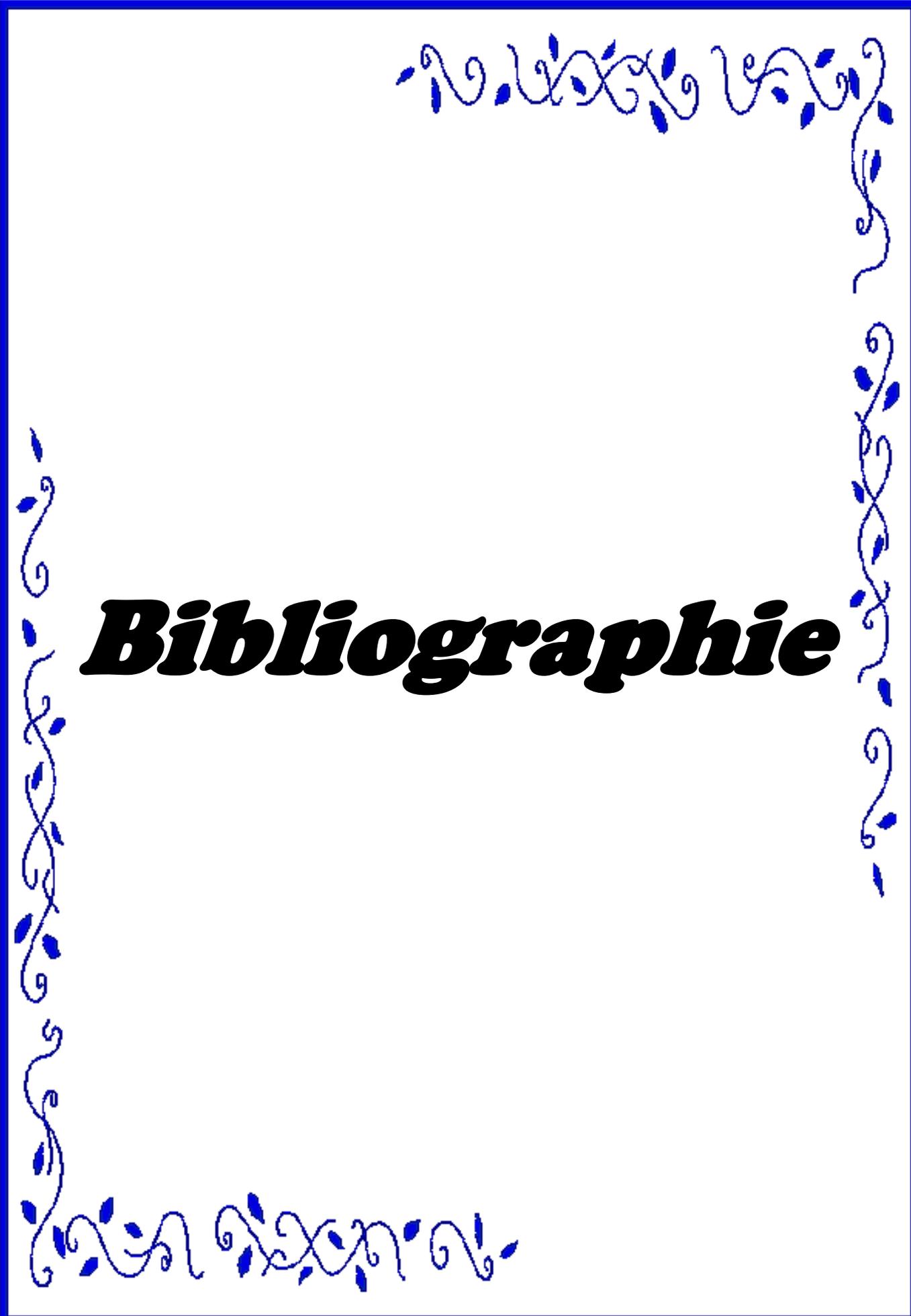
Danfoss can accept no responsibility for possible errors in catalogues, brochures and other printed material. Danfoss reserves the right to alter its products without notice. This also applies to products already on order provided that such alterations can be made without subsequent changes being necessary in specifications already agreed. All trademarks in this material are property of the respective companies. Danfoss and the Danfoss logotype are trademarks of Danfoss A/S. All rights reserved.

#### Terminal plug



#### Operational errors shown by LED (optional)

Number of flashes	Error type
5	<b>Thermal cut-out of electronic unit</b> (If the refrigeration system has been too heavily loaded, or if the ambient temperature is high, the electronic unit will run too hot).
4	<b>Minimum motor speed error</b> (If the refrigeration system is too heavily loaded, the motor cannot maintain minimum speed at approximately 1,850 rpm).
3	<b>Motor start error</b> (The rotor is blocked or the differential pressure in the refrigeration system is too high (>5 bar)).
2	<b>Fan over-current cut-out</b> (The fan loads the electronic unit with more than 1A <sub>max</sub> ).
1	<b>Battery protection cut-out</b> (The voltage is outside the cut-out setting).

A decorative border in blue ink surrounds the page. It features a repeating pattern of stylized, swirling floral and leaf motifs. The border is thicker at the corners, where the floral designs are more densely packed.

# ***Bibliographie***

## **Bibliographie**

**[1]** : Quelques enjeux et défis de recherche en énergie, Actes du Colloque du Programme Interdisciplinaire Energie du CNRS, Nantes, 16-18 novembre (2009).

**[2]** : **Ngo, C**

« Analyse et perspectives énergétiques mondiales », Technique de l'Ingénieur, BE 8 5151-14, (2008).

**[3]** : **Michel Capdrou**

« Atlas Solaire de l'Algérie », Tomes 1, 2 et 3.

**[4]** : **E-KOLLER**

Machine thermique (usine nouvelle), Dunod, paris, 2005

**[5]** : **Technique de l'ingénieur**

« Théorie des machines frigorifiques, Généralités » Be9730 –2012

**[6]** : **W.MAAK- j.ECKERT-Jean-Louis CAUCHEPIN**

« Le POHLMANN » 2<sup>ème</sup> édition, PYC 1993

**[7]** : **P.RAPIN – P.JACQUARD**

« Formulaire du froid », 12<sup>ème</sup> édition, Dunod, paris 2003

**[8]** : **TTE - C.E.S.I.R.E. - Université Joseph Fourier - Grenoble**

« étude du réfrigérateur»

**[9]** : **W.MAAKE-H-J.EKERT-JEAN-LOUIS CAUCHEPIN**

« Manuel technique du froid »

**[10]** : **Soltane BELAKEHAL**

« Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables »thèse Doctorat en sciences Spécialité : Electrotechnique, Constantine 2010

**[11]** : **TRAHI FATIHA**

« Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA. »

**[12]** : Document, RETScreen International Centre d'aide à la décision sur les énergies propres, « Analyse de projets d'installation photovoltaïque »

**[13]** : **YVES JANNOT**

« Thermique solaire ». Janvier 2007

**[14] : ZOUACHE FOUJIL**

« Étude de la concentration solaire sur les performances des systèmes photovoltaïques 2009

**[15] : « Dossier Techniques de l'Ingénieur**

« Électricité photovoltaïque – Principes » référence be8578

**[16] : Bouden Abdmalek**

« Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque ». Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2008

**[17] : Angel Cid Pastor**

« Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Thèse de Docteur. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.

**[18] : S. Brigand**

« Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque », complément technique, Techniques de construction, Mars-Avril 2008.

**[19] : Mme BENAHMED BENABDALLAH Nadia**

« Propriétés physiques des semi-conducteur (Si monocristallin et Ge) et Simulation des cellules solaires à base de Si et SiGe » thèse magister en physique énergétique et matériaux 2006

**[20] : Loïc Bailly**

« Cellules photovoltaïques organiques souples à grande surface ». Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2010.

**[21] : Nichiporuk Oleksiy**

«Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrière interdigités». Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.

**[22] : Petibon Stéphane**

« Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.

**[23] : HELALI KAMELIA**

« Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque, Etude Comparative » Mémoire de MAGISTER en électrotechnique de l'UMMTO (Tizi-Ouzou), 2012

**[24] : Mohamed El Amine Khaled BENALOUACH**

« Modélisation, Simulation et Optimisation d'un Système Energétique de Production Photovoltaïque associé à un Accumulateur ». Thèse MAGISTER en physique.2013

**[25] : Julien Labbe**

« L'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés. », Ecole des Mines de Paris 2006

**[26] : Ludovic Protin, Stéphan Astier**

« Convertisseurs photovoltaïques », Techniques de l'Ingénieur, D3 360.

**[27] : Belhadj Mohammed**

« Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome » Mémoire de Magister  
Option : Microélectronique –Photovoltaïque Centre Universitaire De Bechar Institut des  
Sciences Exactes

**[28] :** document Toshiba pour réfrigérateur 300D

**[29] : F. Sick, T. Erge**

« Photovoltaic's in buildings, a design handbook for architects and engineers», International  
Energy Agency, XYZ Publishing Company, Paris, France.

**[30] : A. Labouret, M. Viloz**

« Energie solaire photovoltaïques », 3<sup>e</sup> édition, Edition Dunod.

**[31] : A. Ricaud**

« Modules et systèmes photovoltaïques », Septembre 2008

**[32] : A. Labouret, M. Viloz**

« L'énergie solaire photovoltaïque ». 4<sup>ème</sup> édition Dunod. Paris. 2009.