

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED– NAÂMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

## MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

**Énergies Renouvelables**

*Option : Énergies Renouvelables en Électrotechnique*

**Intitulé :**

---

### **DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PV APPLICATION : LA BIBLIOTHÈQUE ET LA SERRE DU CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED - NAÂMA**

---

**Présenté par :**

- ACHOUR Abdelwafi
- KAIDARI Redhwane
- DJEBLI Fayçal

*Soutenu le : ...19/06/2023.....devant le Jury :*

<b>Mr. BENOTMANE Nouredin</b>	<b>MAA</b>	<b>Centre Universitaire Naâma</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. KHESSAM Medjdoub</b>	<b>MAA</b>	<b>Centre Universitaire Naâma</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mr. AMARA Hassen</b>	<b>Master</b>	<b>Centre Universitaire Naâma</b>	<b>Co-Encadreur</b>
<b>Mme. REKKAL Kahina</b>	<b>MCB</b>	<b>Centre Universitaire Naâma</b>	<b>Examinatrice</b>

## *Remerciement*

*Nous remercions en premier lieu, Dieu Tout Puissant de nous avoir donné la volonté et surtout le courage de mener dans de bonnes conditions ce travail*

*Nous tenons à adresser nos vifs remerciements pour sa collaboration son soutien moral, à notre encadreur Dr. KHESSAM Medjdoub et Dr. AMARA Lahcen, vous nous avez bien guidés dans ce travail de recherche, en nous donnant inlassablement beaucoup de votre temps, votre enthousiasme à partager vos connaissances tout comme votre sens chaleureux du contact nous a beaucoup marqué. Soyez assuré de notre plus sincère gratitude et de notre profond respect.*

*Mes remerciements vont aussi à messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail.*

*Je tiens à remercier les responsables et tout le personnel du département de génie électrique pour les facilités qu'ils m'ont accordé pour parfaire ce travail.*

*Enfin nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide et encouragement.*



## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :  
Mes très chers parents dont le sacrifice,  
l'amour et le soutien sont le carburant  
de ma réussite.*

*A mes frères.*

*A mes neveux, et nièces.*

*A tous mes amies.*

ACHOUR Abdelwafi

## ***DEDICACES***

*Je dédie ce travail : Pour ma famille, qui m'a donné une éducation généreuse, son amour m'a fait qui je suis aujourd'hui. Surtout à ma mère, qui j'espère que ce projet sera le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.*

*A vous, mes frères et sœurs, qui m'avez toujours soutenu et encouragé pendant ces années d'études.*

*À tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès.*

***Kaidari Redhwane.***



## *Dédicace*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

- A ma très chère grande mère Mehadjia Abdoune que le dieu bénisse son âme et qu'elle repose en paix...*
- A ma très chère mère Houria qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi...*
- A mon très cher grand père Benssouage pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice et son prière afin que rien ne m'entrave le déroulement de mes études et ma vie ...*
- A tout ma famille mes oncles et mes tantes...*
- A mes meilleurs amis...*
- A mes chers collègues...*
- A tous les gens qui m'aide et compulse ce modeste travail surtout Dr Ammara Lahcen ...*
- Enfin, je remercie Abdelwafi et Redwane qui ont contribue à la réalisation de e modeste travail ...*

*Faycal Djebli*

# Sommaire

---

Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale .....	1

## Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques

<b>I.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2</b>	<b>Energie solaire photovoltaïque.....</b>	<b>3</b>
<b>I.3</b>	<b>Les différents types de systèmes photovoltaïques.....</b>	<b>3</b>
I.3.1	Système photovoltaïque autonomes .....	3
I.3.2	Système PV connecté au réseau .....	4
I.3.3	Système hybrides .....	5
<b>I.4</b>	<b>La cellule photovoltaïque.....</b>	<b>5</b>
I.4.1	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	5
I.4.2	Technologie des cellules photovoltaïques.....	6
I.4.3	Comparatif des différentes technologies de la cellule photovoltaïque.....	7
I.4.4	Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	8
I.4.5	La modélisation d'une cellule photovoltaïque .....	9
I.4.5.1	Modèle idéal.....	10
I.4.5.2	Modèle réel.....	10
<b>I.5</b>	<b>Module photovoltaïque .....</b>	<b>11</b>
I.5.1	Caractéristiques d'un module photovoltaïque.....	11
I.5.1.1	La puissance crête <b>P<sub>c</sub></b> : .....	11
I.5.1.2	Tension à vide <b>V<sub>co</sub></b> : .....	12
I.5.1.3	Courant de court-circuit <b>I<sub>cc</sub></b> : .....	12
I.5.1.4	Point de fonctionnement optimum <b>P<sub>max</sub></b> : .....	12
I.5.1.5	Rendement maximal <b>η</b> : .....	12
I.5.1.6	Facteur de forme <b>FF</b> : .....	12
I.5.2	Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques du module photovoltaïque.....	13
I.5.3	Influence de la température sur les caractéristiques du module photovoltaïque.....	14
I.5.4	Association des modules photovoltaïques.....	14
I.5.4.1	Association en série.....	14
I.5.4.2	Association en parallèle .....	15
I.5.4.3	Association mixte.....	16

# Sommaire

---

<b>I.6</b>	<b>Eléments d'un système photovoltaïque.....</b>	<b>17</b>
I.6.1	Convertisseur DC/DC (Hacheur) .....	17
I.6.2	Convertisseur DC/AC (Onduleur).....	17
I.6.3	Maximum Power Point Tracking .....	18
I.6.4	Les batteries .....	18
I.6.4.1	Les types de batteries .....	18
I.6.4.2	Concept de base des batteries.....	20
I.6.5	Régulateur de charges .....	21
<b>I.7</b>	<b>Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque .....</b>	<b>22</b>
I.7.1	Avantages.....	22
I.7.2	Inconvénients .....	22
<b>I.8</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre II : Dimensionnement d'un système photovoltaïque</b>		
<b>II.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>23</b>
<b>II.2</b>	<b>Définition de dimensionnement .....</b>	<b>23</b>
<b>II.3</b>	<b>Localisation du site du projet donné .....</b>	<b>23</b>
<b>II.4</b>	<b>Critère de dimensionnement .....</b>	<b>24</b>
<b>II.5</b>	<b>Les méthodes de dimensionnement d'un système PV.....</b>	<b>25</b>
II.5.1	Méthode de probabilité d'erreur sur la charge (L.L.P).....	25
II.5.2	Méthode de la moyenne annuelle.....	25
II.5.3	Méthode LPSP (Loss of Power Supply Probability).....	25
II.5.4	Méthode des heures équivalentes.....	26
II.5.5	Méthode itérative .....	27
II.5.5.1	Estimation de la production d'énergie .....	27
II.5.5.2	Détermination de la capacité de stockage des batteries.....	27
II.5.5.3	Puissance crête du générateur photovoltaïque.....	28
II.5.5.4	Nombre de panneaux photovoltaïques .....	28
II.5.6	Méthode utilisabilité solaire.....	28
II.5.6.1	Rendement moyen.....	29
II.5.6.2	Énergie électrique produite par les panneaux PV .....	29
II.5.7	Méthode du mois le plus défavorable .....	29
<b>II.6</b>	<b>Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque.....</b>	<b>30</b>
<b>II.7</b>	<b>Les étapes du dimensionnement .....</b>	<b>31</b>

# Sommaire

---

<b>II.8</b>	<b>Etude technique.....</b>	<b>31</b>
II.8.1	Détermination des besoins de l'utilisateur.....	31
II.8.2	Evaluation du Gisement solaire local.....	32
II.8.2.1	Eclairement solaire.....	32
II.8.2.2	Irradiation solaire.....	32
II.8.3	Angle inclinaison des modules PV.....	32
II.8.4	Puissance crête totale du champ PV.....	33
II.8.5	Choix de la tension de fonctionnement du champ PV.....	34
II.8.6	Détermination du nombre de modules.....	34
II.8.6.1	Nombre de modules connectés en série.....	34
II.8.6.2	Nombre de modules connectés en parallèle.....	35
II.8.7	Dimensionnement des batteries de stockage.....	35
II.8.7.1	Capacité nominale de système.....	35
II.8.7.2	Nombre des batteries en série.....	35
II.8.7.3	Nombre des batteries en parallèle.....	36
II.8.7.4	Nombre des batteries totales.....	36
II.8.8	Dimensionnement du régulateur.....	36
II.8.8.1	Tension maximale.....	36
II.8.8.2	Courant maximale.....	37
II.8.8.3	Puissance nominale.....	37
II.8.9	Dimensionnement de l'onduleur.....	37
II.8.9.1	Tension maximale.....	38
II.8.9.2	Courant maximal.....	38
II.8.9.3	Puissance nominale.....	38
II.8.10	Dimensionnement des câbles.....	39
II.8.10.1	Section des câbles coté DC.....	39
II.8.10.2	Section des câbles coté AC.....	40
<b>II.9</b>	<b>Protection d'un système photovoltaïque.....</b>	<b>41</b>
II.9.1	Les panneaux solaires.....	41
II.9.2	Les batteries.....	42
II.9.3	Le régulateur de charge.....	42
II.9.4	L'onduleur.....	42
<b>II.10</b>	<b>Etude économique.....</b>	<b>42</b>
II.10.1	Evaluation du coût d'investissement initial.....	42
II.10.2	Estimation de l'amortissement total.....	43

# Sommaire

---

II.10.3	Estimation de l'entretien et de la maintenance annuel total .....	45
II.10.4	Estimation des coûts sur la durée de vie .....	46
<b>II.11</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>47</b>
 <b>Chapitre III : Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed – Naâma</b>		
<b>III.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>48</b>
<b>III.2</b>	<b>Etude technique de la bibliothèque .....</b>	<b>48</b>
III.2.1	Evaluation des besoins .....	48
III.2.1.1	Cahier des charges.....	48
III.2.2	Evaluation du Gisement solaire local.....	49
III.2.3	Angle inclinaison des modules PV.....	50
III.2.4	Puissance crête totale du champ PV.....	51
III.2.5	Choix de la tension de fonctionnement du champ PV .....	51
III.2.6	Dimensionnement de panneau .....	51
III.2.6.1	Détermination du nombre de modules .....	52
III.2.6.1.1	La surface disponible pour les panneaux .....	52
III.2.6.1.2	Nombre de modules connectés en série .....	52
III.2.6.1.3	Nombre de modules connectés en parallèle .....	53
III.2.7	Choix de la batterie .....	53
III.2.8	Dimensionnement des batteries de stockage.....	53
III.2.8.1	Capacité nominale de système .....	53
III.2.8.2	Nombre des batteries en série.....	54
III.2.8.3	Nombre des batteries en parallèle .....	54
III.2.8.4	Nombre des batteries totales .....	54
III.2.9	Dimensionnement du régulateur .....	54
III.2.9.1	Tension maximale .....	54
III.2.9.2	Courant maximale .....	54
III.2.9.3	Puissance nominale .....	55
III.2.10	Dimensionnement de l'onduleur .....	55
III.2.10.1	Nombre maximal et minimal de modules .....	56
III.2.10.1.1	Nombre minimal de modules en série.....	56
III.2.10.1.2	Nombre maximal de modules en série.....	56
III.2.10.1.3	Nombre maximal de modules en parallèle.....	57

## Sommaire

---

III.2.10.2	Tension maximale .....	57
III.2.10.3	Courant maximal .....	57
III.2.10.4	Puissance nominale .....	58
III.2.11	Dimensionnement des câbles .....	58
<b>III.3</b>	<b>Etude technique de la serre.....</b>	<b>59</b>
III.3.1	Evaluation des besoins .....	59
III.3.1.1	Cahier des charges.....	59
III.3.2	Puissance crête totale du champ PV.....	60
III.3.3	Choix de la tension de fonctionnement du champ PV .....	60
III.3.4	Dimensionnement de panneau .....	60
III.3.4.1	Détermination du nombre de modules .....	60
III.3.4.1.1	La surface disponible pour les panneaux .....	60
III.3.4.1.2	Nombre de modules connectés en série .....	61
III.3.4.1.1	Nombre de modules connectés en parallèle .....	61
III.3.5	Dimensionnement des batteries de stockage .....	61
III.3.5.1	Capacité nominale de système .....	61
III.3.5.2	Nombre des batteries en série.....	61
III.3.5.3	Nombre des batteries en parallèle .....	61
III.3.5.4	Nombre des batteries totales .....	62
III.3.6	Dimensionnement du régulateur .....	62
III.3.6.1	Tension maximale .....	62
III.3.6.2	Courant maximale .....	62
III.3.6.3	Puissance nominale .....	62
III.3.7	Dimensionnement de l'onduleur .....	63
III.3.7.1	Nombre maximal et minimal de modules .....	63
III.3.7.1.1	Nombre minimal de modules en série.....	63
III.3.7.1.2	Nombre maximal de modules en série.....	64
III.3.7.1.3	Nombre maximal de modules en parallèle.....	64
III.3.7.2	Tension maximale .....	64
III.3.7.3	Courant maximal .....	64
III.3.7.4	Puissance nominale .....	65
III.3.8	Dimensionnement des câbles .....	65
<b>III.4</b>	<b>Etude économique.....</b>	<b>66</b>
III.4.1	Calcul de l'investissement initial total .....	66

# Sommaire

---

III.4.2	Calcul de l'amortissement total.....	67
III.4.3	Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total.....	68
III.4.4	Calcul des coûts sur la durée de vie .....	68
<b>III.5</b>	<b>Présentation de logiciel de simulation PVSYST.....</b>	<b>69</b>
<b>III.6</b>	<b>Résultats de simulation pour la bibliothèque.....</b>	<b>73</b>
III.6.1	Besoins électriques.....	73
III.6.2	Simulation des équipements énergétiques.....	74
III.6.2.1	Système autonome .....	74
III.6.2.2	Système raccordé au réseau.....	75
III.6.3	Rapport de simulation .....	76
<b>III.7</b>	<b>Résultats de simulation pour la serre.....</b>	<b>85</b>
III.7.1	Besoins électriques.....	85
III.7.2	Simulation des équipements énergétiques.....	85
III.7.2.1	Système autonome .....	85
III.7.2.2	Système raccordé au réseau.....	86
III.7.3	Rapport de simulation .....	87
<b>III.8</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>96</b>
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>97</b>

# *Liste des Figures*

## *Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques*

<b>Figure I.1:</b> Schéma d'un système PV autonome avec batterie.....	4
<b>Figure I.2 :</b> Exemple de la structure d'un système PV connecté au réseau.....	4
<b>Figure I.3 :</b> Schéma d'un système PV hybride.....	5
<b>Figure I.4 :</b> Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	5
<b>Figure I.5 :</b> Technologies de cellules solaires photovoltaïques : (a) monocristalline;(b) polycristalline et (c) amorphe.....	7
<b>Figure I.6 :</b> Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque couplé à un récepteur.....	9
<b>Figure I.7 :</b> Modèle de cellule photovoltaïque idéale.....	9
<b>Figure I.8 :</b> Modèle de la cellule photovoltaïque réelle.....	10
<b>Figure I.9 :</b> Composantes d'un champ de modules photovoltaïques.....	11
<b>Figure I.10 :</b> La caractéristique puissance-tension et courant-tension d'un module photovoltaïque.....	13
<b>Figure I.11 :</b> Influence de l'éclairement sur les courbes courant-tension.....	13
<b>Figure I.12 :</b> Influence de la température sur les courbes courant-tension.....	14
<b>Figure I.13 :</b> Cellules identiques en série.....	15
<b>Figure I.14 :</b> Branchement en série des panneaux PV.....	15
<b>Figure I.15 :</b> Cellules identiques en parallèle.....	15
<b>Figure I.16 :</b> Branchement en parallèle des panneaux PV.....	16
<b>Figure I.17 :</b> Association mixte (série + parallèle).....	16
<b>Figure I.18 :</b> Schéma de principe d'un hacheur : (a)abaisseur, (b)élévateur.....	17
<b>Figure I.19 :</b> Schéma symbolique de l'onduleur.....	17

<b>Figure I.20</b> : Batterie Nickel Cadmium (Ni-Cd).....	<b>18</b>
<b>Figure I.21</b> : Batterie au lithium.....	<b>19</b>
<b>Figure I.22</b> : Batterie Gel.....	<b>19</b>
<b>Figure I.23</b> : Éléments employés dans les batteries plomb acide.....	<b>20</b>

## *Chapitre II* : Dimensionnement d'un système photovoltaïque

<b>Figure II.1</b> : Image satellite de lycée de la bibliothèque et la serre.....	<b>24</b>
<b>Figure II.2</b> : Schéma des composants d'une installation photovoltaïque.....	<b>30</b>
<b>Figure II.3</b> : Les inclinaisons des modules PV.....	<b>33</b>

## *Chapitre III* : Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI

Ahmed –Naâma

<b>Figure III.1</b> : Batterie gel 6-FMG-260.....	<b>53</b>
<b>Figure III.2</b> : régulateur de charge SC-X-100A.....	<b>55</b>
<b>Figure III.3</b> : Onduleur ABB (PVI-110.0-TL).....	<b>56</b>
<b>Figure III.4</b> : LAGUA (SUNKING-10kW).....	<b>63</b>
<b>Figure III.5</b> : Interface de logiciel PVSYST.....	<b>70</b>
<b>Figure III.6</b> : Coordonnées géographiques du site de centre universitaire SALHI Ahmed.....	<b>70</b>
<b>Figure III.7</b> : Données Météorologiques mensuelles de Naâma.....	<b>71</b>
<b>Figure III.8</b> : Diagramme de la trajectoire du soleil.....	<b>71</b>
<b>Figure III.9</b> : Orientation des panneaux.....	<b>72</b>
<b>Figure III.10</b> : Schéma simplifié d'une installation PV autonome.....	<b>72</b>
<b>Figure III.11</b> : Schéma simplifié d'une installation PV raccordé au réseau.....	<b>73</b>
<b>Figure III.12</b> : Besoins de la bibliothèque.....	<b>73</b>

<b>Figure III.13</b> : Dimensionnement des batteries pour le système autonome avec stockage.....	<b>74</b>
<b>Figure III.14</b> : Dimensionnement de module et régulateur pour le système autonome avec stockage.....	<b>75</b>
<b>Figure III.15</b> : Dimensionnement de module et onduleur.....	<b>75</b>
<b>Figure III.16</b> : Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système autonome.....	<b>76</b>
<b>Figure III.17</b> : Besoins de l'utilisation pour le système autonome avec stockage.....	<b>76</b>
<b>Figure III.18</b> : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage.....	<b>77</b>
<b>Figure III.19</b> : Simulation 3D pour le système autonome avec stockage de la bibliothèque.....	<b>78</b>
<b>Figure III.20</b> : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage de la bibliothèque.....	<b>79</b>
<b>Figure III.21</b> : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage de la bibliothèque.....	<b>80</b>
<b>Figure III.22</b> : Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système raccordé au réseau de la bibliothèque.....	<b>81</b>
<b>Figure III.23</b> : Paramètres de simulation pour le système raccordé au réseau de la bibliothèque.....	<b>82</b>
<b>Figure III.24</b> : Analyse énergétique pour le système raccordé au réseau de la bibliothèque.....	<b>83</b>
<b>Figure III.25</b> : Diagramme de perte dans le système raccordé au réseau de la bibliothèque.....	<b>84</b>
<b>Figure III.26</b> : Besoins de la serre.....	<b>85</b>
<b>Figure III.27</b> : Dimensionnement des batteries pour le système autonome avec stockage de la serre.....	<b>86</b>

<b>Figure III.28</b> : Dimensionnement de module et régulateur pour le système autonome avec stockage de la serre.....	<b>86</b>
<b>Figure III.29</b> : Dimensionnement de module et onduleur pour la serre.....	<b>87</b>
<b>Figure III.30</b> : Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système autonome de la serre.....	<b>88</b>
<b>Figure III.31</b> : Besoins de la serre.....	<b>88</b>
<b>Figure III.32</b> : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage de la serre.....	<b>89</b>
<b>Figure III.33</b> : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage de la serre.....	<b>90</b>
<b>Figure III.34</b> : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage de la serre.....	<b>91</b>
<b>Figure III.35</b> : Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système raccordé au réseau de la serre.....	<b>92</b>
<b>Figure III.36</b> : Simulation 3D pour le système autonome avec stockage de la serre.....	<b>92</b>
<b>Figure III.37</b> : Paramètres de simulation pour le système raccordé au réseau de la serre.....	<b>93</b>
<b>Figure III.38</b> : Analyse énergétique pour le système raccordé au réseau de la serre.....	<b>94</b>
<b>Figure III.39</b> : Diagramme de perte dans le système raccordé au réseau de la serre.....	<b>95</b>

## *Liste des tableaux*

### **Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques**

<b>Tableau I-1 : Etat comparatif des différentes technologies des cellules photovoltaïques.....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau II.2 : Choix de l'inclinaison.....</b>	<b>33</b>
<b>Chapitre III : Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed –Naâma</b>	
<b>Tableau III.1 : besoin journalier de la bibliothèque.....</b>	<b>49</b>
<b>Tableau III.2 : L'irradiation moyenne reçue par mois dans la ville de Naâma par le logiciel PvGis.....</b>	<b>50</b>
<b>Tableau III.3 : Situation géographique du site.....</b>	<b>51</b>
<b>Tableau III.4 : Les caractéristiques du module photovoltaïque.....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau III.5 : Les caractéristiques de la batterie.....</b>	<b>55</b>
<b>Tableau III.6 : Les caractéristiques du régulateur de charge.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau III.7 : Fiche technique de l'onduleur ABB.....</b>	<b>58</b>
<b>Tableau III.8 : Calcul de la section des câbles.....</b>	<b>59</b>
<b>Tableau III.9 : Les caractéristiques du câblage.....</b>	<b>59</b>
<b>Tableau III.10 : Besoin journalier de la serre.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau III.11 : Fiche technique de l'onduleur LAGUA.....</b>	<b>65</b>
<b>Tableau III.12 : Calcul de la section des câbles.....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau III.13 : Les caractéristiques du câblage.....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau III.14 : L'investissement initial total de la bibliothèque.....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau III.15 : L'investissement initial total de la serre.....</b>	<b>67</b>
<b>Tableau III.16 : L'amortissement global de l'installation PV de la bibliothèque.....</b>	<b>67</b>
<b>Tableau III.17 : L'amortissement global de l'installation PV de la serre.....</b>	<b>67</b>

<b>Tableau III.18</b> : L'entretien global annuel de l'installation PV de la bibliothèque.....	<b>68</b>
<b>Tableau III.19</b> : L'entretien global annuel de l'installation PV de la serre.....	<b>68</b>
<b>Tableau III.20</b> : Comparaison entre le calcul et PVsyst dans le cas de la bibliothèque.....	<b>85</b>
<b>Tableau III.21</b> : Comparaison entre le calcul et PVsyst dans le cas de la serre.....	<b>95</b>

## Liste des abréviations

---

$V_d$  : Tension imposée à la diode.

$V_t$  : Potentielle thermique.

$k = 1,38 \times 10^{-23}$  constante de Boltzmann.

$q = 1,602 \times 10^{-19}$  charge de l'électron.

$T$  : Température absolue en kelvins.

$I_{pv}$  : Le courant fourni par la cellule.

$I_s$  : Courant de saturation de la diode.

$I_{ph}$  : Le photo-courant dépendant de l'éclairement.

$U_{mpp}$  : Tension maximale au point  $P_{max}$ .

$I_{mpp}$  : Courant maximum au point  $P_{max}$ .

$\eta$  : Rendement énergétique.

$P_o$  : La puissance du rayonnement solaire incident.

$E_{Df}$  : Energie déficitaire.

$E_{Dm}$  : Energie demandée.

$E_{bat}(t)$  : Energie stockée dans la batterie à une heure.

$E_{bat}(t - 1)$  : Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente.

$\sigma$  : Taux horaire d'autodécharge.

$E_s(t)$  : Energie produite par la source (Wh).

$EL(t)$  : Energie demandée par la charge à une date t (Wh).

$\eta_{ond}$  : Rendement de l'onduleur.

$T_u$  : Température diurne.

$G$  : Energie incidente reçue sur le plan des modules.

## Liste des abréviations

---

**$V$**  : Tension du générateur PV.

**$B$**  : Eclairement de référence.

$\mu$  : Coefficient d'intégration.

**$S$**  : Coefficient de sécurité.

**$U$**  : Tension du système.

**$C$**  : Capacité nominale de la batterie en Ampère-heure.

**$E_p$**  : Energie à produire par jour.

**$N$**  : Nombre de jours d'autonomie.

**$DOD$**  : Profondeur de décharge maximale admissible par les batteries.

**$ft$**  : Facteur de réduction de température.

**$C$**  : Capacité de la batterie.

**$T$**  : Température (en °C).

**$C_0$**  : Capacité de la batterie évaluée à 27°C.

**$E_p$**  : Énergie produite par jour.

**$T_{sun}$**  : Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour).

$\eta_{pc}$  : Facteur de dégradation.

$\eta_r$  : Rendement du module à la température de référence  $T_r$  (25°C).

**$\beta_p$**  : Coefficient de température pour le rendement du module.

**$T_c$**  : Est reliée à la température ambiante du mois  $T_a$  par la formule d'Evans.

**$NOCT$**  (Nominal Operating Cell Temperature) : Température nominale des cellules en opération.

**$K_t$**  : Indice de clarté mensuelle.

**$S$**  : Surface de ces panneaux.

## Liste des abréviations

---

$\eta_p$  : Rendement moyen des cellules PV.

$I_t$  : Irradiation horaire incidente sur la surface inclinée des panneaux.

$Ea(t)$  : Énergie disponible pour la charge électrique et l'accumulateur durant l'heure  $t$ .

$Pi$  : Puissance journalière d'un équipement.

$Ti$  : Temps de fonctionnement.

$Ni$  : Nombre des équipements.

$\varphi$  : Latitude de lieu.

$N$  : Le nombre de jours entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré, (de signe négatif vers la saison froide).

$Ir$  : Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque correspondant au moins le plus défavorable (KWh/m<sup>2</sup>/j).

$Pc$  : Puissance crête du champ photovoltaïque.

$Ecj$  : Energie consommée.

$P_c$  : Puissance crête de l'installation.

$Pu$  : Puissance crête unitaire.

$V_{pv}$  : Tension du générateur PV.

$V_u$  : Tension nominale unitaire.

$N_m$  : Nombre du module total.

$N_s$  : Nombre module connecté en série.

$N_p$  : Nombre module connecté en parallèle.

$N_{bs}$  : Nombre des batteries en série.

$N_{bp}$  : Nombre des batteries en parallèle ;

$V_{bn}$  : Tension nominale d'une seule batterie.

## Liste des abréviations

---

$C$  : La capacité nominale de l'installation en [Ah].

$Ecj$  : Energie consommée en [Wh].

$V_{CO}$  : La tension de circuit ouvert.

$I_{CC}$  : Courant de court-circuit.

$[ U_{MPPTmin} - U_{MPPTmax} ]$  : Plage de tension *MPPT*.

$I_{max}$  : Courant d'entrée maximale.

$I$  : Intensité de courant.

$\Delta V$  : Chute de tension.

$\rho$  : Résistivité linéaire du conducteur.

$S$  : Section du câble.

$L$  : Longueur du câble.

$V_{bat}$  : Tension nominale des batteries.

$V_{bn}$  : Tension nominale d'une seule batterie.

$I_{bat}$  : Courant des batteries.

$\alpha$  : Rapport cyclique.

$\beta$  : Coefficient qui vaut 1 en triphasé 2 en monophasé.

$\rho_{cu}$  : La résistivité du matériau conducteur (cuivre).

$\cos \theta$  : Facteur de puissance (le déphasage entre la tension et le courant en alternatif)

$I_{ch}$  : Courant maximale d'emploi.



# **Introduction générale**



## Introduction générale

---

Comme partout ailleurs sur la planète, l'Algérie est confrontée à une demande croissante en énergie, qui est un élément essentiel du développement des nations. Toutefois, pour répondre à cette demande de manière durable, il est devenu nécessaire de passer aux énergies renouvelables. Cette transition est devenue une nécessité en raison des multiples problèmes rencontrés, qui menacent désormais la vie humaine. Parmi ces problèmes, on peut citer l'augmentation des coûts et l'utilisation intensive de combustibles fossiles, qui atteignent leurs limites et entraînent de graves dommages environnementaux, contribuant ainsi au réchauffement climatique à l'échelle mondiale.

Les sources d'énergie dites primaires, telles que l'énergie marémotrice, solaire, hydraulique et éolienne, présentent un avantage majeur en ce qu'elles n'émettent pas de gaz à effet de serre nocif pour l'environnement et l'atmosphère. Actuellement, l'énergie solaire est en train de devenir la source d'énergie la plus populaire après les sources d'énergie secondaires.

De nos jours, l'énergie solaire est exploitée de diverses manières, notamment à travers les technologies thermique, thermodynamique et photovoltaïque. Cependant, cette dernière est la plus couramment utilisée en raison de son développement avancé au fil des années et de sa forte demande. Dans notre étude, nous nous concentrerons sur l'utilisation de panneaux photovoltaïques conçus pour convertir l'énergie solaire en électricité.

Notre travail consiste au dimensionnement d'une installation photovoltaïque avec stockage pour la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed - Naâma, dans lequel on se base sur l'utilisation d'une méthode simple qui permet de bien dimensionner les différents éléments de notre système.

Pour cela, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres :

- Le premier chapitre abordera les concepts liés au système photovoltaïque, tels que l'énergie solaire, le fonctionnement physique des cellules photovoltaïques et les différentes composantes qui constituent ce système. Nous discuterons également des avantages et des inconvénients associés à cette source d'énergie.
- Le deuxième chapitre aborde le principe fondamental de l'installation autonome photovoltaïque, suivi d'une présentation détaillée des différents éléments qui composent le générateur PV, notamment les panneaux solaires, les batteries, les régulateurs et les onduleurs. Nous examinons également les différentes méthodes de

## Introduction générale

---

dimensionnement d'un système PV, en nous concentrant sur les spécificités de l'installation autonome photovoltaïque.

- Le troisième chapitre sera consacré pour l'étude et le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation de la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed - Naâma ainsi la simulation par le logiciel PV SYST.

Finalement, notre étude sera clôturée par une conclusion globale dans laquelle nous ferons une récapitulation des tâches réalisées et des résultats majeurs obtenus. Nous aborderons également les perspectives envisagées pour l'avenir.



chapitre I : Généralité sur les systèmes  
photovoltaïques



## **I.1 Introduction**

L'énergie solaire photovoltaïque connaît actuellement un fort développement dans le monde. Celle-ci est la plus populaire et la plus répandue vu son caractère écologique.

La production d'électricité à partir du rayonnement solaire grâce à des cellules photovoltaïques en série ou en parallèle est une forme d'énergie renouvelable appelée énergie solaire photovoltaïque. Lorsque les cellules sont reliées, elles forment un module solaire photovoltaïque. Pour tirer le meilleur parti de cette énergie, il est important d'avoir une bonne compréhension des principes fondamentaux de la conversion photovoltaïque et des notions préliminaires associées.

Dans ce chapitre, nous décrivons des généralités sur le système photovoltaïque, (la définition de l'énergie solaire photovoltaïque, les différents types de système photovoltaïque, la cellule PV, les éléments de système PV...etc.)

## **I.2 Energie solaire photovoltaïque**

L'énergie solaire photovoltaïque est produite par la transformation de la lumière en électricité. Cela se fait à l'aide de panneaux photovoltaïques, qui sont composés de cellules solaires ou de photopiles. La conversion photovoltaïque implique l'absorption de photons dans un matériau semi-conducteur, ce qui produit des charges électriques qui sont dirigées vers un circuit extérieur pour produire du courant [1].

## **I.3 Les différents types de systèmes photovoltaïques**

Généralement il existe trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du système de réseau distribution d'électricité, on les retrouve généralement dans les régions isolées.

### **I.3.1 Système photovoltaïque autonomes**

Ces dispositifs photovoltaïques sont mis en place pour assurer une opération indépendante sans besoin d'autres sources d'énergie. Ils sont généralement utilisés dans les zones isolées et éloignées du réseau électrique. En fonction de l'utilisation ou non de la stockage électrochimique, ces systèmes photovoltaïques autonomes peuvent être classés de la manière suivante :

- **Système autonome sans stockage électrochimique** : Ce genre de système n'a pas besoin de stockage d'électricité, car soit la production d'énergie des cellules est suffisante même avec une faible quantité de lumière, soit le temps d'utilisation de la charge n'est pas important (ex.: pompe à eau: le réservoir d'eau sert de stockage) [2].
- **Système autonome avec stockage électrochimique** : C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour [2].

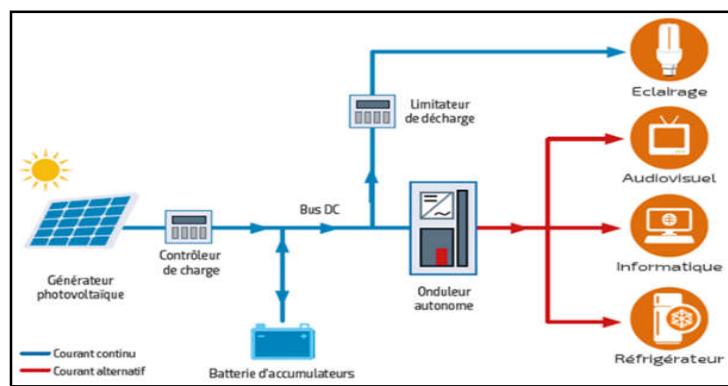


Figure I.1: Schéma d'un système PV autonome avec batterie [3].

### I.3.2 Système PV connecté au réseau

Le système photovoltaïque représenté sur la figure I.2 est connecté au réseau électrique et a pour but de contribuer à la production d'énergie renouvelable sur le réseau. Physiquement, l'énergie produite par les modules photovoltaïques est utilisée immédiatement par les charges locales de l'habitation. Si la production excède la consommation en temps réel, le surplus est injecté dans le réseau électrique qui sert de complément à la production PV [4].

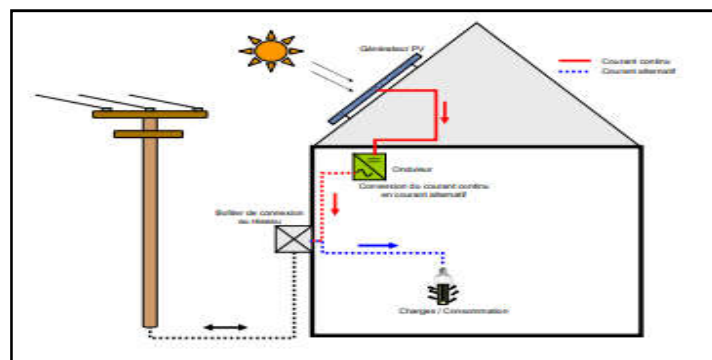


Figure I.2 : Exemple de la structure d'un système PV connecté au réseau [4].

### I.3.3 Système hybrides

Les systèmes photovoltaïques hybrides combinent un générateur photovoltaïque avec un autre source d'énergie telle qu'une éolienne, un groupe électrogène ou même le réseau public d'électricité. Pour stocker l'énergie produite par les sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien, un système de batteries est généralement utilisé. Cependant, le défi de ce type de système consiste à équilibrer les différentes sources d'énergie afin de les optimiser toutes. Les sources thermiques et le réseau public sont uniquement utilisés en dernier recours [5].

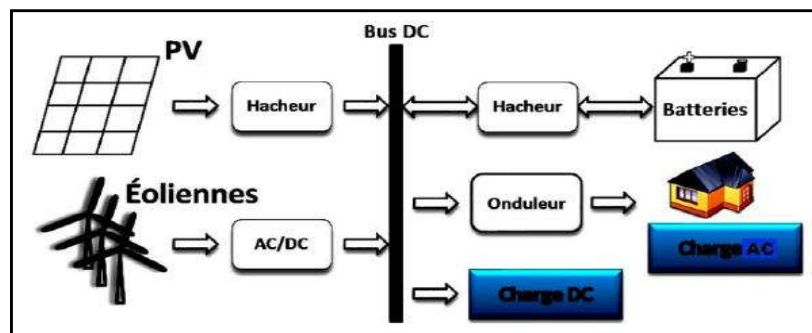


Figure I.3 : Schéma d'un système PV hybride [6].

## I.4 La cellule photovoltaïque

La cellule PV 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.

### I.4.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule PV est basé sur un phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque. La Figure 1-4 illustre la coupe d'une cellule PV.

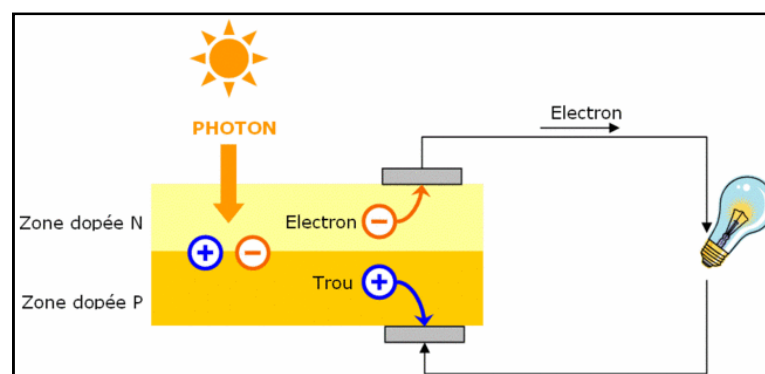


Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [7].

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir d'un matériau semi-conducteur, tel que le silicium. Son fonctionnement ressemble à celui d'une diode classique. La cellule est composée de deux couches distinctes, la couche supérieure dopée N et la couche inférieure dopée P, formant ainsi une jonction PN qui crée une barrière de potentiel. Lorsque les photons rencontrent la surface du matériau, ils transmettent leur énergie aux atomes, libérant des électrons et créant des trous, entraînant une différence de potentiel entre les couches. Ce champ électrique  $E$  déplace les porteurs libres vers les contacts métalliques des régions P et N, produisant un courant électrique et une différence de potentiel dans la cellule PV. Le courant et la tension fournis dépendent de divers paramètres qui seront examinés plus en détail par la suite. [8].

#### **I.4.2 Technologie des cellules photovoltaïques**

Les technologies solaires photovoltaïques ont connu une progression remarquable. Alors que les premiers systèmes étaient limités aux petites cellules photovoltaïques, les nouvelles technologies offrent des systèmes de production d'énergie solaire concentrée de grande capacité capable d'alimenter les réseaux électriques. Il existe différentes technologies de cellules photovoltaïques, mais les plus couramment utilisées et commercialisées sont le silicium cristallin et le silicium amorphe ou "couche mince". Pour le silicium cristallin, il y a deux types de cellules solaires : les cellules solaires monocristallines et les cellules solaires polycristallines [9].

- **Cellules solaires monocristallines**

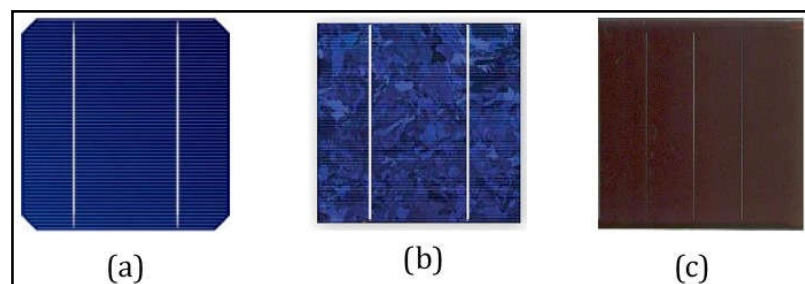
Les atomes de cellules solaires monocristallines sont constitués d'un seul cristal de silicium disposé de manière ordonnée. Cette technologie de cellules photovoltaïques a le plus haut rendement, pouvant atteindre 20,19 % [10]. Cependant, elle est également la plus coûteuse.

- **Cellules solaires polycristallines**

Les cellules photovoltaïques polycristallines sont composées de plusieurs grains de monocristaux dont les réseaux ne sont pas alignés les uns avec les autres [11]. Leur processus de fabrication est plus simple, ce qui les rend moins coûteuses que les cellules photovoltaïques monocristallines. Cependant, leur efficacité est légèrement inférieure, avec une efficacité moyenne de 12% [12].

- **Cellules solaires amorphes**

Les cellules en silicium amorphe ont une structure atomique chaotique, contrairement au silicium cristallin rigide qui est fabriqué à partir de la formation de cristaux. Au lieu de cela, le silicium amorphe est produit en déposant le matériau sur un substrat. En conséquence, cette forme de silicium présente une capacité d'absorption considérablement plus élevée, d'environ mille fois, que le silicium cristallin [9]. Les cellules silicium amorphes sont plus efficaces pour absorber la lumière que les cellules silicium cristallines, ce qui leur permet d'être plus minces. C'est pourquoi on les appelle également des cellules "à couche mince". L'utilisation du silicium amorphe permet de déposer une couche sur une variété de supports, allant des matériaux rigides aux supports souples et flexibles. Cela le rend particulièrement adapté pour les surfaces courbes et pour un collage direct sur les matériaux de toiture. Bien que moins performante que la technologie cristalline de silicium (avec un rendement moyen de seulement 6%), la technologie amorphe est plus facile à produire et plus économique. Si vous disposez d'un espace suffisant sur votre toit, l'utilisation de cette technologie peut être une bonne solution. Cependant, si vous cherchez à obtenir le meilleur rendement possible par mètre carré, il est préférable de choisir une technologie cristalline [12].



(a) monocristallin      (b) polycristalline      (c) amorphe

**Figure I.5 :** Technologies de cellules solaires photovoltaïques [13].

### **I.4.3 Comparatif des différentes technologies de la cellule photovoltaïque**

Le tableau comparatif ci-joint (Tableau I.1) présente les caractéristiques des différents types et technologies de cellules photovoltaïques en les classant selon leur rendement, leur durabilité et leurs applications principales. Les différences entre les cellules permettent de les classer de manière efficace.

**Tableau I.1** : Etat comparatif des différentes technologies des cellules photovoltaïques. [25]

Matériaux	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Silicium monocristallin	10 à 16% (24,7% au laboratoire)	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très performant</li> <li>• Stabilité de production</li> <li>• Méthode de production couteuse et laborieuse.</li> </ul>	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium Poly cristallin	11 à 13% (19.8% en laboratoire)	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très performant</li> <li>• Stabilité de production</li> <li>• Méthode de production couteuse et laborieuse.</li> </ul>	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	6 à 10% (13% au laboratoire)	≤ 10 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut fonctionner sous la lumière fluorescente.</li> <li>• Fonctionnement faible si luminosité.</li> <li>• Fonctionnement par temps couvert.</li> <li>• Fonctionnement si ombrage Partiel.</li> <li>• La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.</li> </ul>	Appareil électroniques (montres, calculatrice...), Intégration dans le bâtiment

#### I.4.4 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

En termes électroniques, on peut représenter une photopile (générateur) alimentant directement un récepteur de la façon suivante (figure I-6) :

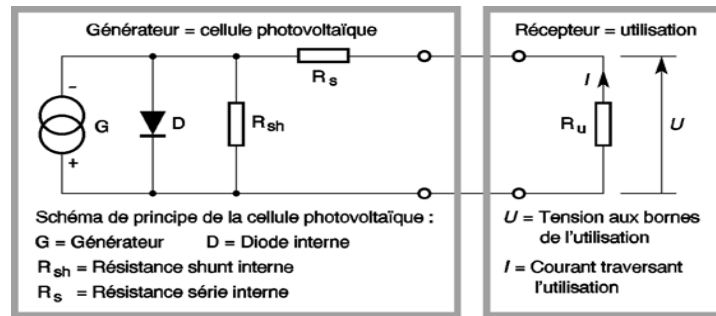


Figure I.6 : Schéma équivalent d'une cellule couplé à un récepteur [23].

- **G** est une source de courant parfaite qui délivre le courant  $I_{ph}$ .
- **D** est une diode matérialisant le fait que le courant ne circule que dans un sens.
- **R<sub>sh</sub>** est une résistance shunt qui prend en compte les fuites inévitables de courant qui interviennent entre les bornes opposées positive et négative d'une photopile (microcourt-circuits dans le silicium en particulier).
- **R<sub>s</sub>** est une résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours (résistance intrinsèque des couches, résistance des contacts).
- **R<sub>u</sub>** est l'impédance du récepteur qui impose le point de fonctionnement sur la photopile en fonction de sa caractéristique courant-tension à l'éclairement considéré (dans le cas où le récepteur est assimilable à un résistor) [23].

#### I.4.5 La modélisation d'une cellule photovoltaïque

##### I.4.5.1 Modèle idéal

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant  $I_{ph}$  proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure (I-7) qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV [26]:

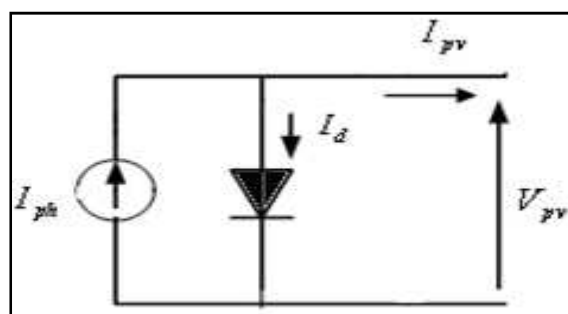


Figure I.7 : Modèle de cellule photovoltaïque idéale [26].

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (\text{I.1})$$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_s \times \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (\text{I.2})$$

Le courant débité équivaut à :

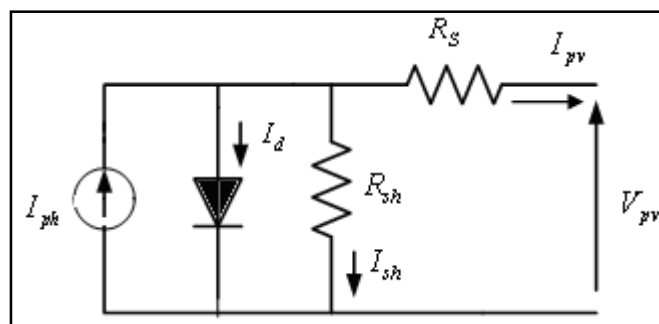
$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \times \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (\text{I.3})$$

Avec :

- $V_d$  : tension imposée à la diode ;
- $V_t = kT/q = 26 \text{ mV}$  à 300 K ;
- $k = 1,38 \times 10^{-23}$  constante de Boltzmann ;
- $q = 1,602 \times 10^{-19}$  charge de l'électron ;
- $T$  : température absolue en kelvins ;
- $I_{pv}$  : Le courant fourni par la cellule ;
- $I_s$  : courant de saturation de la diode ;
- $I_{ph}$  : Le photo-courant dépendant de l'éclairement.

#### I.4.5.2 Modèle réel

Pour tenir compte des chutes de tension dans la zone P et N, on doit ajouter, au modèle idéaliste, une résistance série  $R_s$  et pour le courant de fuite, une résistance parallèle  $R_p$ , comme illustrer sur le schéma suivant :



**Figure I.8** : Modèle de la cellule photovoltaïque réelle [26].

Le courant généré par ce modèle est donné par :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{I.4})$$

Avec :

$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + R_s \cdot I_{pv}}{R_{sh}} \quad (I.5)$$

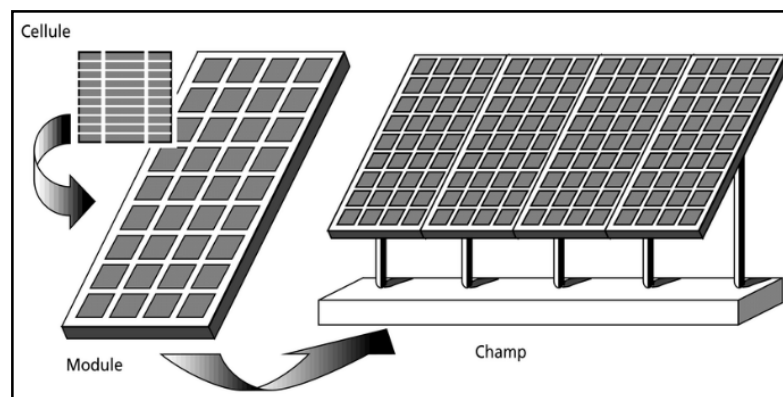
Donc :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \times \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s \times I_{pv}}{R_{sh}} \quad (I.6)$$

## I.5 Module photovoltaïque

Avant de poursuivre, précisons le vocabulaire employé :

- Cellule solaire ou photopile: composant de base de conversion photovoltaïque.
- Module ou panneau photovoltaïque (termes équivalents): ensemble de cellules solaires assemblées électriquement et mécaniquement. Par extension on parle plus simplement de panneau solaire (à ne pas confondre avec les panneaux solaires thermiques qui produisent de la chaleur et non pas de l'électricité).
- Champ de panneaux ou champ photovoltaïque: ensemble de panneaux photovoltaïques connectés entre eux sur un même plan pour former un ensemble de puissance supérieure [1].



**Figure I.9 :** Composantes d'un champ de modules photovoltaïques [32].

### I.5.1 Caractéristiques d'un module photovoltaïque

Les données essentielles permettent de déterminer la caractéristique d'un module photovoltaïque [24]:

#### I.5.1.1 La puissance crête $P_c$ :

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans la condition standard (25°C et un éclairement de  $1000 \text{ W/m}^2$ ).

**I.5.1.2 Tension à vide  $V_{co}$  :**

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

**I.5.1.3 Courant de court-circuit  $I_{cc}$  :**

Courant débité par un module en court-circuit pour éclairement " plein soleil ".

**I.5.1.4 Point de fonctionnement optimum  $P_{max}$  :**

Lorsque la puissance crête est maximum en plein soleil :

$$P_{max} = U_{mpp} \times I_{mpp} \quad (I.7)$$

$U_{mpp}$  : Tension maximale au point  $P_{max}$  ;

$I_{mpp}$  : Courant maximum au point  $P_{max}$ .

**I.5.1.5 Rendement maximal  $\eta$  :**

Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_o} = \frac{U_{mpp} \times I_{mpp}}{P_o} \quad (I.8)$$

$\eta$  : Rendement énergétique ;

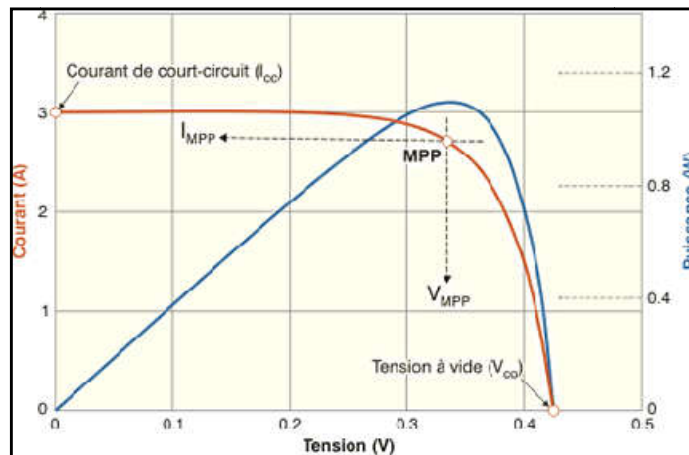
$P_o$  : La puissance du rayonnement solaire incident.

**I.5.1.6 Facteur de forme  $FF$  :**

Un paramètre important est utilisé à partir la caractéristique I(V) pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'une cellule ou d'un générateur PV.

Ce coefficient représente rapport entre la puissance optimale  $P_{max}$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule :  $V_{co}$  et  $I_{cc}$ .

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \times I_{cc}} = \frac{U_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (I.9)$$

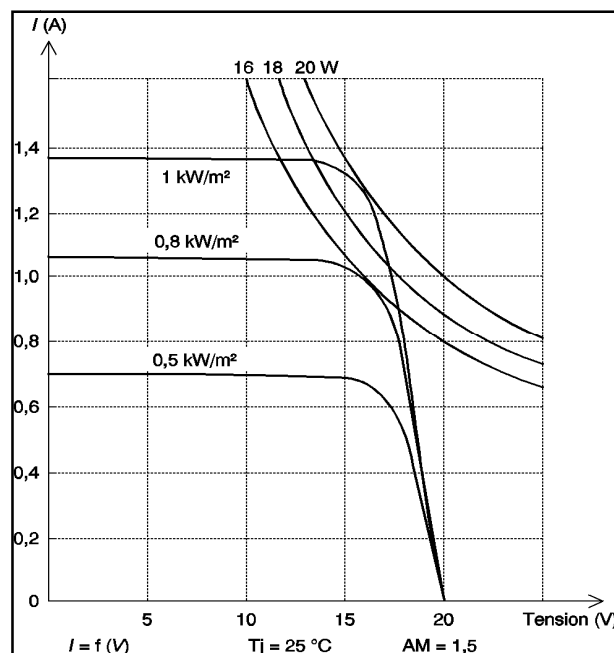


**Figure I.10** : La caractéristique puissance-tension et courant-tension d'un module photovoltaïque [27].

### I.5.2 Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques du module photovoltaïque

Le courant  $I_{cc}$  varie directement avec le rayonnement lumineux (la relation est proportionnelle), la tension restant relativement constante. Cela est intéressant, notamment pour la charge d'une batterie.

Par exemple les caractéristiques d'un panneau au silicium cristallin, telles que données par le fabricant (figure I.10). On remarquera la puissance maximale, qui passe de  $20 \text{ Wc}$  à  $1 \text{ kW/m}^2$  à  $16 \text{ Wc}$  à  $0,8 \text{ kW/m}^2$  [23].

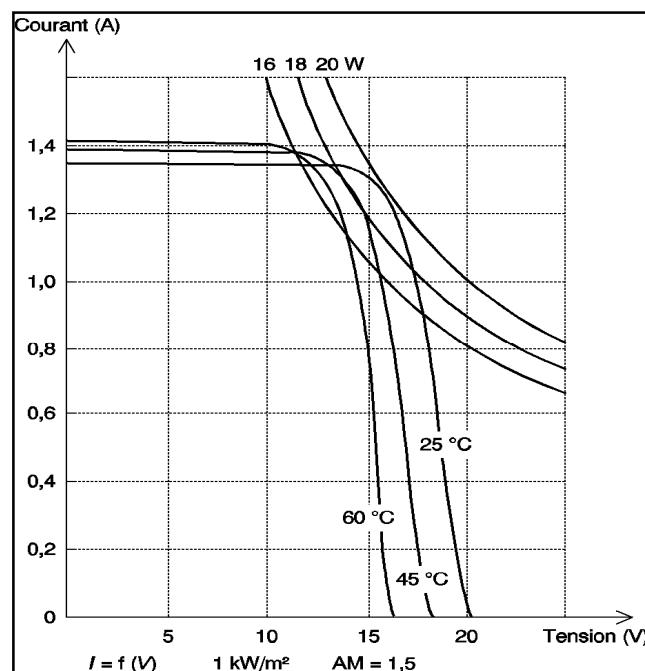


**Figure I.11** : Influence de l'éclairement sur les courbes courant-tension [23].

### I.5.3 Influence de la température sur les caractéristiques du module photovoltaïque :

La température a également une influence non négligeable sur les caractéristiques de ce panneau : quand la température s'élève, la tension diminue et donc la puissance aussi.

Les courbes de (la figure I.11) montrent cette dérive des caractéristiques de ce panneau en silicium cristallin en fonction de la température. On constate que l'on passe d'une puissance optimale de 20 W à 25°C à une puissance de 18 W pour une température de 45°C : on est donc obligé de tenir compte de la température d'utilisation de la photopile afin d'appliquer un coefficient réducteur de la puissance optimale à 25°C.



**Figure I.12** : Influence de la température sur les courbes courant-tension [23].

Paradoxalement, cet inconvénient, sous les climats très chauds, devient un avantage dans les pays à climat tempéré et à forte luminosité [23].

### I.5.4 Association des modules photovoltaïques

#### I.5.4.1 Association en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

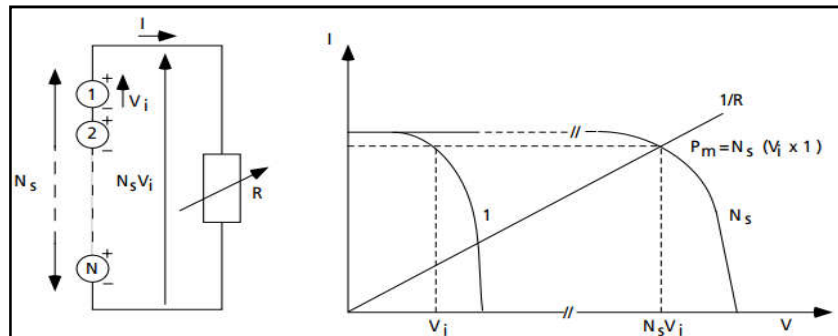


Figure I.13 : Cellules identiques en série [2].

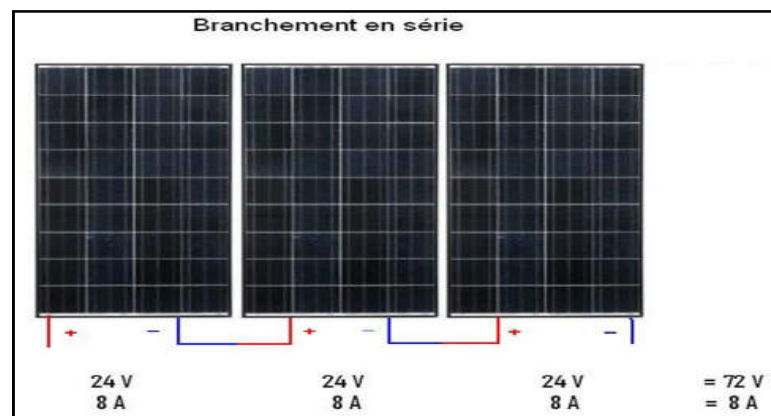


Figure I.14 : Branchement en série des panneaux PV [14].

Si les modules en série ne sont pas identiques ou si certaines cellules sont partiellement ombragées, la tension d’utilisation des modules en série sera légèrement diminuée [2].

### I.5.4.2 Association en parallèle

En additionnant des cellules ou des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l’intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche.

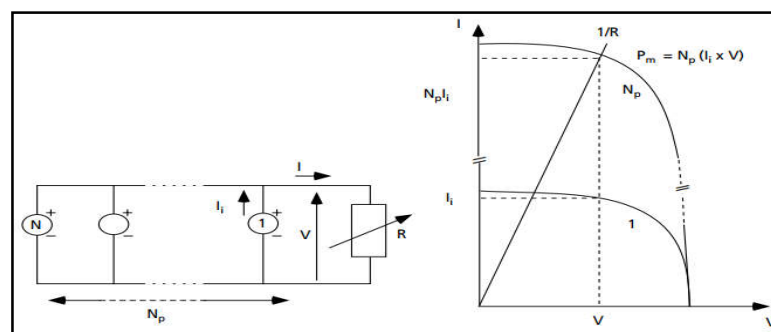
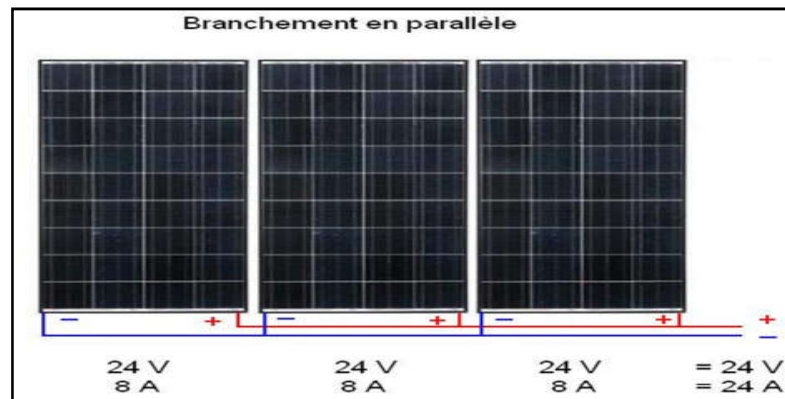


Figure I.15 : Cellules identiques en parallèle [2].

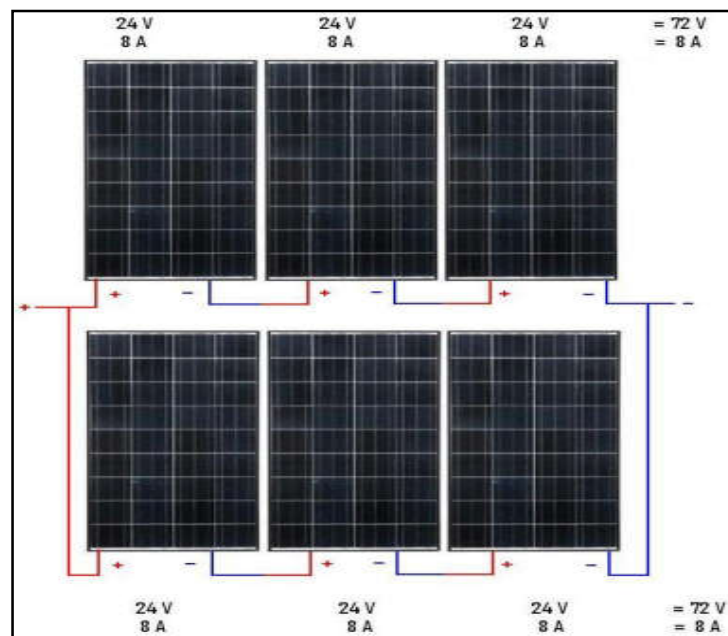


**Figure I.16 :** Branchement en parallèle des panneaux PV [14].

Si les modules en parallèles ne sont pas identiques ou si quelques cellules d'un module sont ombragées, le courant d'utilisation total des modules sera plus faible [2].

#### I.5.4.3 Association mixte

Afin d'obtenir des puissances de quelques  $kW$ , sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque comme montrer dans la figure (I.10) suivante :



**Figure I.17 :** Association mixte (série + parallèle) [14].

## I.6 Eléments d'un système photovoltaïque

### I.6.1 Convertisseur DC/DC (Hacheur)

Le fonctionnement optimal d'un générateur photovoltaïque (PV) est dû à la constance de la tension idéale pour extraire la puissance maximale des modules PV, malgré les variations d'éclairement. Par conséquent, il est nécessaire de maintenir une tension constante aux entrées du générateur PV pour assurer une performance optimale.

Le contrôle de tension est effectué avec un convertisseur continu-continu commandé par la variation du rapport cyclique. Ce convertisseur, connu sous le nom de hacheur, est un composant électronique (utilisant des transistors ou des thyristors de puissance) qui hache la tension d'entrée à une fréquence élevée. Avec ce dispositif, il est possible de transmettre un courant réglable et constant provenant d'un générateur à tension continue à un récepteur à courant continu. En fonction de la connexion de l'élément commutateur (transistor ou thyristor) en série avec la charge, l'hacheur agit comme un régulateur de tension. Dans le cas où l'élément est en parallèle avec la charge, l'hacheur est un élévateur de tension [16].

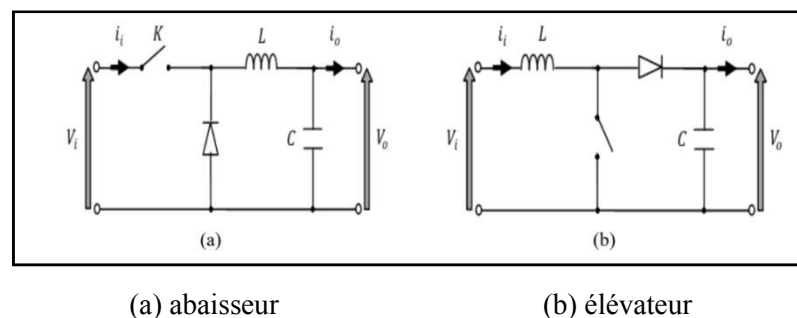


Figure I.18 : Schéma de principe d'un hacheur [17].

### I.6.2 Convertisseur DC/AC (Onduleur)

Les onduleurs sont essentiels pour convertir le courant continu produit par les modules PV en courant alternatif, qui est la forme d'énergie électrique la plus couramment transmise et distribuée. La plupart des appareils nécessitent en effet du courant alternatif pour fonctionner. Les onduleurs sont donc indispensables pour les systèmes raccordés au réseau, ainsi que pour les systèmes autonomes utilisant des appareils en AC.

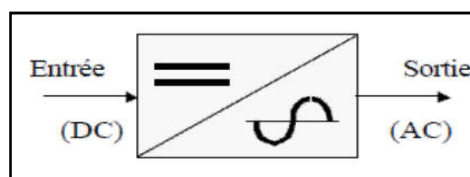


Figure I.19 : Schéma symbolique de l'onduleur [14].

### I.6.3 Maximum Power Point Tracking

Le MPPT (Maximum Power Point Tracking) est un élément clé du système PV qui permet de trouver le fonctionnement optimal du générateur solaire en fonction des conditions météorologiques et des variations de charge. Il utilise un processus de régulation en ajustant automatiquement le rapport cyclique  $\alpha$  pour maximiser en permanence la puissance produite par le panneau photovoltaïque [18].

### I.6.4 Les batteries

Une batterie ou un accumulateur électrochimique est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de décharge. C'est la modification chimique d'électrolyte qui permet d'accumuler ou de restituer cette énergie.

Toute batterie est un ensemble de cellules électrochimiques capables de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique, puis de la restituer partiellement par la suite grâce à la réversibilité des réactions mises en jeu. Ces réactions consistent en désoxydation et des réductions (oxydoréductions en abrégé, soit perte ou gain d'un ou plusieurs électrons) au niveau des électrodes, le courant circulant sous forme d'ions dans l'électrolyte et sous forme d'électrons dans le circuit raccordé à la batterie [19].

#### I.6.4.1 Les types de batteries

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement [28]:

- **Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH) :** sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.



Figure I.20 : Batterie Nickel Cadmium (Ni-Cd) [29].

- **Les batteries au lithium** : présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure.



Figure I.21 : Batterie au lithium [30].

- **Les batteries « gel »** : L'électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Dans certaines batteries, de l'acide phosphorique est additionnée afin d'améliorer la durée de vie en cyclage profond.



Figure I.22 : Batterie Gel [31].

- **Les batteries au plomb** : La batterie au plomb est un composant développé depuis le XIX' siècle et son fonctionnement est bien connu. Deux électrodes de plomb et d'oxyde de plomb sont plongées dans un électrolyte composé d'acide sulfurique dilué. En reliant les deux électrodes à un récepteur externe consommant du courant, elles se transforment en sulfate de plomb et l'acide se dilue, phénomène qui permet d'évaluer l'état de charge de la batterie en mesurant la densité d'acide. En fournissant un courant opposé au système, l'acide se concentre et les deux électrodes retournent à leurs états Initiaux [20].

Elles constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclable à plus de 90%. Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leur durée de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité. [21]

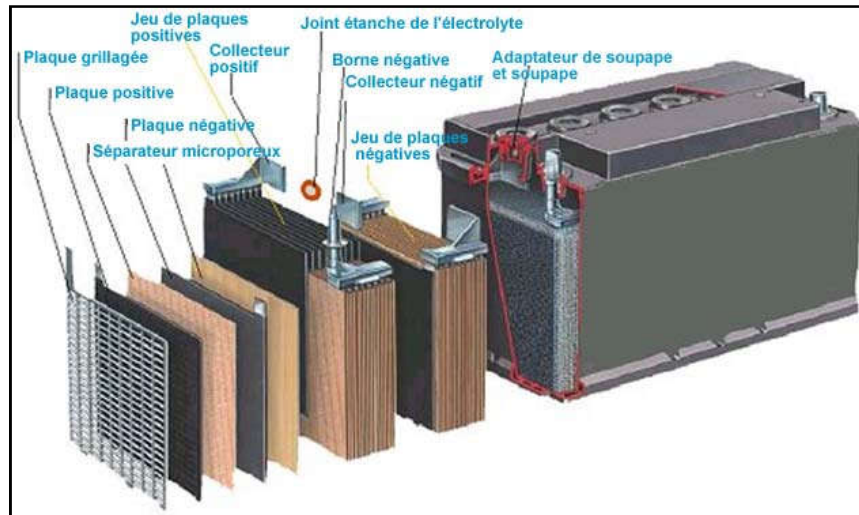
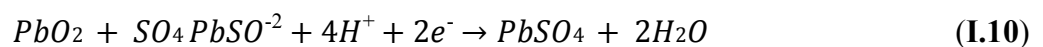


Figure I.23 : Éléments employés dans les batteries plomb acide [28].

#### I.6.4.2 Concept de base des batteries

Deux paramètres mesurent la performance d'une batterie ou d'une pile : la tension et la capacité. Très simplement, la tension est la force qui propulse chaque électron sortant d'une batterie et la capacité est le nombre d'électrons que peut fournir une batterie [28].

- **Tension :** Toutes les batteries fonctionnent selon la même gamme de réactions et emploient les mêmes matières actives. Par exemple, la réaction de décharge sur l'électrode positive pour un élément plomb acide est :



Qui présente un potentiel de 1,685 volts

La réaction sur l'électrode négative est la suivante :



Qui présente un potentiel de 0,356 volts.

Ainsi, la tension totale d'un élément de batterie plomb acide est de 2,04 volts. Cette valeur est appelée potentiel d'électrode standard [28].

- **Capacité :** Alors que la tension d'un élément est déterminée par la chimie qui régit celui-ci, la capacité en est variable, selon la quantité de matière active qu'elle

contient. Les éléments individuels peuvent présenter une capacité allant de fractions d'ampères heure à quelques milliers d'ampères heure.

La capacité d'une batterie est exprimée en *Ampères-heure* (Ah). La capacité d'un accumulateur permet de déterminer la durée pendant laquelle il pourra fonctionner pour un certain taux de décharge. Par exemple, un accumulateur de 90 Ah doit être rechargé après 9 h de décharge moyenne de 10 A [28].

Et il y a des autres paramètres comme suit : [22]

- **La durée de vie:** Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) de 7 à 10 ans.
- **Profondeur de décharge :** La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.
- **Le taux d'autodécharge :** L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.
- **Température :** Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.
- **Le rendement :** C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

### 1.6.5 Régulateur de charges

Le régulateur doit assurer des fonctions suivant :

- Protéger la batterie pour lui assurer une meilleure durée de vie, pour que l'application autonome le soit pendant longtemps, c'est donc l'objectif d'un régulateur de charge.
- Améliorer la durée de vie d'une batterie Plomb (les plus utilisées), c'est empêcher :
  - la surcharge : que la tension dépasse un certain seuil ;
  - la décharge profonde : que la batterie soit vidée de plus de 90 % de sa charge.

Son rôle est aussi de contrôler le transfert d'énergie entre le générateur photovoltaïque, la batterie et la charge [23].

## I.7 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

### I.7.1 Avantages

- Gratuit.
- Pas de pollution.
- Fiabilité élevée et longue durée de vie de l'installation.
- Sa structure fixe.
- Faible coût de maintenance.
- Sa flexibilité (taille selon les besoins, modularisation).
- L'installation ne produira aucun bruit.
- Le potentiel est illimité. 5% de la surface du désert est adoucie pour se nourrir La planète entière. [15]

### I.7.2 Inconvénients

- Coût d'installation élevé.
- L'efficacité de l'effet photovoltaïque est relativement faible.
- Lorsque le temps est défavorable (nuageux), la puissance diminue.
- L'énergie électrique doit être stockée sous forme chimique (batterie) Pour une installation indépendante.
- Même si l'électricité produite par les équipements photovoltaïques est sans pollution ; La fabrication, l'installation et l'élimination du panneau affecteront aux alentours. [15]

## I.8 Conclusion

nous avons présenté dans ce présent les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système PV tels que la cellule et module PV et leurs différents branchement, les différents types de systèmes PV comme le système autonome ,raccordés au réseau et hybride , puis nous nous sommes intéressés aux différentes technologies des éléments constitutifs d'un système PV, finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général.



chapitre II : Dimensionnement d'un  
système photovoltaïque



## II.1 Introduction

Il existe aujourd'hui plusieurs moyens de tirer profit des énergies renouvelables dans les habitations. Nous nous concentrons ici sur l'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter une installation photovoltaïque autonome. Pour ce faire, il est crucial de faire des calculs pour déterminer le matériel le plus adapté pour satisfaire les besoins en énergie de la charge avec un coût minimal. Cela s'appelle le dimensionnement [33].

Dans le deuxième chapitre nous nous intéresserons au dimensionnement et à la conception d'une installation photovoltaïque, à savoir les différents éléments constituant le générateur PV (panneaux solaires, batterie, régulateur, onduleur...). Et aussi nous présentons des différentes méthodes de dimensionnement d'un système PV en basant sur le système photovoltaïque autonome.

## II.2 Définition de dimensionnement

Dimensionner un système photovoltaïque signifie identifier les différents composants du système en fonction des facteurs tels que l'ensoleillement et la consommation d'énergie. Cela inclut la taille du générateur photovoltaïque, la capacité de stockage d'énergie, le besoin d'un convertisseur de puissance et même l'angle d'inclinaison des modules photovoltaïques et la tension requise pour l'utilisation [16].

Le dimensionnement joue un rôle important sur le coût, la qualité et la durabilité d'un système photovoltaïque isolé, ce qui en fait une étape clé lors de la mise en place du système. L'objectif de l'optimisation du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome est de déterminer les paramètres de dimensionnement pour minimiser les coûts tout en garantissant un approvisionnement continu pour le consommateur [34].

Une installation surdimensionnée veut dire des surcoûts, tandis qu'une installation sous dimensionnée veut dire manque de fiabilité.

## II.3 Localisation du site du projet donné

Comme toute étude, pour la conception d'un système photovoltaïque, il est primordial de disposer certaines données du site comme :

- L'ensoleillement ;
- L'irradiation ;
- L'inclinaison nécessaire pour avoir un rendement maximal avec les panneaux.

Le Centre Universitaire SALHI Ahmed de Naâma est un établissement d'enseignement supérieur situé dans la ville de Naâma, à 1200 m de la route national RN6.

Les coordonnées géographiques du lieu d'implantation sont :

- La latitude :  $33^{\circ}16'35''$  Nord ;
- La longitude :  $0^{\circ}19'6''$  Ouest ;
- L'altitude : 1174 m



Figure II.1 : Image satellite de la bibliothèque et la serre.

#### II.4 Critère de dimensionnement

Les deux critères importants du dimensionnement optimal sont :

- La condition relative au rendement énergétique du système peut être satisfaite en termes d'autonomie ou de déficit admissible. L'utilisateur peut déterminer dès le départ l'autonomie souhaitée du système ou le niveau de couverture requis pour la période la plus difficile.
- L'équilibre du couple générateur/stockage.

Ces deux critères cités précédemment ont le principal avantage de traduire ce que les utilisateurs pensent des systèmes photovoltaïques [35].

## II.5 Les méthodes de dimensionnement d'un système PV

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque :

### II.5.1 Méthode de probabilité d'erreur sur la charge (L.L.P)

Elle effectue des bilans énergétiques quotidiens sur une période étendue (plusieurs années). Ensuite, des modèles mathématiques sont appliqués aux différentes charges pour tenir compte des probabilités d'erreurs lors de l'analyse de cette charge. Cela assure la fiabilité des modules et des batteries. Le modèle mathématique le plus couramment utilisé est appelé LLP, défini comme suit [36] :

$$LLP = \frac{\int E_{Df}}{\int E_{Dm}} \quad (II.1)$$

Avec :

- $E_{Df}$  : Energie déficitaire ;
- $E_{Dm}$  : Energie demandée.

#### ➤ Domaines d'applications :

- Dans des grandes installations PV.
- Cette méthode a l'avantage d'être l'une des plus fiables des méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques, mais elle est trop compliquée. En effet, cette dernière fait intervenir le plus souvent les réseaux de neurone.

### II.5.2 Méthode de la moyenne annuelle

Elle est similaire à celle du mois le plus défavorable. Elle utilise également l'irradiation journalière (kWh/m<sup>2</sup>/j), mais sur une période d'un an au lieu d'un seul mois. Par conséquent, la moyenne annuelle de l'énergie récupérable sur un site est calculée sur 12 mois [36].

#### ➤ Domaine d'application

- Elle est utilisable sur tous les systèmes, plus précisément les systèmes ayant un profil de charge assez élevé.
- C'est la méthode la plus appliquée au système photovoltaïque hybride.

### II.5.3 Méthode LPSP (Loss of Power Supply Probability)

La Probabilité de Perte d'énergie (Loss of Power Supply Probability) est une méthode statistique mise en place par Abou Zahr et Ramakumar pour la conception et l'optimisation des systèmes photovoltaïques autonomes. Elle mesure la probabilité d'un système de

génération d'énergie de ne pas pouvoir satisfaire la demande énergétique durant une période donnée. Basée sur le concept de LPSP, elle est largement utilisée dans ce domaine. En termes simples, la méthode LPSP mesure le taux d'insatisfaction de la charge en comparant l'énergie manquante à celle requise par la charge. Elle est déterminée à partir des informations sur la variation de la source d'énergie renouvelable et son lien avec la charge, et peut être exprimée en termes de niveau de charge des batteries par [38]:

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1)(1-\sigma) + \left[ \frac{EL(t)}{\eta_{ond}} - E_s(t) \right] \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $E_{bat}(t)$  : Energie stockée dans la batterie à une heure ;
- $E_{bat}(t-1)$  : Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente ;
- $\sigma$  : Taux horaire d'autodécharge ;
- $E_s(t)$  : Energie produite par la source (Wh) ;
- $EL(t)$  : Energie demandée par la charge à une date t (Wh) ;
- $\eta_{ond}$  : Rendement de l'onduleur.

#### II.5.4 Méthode des heures équivalentes

Elle estime que la puissance produite par un module photovoltaïque est proportionnelle à l'ensoleillement. Les calculs sont effectués pour le mois où les conditions sont les plus défavorables de l'année. Cela permet de déterminer la quantité de courant produite par le champ photovoltaïque dans les conditions où la température est donnée par la relation [38]:

$$T_j = T_u + 25 \quad (\text{II.3})$$

Avec :

- $T_u$  : Température diurne.

L'énergie fournie par un module photovoltaïque ou une série de modules suivant la tension du système est donnée par l'expression suivante :

$$E = IV \left( \frac{G}{B} \right) \mu \times S \quad (\text{II.4})$$

Avec :

- $G$ : Energie incidente reçue sur le plan des modules ;
- $V$  : Tension du générateur PV ;

- $B$  : Eclairement de référence ;
- $\mu$  : Coefficient d'intégration ;
- $S$  : Coefficient de sécurité.

### II.5.5 Méthode itérative

Ou bien la méthode Ampère-heure qui consiste à déterminer combien de panneaux photovoltaïques nécessaires pour satisfaire les besoins en énergie, puis à progressivement réduire ce nombre tout en calculant la proportion des besoins annuels couverts par le générateur complémentaire. Habituellement, ce générateur est un moteur diesel, mais la méthode peut être adaptée pour utiliser une éolienne qui a un impact moindre sur l'environnement [38].

#### II.5.5.1 Estimation de la production d'énergie

L'estimation de la production d'énergie nécessaire pour satisfaire la demande se fait en calculant l'énergie quotidienne moyenne requise pour produire  $E_p$ . Cette énergie est déduite de la demande mensuelle. Elle peut être exprimée en Wh ou en Ah sous 48 V et correspond à l'énergie consommée par la charge  $E_c$  corrigée par un coefficient  $k$  pour garantir les besoins de l'habitat :

$$E_p = \frac{E_c}{K} \quad (\text{II.5})$$

Le coefficient  $k$  tient compte des facteurs suivants :

- Le rendement du convertisseur ;
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie ;
- Les pertes dans les câbles et connexions.

#### II.5.5.2 Détermination de la capacité de stockage des batteries

La capacité des batteries est donnée par la formule suivante:

$$C = \frac{E_p \times N}{U \times DOD \times ft} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

- $U$  : Tension du système ;
- $C$  : Capacité nominale de la batterie en Ampère-heure ;
- $E_p$  : Energie à produire par jour ;
- $N$  : Nombre de jours d'autonomie ;

- $DOD$  : Profondeur de décharge maximale admissible par les batteries (70% pour les batteries au plomb) ;
- $ft$  : Facteur de réduction de température.

$$ft = \frac{C}{C_0} = 0.01035 \times T + 0.724 \quad (\text{II.7})$$

Avec :

- $C$  : Capacité de la batterie ;
- $T$  : Température (en °C) ;
- $C_0$  : Capacité de la batterie évaluée à 27°C.

### II.5.5.3 Puissance crête du générateur photovoltaïque

$$P_c = \frac{E_p}{\eta_{pc} \times T_{sun}} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

- $E_p$  : Énergie produite par jour ;
- $T_{sun}$  : Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour) ;
- $\eta_{pc}$  : Facteur de dégradation.

### II.5.5.4 Nombre de panneaux photovoltaïques

$$N_m = \frac{P_c}{P_u} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

- $P_c$  : Puissance crête du générateur photovoltaïque ;
- $P_u$  : Puissance crête unitaire.

### II.5.6 Méthode utilisabilité solaire

La méthode d'utilisabilité solaire est un puissant outil pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. L'utilisation de l'irradiation solaire est déterminée en mesurant une partie du total d'incidents de rayonnement sur la surface d'un système photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques dépassent un niveau spécifique défini comme le niveau critique.

Pour calculer l'utilisabilité solaire, il faut d'abord définir quelques paramètres [38]:

### II.5.6.1 Rendement moyen

Le rendement moyen du module PV  $\eta_p$  est fonction de la température moyenne du module  $T_c$  :

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (\text{II.10})$$

Avec :

- $\eta_r$  : Rendement du module à la température de référence  $T_r$  (25°C) ;
- $\beta_p$  : Coefficient de température pour le rendement du module ;
- $T_c$  : Est reliée à la température ambiante du mois  $T_a$  par la formule d'Evans :

$$T_c - T_a = (219 + 832 \times K_t) \frac{NOCT-20}{800} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

- $NOCT$  (Nominal Operating Cell Temperature) : Température nominale des cellules en opération ;
- $K_t$  : Indice de clarté mensuelle.

### II.5.6.2 Énergie électrique produite par les panneaux PV

L'énergie produite par les panneaux PV en une heure  $t$  de la journée est donnée par la relation suivante :

$$E_p(t) = S \times \eta_p \times I_t \quad (\text{II.12})$$

Avec :

- $S$  : Surface de ces panneaux ;
- $\eta_p$  : Rendement moyen des cellules PV ;
- $I_t$  : Irradiation horaire incidente sur la surface inclinée des panneaux.

Cette énergie doit être réduite par les pertes diverses du champ PV  $\lambda_p$  et les autres pertes du conditionnement de l'énergie  $\lambda_c$ .

$$E_a(t) = E_p(t)(1 - \lambda_p)(1 - \lambda_c) \quad (\text{II.13})$$

Avec :

- $E_a(t)$  : Énergie disponible pour la charge électrique et l'accumulateur durant l'heure  $t$ .

### II.5.7 Méthode du mois le plus défavorable

Notre travail se base sur cette dernière qui est une méthode simple et sûre. L'irradiation est un élément clé dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

Pour cette méthode, on évalue les besoins énergétiques pendant le mois le moins ensoleillé de l'année, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois est celui où la valeur moyenne mensuelle de l'irradiation est la plus faible de l'année, comme le mois d'hiver dans certains pays. Par exemple, en Algérie, le mois de décembre est souvent choisi.

Cette période est généralement choisie en fonction du climat et de l'utilisation de l'installation. Il est important de déterminer le nombre maximum de jours d'autonomie pour que la batterie puisse garantir le bon fonctionnement du système pendant les jours sans ensoleillement. Si le bilan énergétique assure le fonctionnement du système pendant cette période, on peut alors être sûr de son bon fonctionnement tout au long de l'année [36].

➤ **Domaines d'applications :**

- L'installation militaire.
- Les installations de télécommunication.
- Les centres de soins des zones rurales.
- Cette méthode est utilisée généralement pour les systèmes autonomes.

## II.6 Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque

En général les installations photovoltaïques comprennent quatre éléments essentiels :

- Un générateur photovoltaïque ;
- Un système de régulation ;
- Une ou plusieurs batteries ;
- Un onduleur ;
- Les câbles.

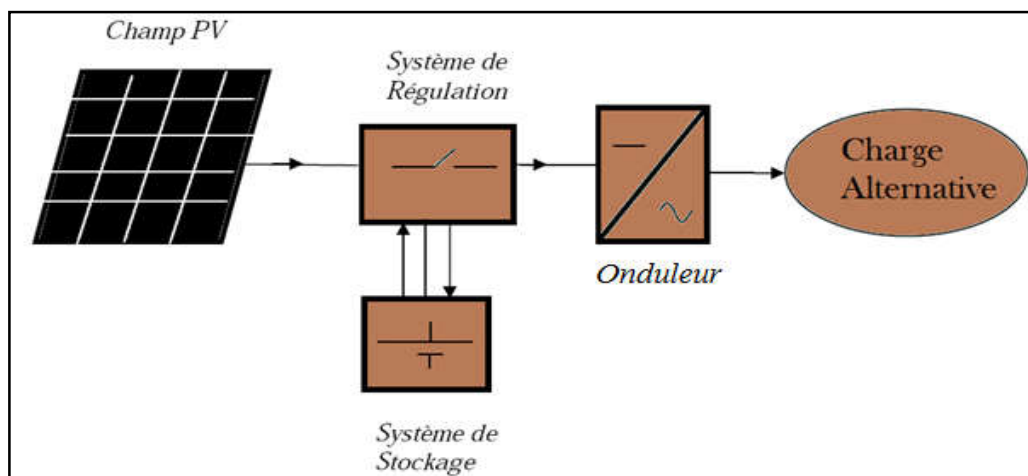


Figure II.2 : Schéma des composants d'une installation photovoltaïque [33].

## II.7 Les étapes du dimensionnement

Les étapes suivantes permettent de dimensionner un système photovoltaïque [35] [39]:

- Détermination des besoins de l'utilisateur (puissances, énergie moyenne par jour) ;
- Estimation de l'irradiation journalière ;
- Choix d'une inclinaison optimale en fonction du gisement local ;
- Détermination de la puissance du générateur solaire (type, nombre de panneaux PV, puissance en  $Wc$ ) ;
- Choix de la tension de fonctionnement ;
- Dimensionnement des batteries de stockage (capacité des batteries en Ah) ;
- Choix d'un régulateur (Dimensionnement du régulateur de charge/décharge) ;
- Dimensionnement de l'onduleur ;
- Dimensionnement des câbles ;
- Estimation de coût du système.

## II.8 Etude technique

### II.8.1 Détermination des besoins de l'utilisateur

Il s'agit de calculer la consommation estimée des appareils connus. Le but est de déterminer la consommation totale moyenne par jour. La consommation d'énergie totale moyenne nécessaire par jour  $Ecj$  est la somme des besoins en énergie des différents équipements composant le système examiné, tels que les télévisions, les lampes, les appareils électroniques, etc. Elle est donnée par l'équation suivante :

$$Ecj = \sum Ei \quad (II.14)$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés tous les jours et pour ceux qui consomment beaucoup d'énergie, commencez par déterminer la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation énergétique de chaque équipement peut être calculée comme suit :

$$Ei = Pi \times Ti \times Ni \quad (II.15)$$

Avec :

- $Pi$  : Puissance journalière d'un équipement ;
- $Ti$  : Temps de fonctionnement ;
- $Ni$  : Nombre des équipements.

## II.8.2 Evaluation du Gisement solaire local

Le gisement solaire est défini par deux concepts clairement définis :

### II.8.2.1 Eclairement solaire

L'éclairement solaire désigne la quantité totale de lumière visible reçue par une surface donnée au cours d'une certaine période de temps, généralement exprimée en watt par mètre carré, en lux ou en foot-candles. Il est mesuré à la surface terrestre en utilisant un luxmètre ou un photomètre.

L'éclairement solaire dépend de la quantité de rayonnement solaire incident sur une surface, ainsi que de la qualité de la lumière, de l'ombre, de la réflexion, de la diffusion et de l'absorption. Il joue un rôle important dans l'agriculture, l'architecture, l'industrie et la santé. [41].

### II.8.2.2 Irradiation solaire

L'irradiation solaire est la quantité d'énergie solaire qui est reçue par unité de surface à un moment donné. Elle mesure la puissance de la lumière et de la chaleur du soleil qui arrive sur la Terre. Elle est généralement exprimée en watt- heures par mètre carré ou en joules par mètre carré. L'irradiation solaire est un facteur important pour les activités liées à l'utilisation de l'énergie solaire, telles que la production d'électricité à partir de panneaux solaires [38].

Les données d'ensoleillement peuvent être récupérées sur le site, enregistrées sur la carte d'ensoleillement de la région ou obtenues à la station météorologique la plus proche de la zone [40].

## II.8.3 Angle d'inclinaison des modules PV

L'angle d'inclinaison des modules photovoltaïques désigne l'angle formé entre la surface plane des modules photovoltaïques et la direction de la lumière incidente. Cet angle a une grande influence sur la production d'énergie photovoltaïque, car plus les modules sont inclinés à un angle approprié par rapport à la direction de la lumière, plus la quantité de rayonnement solaire incident est importante et plus la production d'énergie photovoltaïque est élevée. L'angle d'inclinaison dépend de la latitude, de la saison et de la région géographique, et il est souvent optimisé pour maximiser la production d'énergie. Par exemple, dans les régions du nord, l'angle d'inclinaison est souvent fixé à une valeur supérieure à la latitude, tandis qu'à l'équateur, il est souvent fixé à la latitude.

L'inclinaison  $\alpha$  des panneaux est donnée par la relation suivante [36]:

$$\alpha = \varphi - \sin^{-1} \left[ 0.4 \times \sin \left( 360 \times \frac{N}{365} \right) \right] \quad (\text{II.16})$$

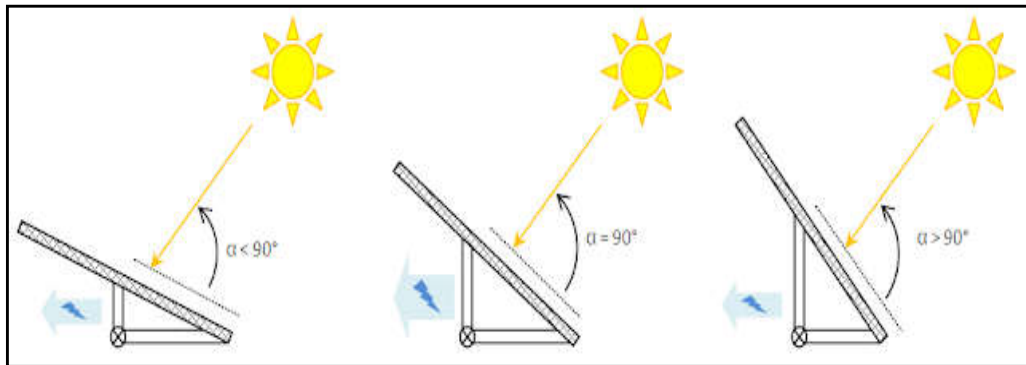
Avec :

- $\varphi$  : latitude de lieu ;
- $N$  : Le nombre de jours entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré, (de signe négatif vers la saison froide).

Un autre type de choix de l'inclinaison est d'utiliser le tableau (II.1) ci- dessous, qui indique la relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaire [35] :

**Tableau II.2** : Choix de l'inclinaison [35].

latitude $\varphi$	Inclinaison $\alpha$
$\varphi < 10^\circ$	$\alpha = 10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\alpha = \varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 15^\circ$



**Figure II.3** : Les inclinaisons des modules PV [38].

#### II.8.4 Puissance crête totale du champ PV

La puissance de crête totale du champ photovoltaïque est déterminée par l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation, et elle est donnée par [37]:

$$P_c = \frac{Ec_j}{K \times Ir} \times 1000 \text{ W/m}^2 \quad (\text{II.17})$$

Avec :

- $Ir$  : Irradiation moyenne mensuelle reçue par le capteur photovoltaïque correspondant au moins le plus défavorable ( $\text{KWh/m}^2/\text{j}$ ) ;
- $P_c$  : Puissance crête du champ photovoltaïque ;
- $Ec_j$ : Energie consommée ;

- $K$  : Coefficient correcteur tient compte des facteurs suivant :
  - ❖ L'incertitude météorologique ;
  - ❖ L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison ;
  - ❖ Le vieillissement poussière des modules ;
  - ❖ Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (80 à 90%) ;
  - ❖ Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%) ;
  - ❖ Les pertes dans les câbles et connexions.

En générale sa valeur théorique est comprise entre (0.55 et 0.75). Mais en pratique la valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est  $k=0.65$ .

### II.8.5 Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ PV en watt. En général [37]:

- Moins de 500 watts crête : elle est de 12V ;
- De 501 à 2000 watts crêtes: elle est de 24V ;
- De 2001 à 10000 watts crêtes : elle est de 48V ;
- Plus de 10000 watts crête : elle est supérieure à 48V.

### II.8.6 Détermination du nombre de modules

Le nombre de modules photovoltaïques est calculé à l'aide de l'équation ci-dessous qui prend en compte les caractéristiques du module ainsi que la puissance crête du générateur [38] :

$$N_m = \frac{P_c}{P_u} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

- $P_c$  : Puissance crête de l'installation ;
- $P_u$  : Puissance crête unitaire.

#### II.8.6.1 Nombre de modules connectés en série

$$N_s = \frac{V_{pv}}{V_u} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

- $V_{pv}$  : Tension du générateur PV ;
- $V_u$  : Tension nominale unitaire.

### II.8.6.2 Nombre de modules connectés en parallèle

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

- $N_m$  : Nombre du module total ;
- $N_p$  : Nombre module connecté en parallèle.

### II.8.7 Dimensionnement des batteries de stockage

La première étape pour dimensionner les batteries consiste à déterminer la durée d'autonomie souhaitée, c'est-à-dire la période pendant laquelle l'utilisateur pourra être alimenté sans recharge. Cette durée est liée à la probabilité de trouver une série de plus de mauvais jours d'affilée dans la météo. Cependant, cette probabilité n'est jamais nulle, il est donc nécessaire de déterminer un seuil de probabilité (risque) pour s'assurer que l'utilisateur sera satisfait.

Dans les pays tempérés, une autonomie de 4 à 6 jours est suffisante pour une utilisation normale avec un risque minimal de pénurie d'environ 3 jours par an. Toutefois, si vous possédez une génératrice supplémentaire, cela peut réduire ce risque. Dans les régions tropicales avec un climat stable et des quantités importantes de lumière solaire même par temps pluvieux, l'autonomie peut être réduite à seulement 2 ou 3 jours [39].

#### II.8.7.1 Capacité nominale de système

$$C = \frac{E_{cj} \times N}{DOD \times V_{pv}} \quad (\text{II.21})$$

Avec :

- $C$  : La capacité nominale de l'installation en [Ah] ;
- $E_{cj}$  : Energie consommée en [Wh] ;
- $N$  : Nombre de jours d'autonomie ;
- $DOD$  : Profondeur de décharge en maximale ;
- $V_{pv}$  : Tension du générateur PV.

#### II.8.7.2 Nombre des batteries en série

$$N_{bs} = \frac{V_{pv}}{V_{bn}} \quad (\text{II.22})$$

Avec :

- $N_{bs}$  : Nombre des batteries en série ;
- $V_{pv}$  : Tension du générateur PV ;
- $V_{bn}$  : Tension nominale d'une seule batterie.

### II.8.7.3 Nombre des batteries en parallèle

$$N_{bp} = \frac{C}{C_{bn}} \quad (\text{II.23})$$

Avec :

- $N_{bp}$  : Nombre des batteries en parallèle ;
- $C$  : Capacité nominale de l'installation en [Ah] ;
- $C_{bn}$  : Capacité nominale d'une seule batterie en [Ah].

### II.8.7.4 Nombre des batteries totales

$$N_{b_{total}} = N_{bs} \times N_{bp} \quad (\text{II.24})$$

## II.8.8 Dimensionnement du régulateur

Le régulateur de charge est un dispositif qui contrôle le taux de charge des batteries dans une installation photovoltaïque. Il permet de maintenir la tension et le courant produits par les panneaux solaires à un niveau optimal pour assurer une charge efficace des batteries et empêcher leur surcharge ou leur décharge excessive. Le régulateur de charge garantit également la stabilité de la tension de sortie pour alimenter les appareils électroniques. En somme, le régulateur de charge joue un rôle crucial dans la performance et la durabilité des systèmes solaires [33].

Le régulateur de charge est choisi en fonction des paramètres suivant :

- Tension maximale ;
- Courant maximale ;
- Puissance nominale.

### II.8.8.1 Tension maximale

La tension maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$V_{Rég} = 1.25 \times V_{CO} \times N_s \quad (\text{II.25})$$

Avec :

- $V_{CO}$ : La tension de circuit ouvert ;
- $N_s$  : Nombre des modules connectés en série ;
- le coefficient de sécurité = 1,25

### II.8.8.2 Courant maximale

Courant maximale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$I_{Réf} = 1.25 \times I_{CC} \times N_p \quad (\text{II.26})$$

Avec :

- $I_{CC}$  : Courant de court-circuit ;
- $N_p$  : Nombre des modules connectés en parallèle ;
- le coefficient de sécurité = 1,25

### II.8.8.3 Puissance nominale

La puissance nominale du régulateur est déterminée par la relation suivant :

$$P_{Rég} = N_m \times P_u \quad (\text{II.27})$$

Avec :

- $N_m$  : Nombre de modules à installer ;
- $P_u$  : Puissance crête unitaire.

## II.8.9 Dimensionnement de l'onduleur

Le choix de l'onduleur est un élément important dans les installations photovoltaïques car il assure la conversion de la tension continue produite par les panneaux solaires en une tension alternée utilisable pour alimenter les appareils électriques. Le choix dépendra de plusieurs facteurs, tels que la taille de l'installation, les exigences en matière de qualité de l'énergie, la flexibilité de la configuration et les coûts. Il est important de choisir un onduleur de qualité supérieure pour garantir une fiabilité et une efficacité optimales de l'installation photovoltaïque [42].

Le choix de l'onduleur est basé essentiellement sur la somme des puissances maximales de chaque équipement fonctionnant en alternatif (AC) et se fait selon les critères suivant :

- Tension maximale ;
- Courant maximale ;
- Puissance nominale.

Avant tout, il est nécessaire de déterminer le nombre maximal et minimal de modules, en série et en parallèle :

- ❖ le nombre minimal de modules en série :

$$N_{Smin} = E + \frac{U_{MPPTmin}}{0.85 \times U_{MPP}} \quad (\text{II.28})$$

- ❖ le nombre maximal de modules en série :

$$N_{Smax} = E - \frac{U_{MPPTmax}}{1.25 \times U_{MPP}} \quad (\text{II.29})$$

- ❖ le nombre maximal de modules en parallèle :

$$N_{Pmax} = E - \frac{I_{max}}{1.25 \times I_{CC}} \quad (\text{II.30})$$

Avec :

- $U_{MPP}$  : Tension à puissance max du module ;
- $[U_{MPPTmin} - U_{MPPTmax}]$  : Plage de tension *MPPT* ;
- $I_{max}$  : Courant d'entrée maximale.

### II.8.9.1 Tension maximale

La tension maximale de l'onduleur est déterminée par la relation suivant :

$$V_{Ond} = 1.25 \times V_{CO} \times N_{Smax} \quad (\text{II.31})$$

Avec :

- $V_{CO}$  : La tension de circuit ouvert ;
- $N_{Smax}$  : Nombre maximal de modules en série ;
- le coefficient de sécurité = 1,25

### II.8.9.2 Courant maximal

Le courant maximal de l'onduleur est déterminé par la relation suivant :

$$I_{Ond} = 1.25 \times I_{CC} \times N_{Pmax} \quad (\text{II.32})$$

Avec :

- $I_{CC}$  : Courant de court-circuit ;
- $N_{Pmax}$  : Nombre maximal de modules en parallèle ;
- le coefficient de sécurité = 1,25

### II.8.9.3 Puissance nominale

La puissance nominale de l'onduleur est déterminée par la relation suivant :

$$P_{Ond} = N_m \times P_u \quad (\text{II.27})$$

Avec :

- $N_m$  : Nombre du module total ;
- $P_u$  : Puissance crête unitaire.

### II.8.10 Dimensionnement des câbles

En général, les systèmes solaires opèrent à une tension faible, telle que 12V, 24V ou 48V, ce qui implique un courant élevé (calculé par la formule  $P = U * I$ ). Comme U est bas, I doit être très élevé pour maintenir une puissance constante.

Donc Le dimensionnement des câbles dans les installations photovoltaïques est donc crucial pour garantir une performance optimale. La section du câble doit être suffisante pour transporter ce courant de plusieurs ampères sans causer de pertes significatives par effet Joule. Il est également important de tenir compte de la longueur du câble pour éviter les pertes de tension importantes sur le chemin entre les modules photovoltaïques et le régulateur de charge. Enfin, le choix d'un câble avec une résistivité appropriée pour le matériau utilisé, en fonction des conditions d'utilisation (température, environnement, etc.), est crucial. Le cuivre est généralement le matériau le plus couramment utilisé pour les câbles photovoltaïques en raison de sa faible résistivité et de sa bonne conductivité électrique [34].

#### II.8.10.1 Section des câbles coté DC

❖ Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement :

$$I = 1.25 \times I_{CC} \quad (\text{II.28})$$

$$R = \frac{\Delta V \times V}{I} \quad (\text{II.29})$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V} \quad (\text{II.30})$$

Avec :

- $I$  : Intensité de courant ;
- $I_{CC}$  : Courant de court-circuit ;
- $\Delta V$  : Chute de tension ;
- $\rho$  : Résistivité linéaire du conducteur ;
- $S$  : Section du câble ;

- $L$  : Longueur du câble.
- ❖ Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC :

$$I = I_{MPP} \times N_m \quad (\text{II.31})$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V} \quad (\text{II.32})$$

Avec :

- $U_{MPP}$  : Tension à puissance max du module ;
- $N_m$  : Nombre du module total.
- ❖ Section des câbles entre le DC/DC et les batteries :

$$V_{bat} = N_{bs} \times V_{bn} \quad (\text{II.33})$$

$$1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{pv}} \quad (\text{II.34})$$

$$I_{bat} = \frac{I}{1 - \alpha} \quad (\text{II.35})$$

$$S = \frac{\rho \times L \times I_{bat}}{\Delta V \times V} \quad (\text{II.36})$$

Avec :

- $V_{bat}$  : Tension nominale des batteries ;
- $V_{bn}$  : Tension nominale d'une seule batterie ;
- $V_{pv}$  : Tension du générateur PV ;
- $I_{bat}$  : Courant des batteries ;
- $N_{bs}$  : Nombre des batteries en série ;
- $\alpha$  : Rapport cyclique.

### II.8.10.2 Section des câbles coté AC

Section des câbles entre l'onduleur et la charge :

$$I_{ch} = \frac{P_{ch}}{3 \times V} \quad (\text{II.37})$$

$$S = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \theta \times I_{ch}}{\varepsilon} \quad (\text{II.38})$$

Avec :

- $\beta$  : Coefficient qui vaut 1 en triphasé 2 en monophasé ;
- $\rho_{cu}$  : La résistivité du matériau conducteur (cuivre) ;
- $\cos \theta$ : Facteur de puissance (le déphasage entre la tension et le courant en alternatif)
- $I_{ch}$  : Courant maximale d'emploi.

## II.9 Protection d'un système photovoltaïque

Pour garantir une sécurité optimale de chaque élément du système, il est impératif d'installer des dispositifs de protection adaptés à leur nature et mode de fonctionnement. Il est également important de veiller à ce que les câbles de raccordement répondent aux exigences en termes de section et de construction pour une utilisation efficace. Pour ce faire, nous devons assurer que chaque élément soit doté de la protection appropriée [43]:

### II.9.1 Les panneaux solaires

La protection des panneaux solaires dans les installations photovoltaïques est cruciale pour garantir leur fonctionnement optimal et leur durabilité. Il existe plusieurs moyens de protéger les panneaux solaires, notamment :

#### ❖ Mise à la terre :

L'objectif de la mise à la terre est de minimiser les tensions de contact ou de décharge afin de prévenir les blessures ou les dommages causés à des personnes ou à des installations. Les systèmes photovoltaïques délivrant plus de 2 A sont considérés comme des installations à courant fort et doivent donc être connectés à la terre pour assurer leur protection

#### ❖ Protection contre la foudre

Il est crucial de disposer de protections contre la foudre pour assurer une source d'électricité fiable. Comme le nombre de défaillances augmente avec l'altitude, il est vivement conseillé de prendre en compte des protections supplémentaires en plus de celles déjà intégrées aux régulateurs. Pour établir une protection efficace contre la foudre, trois principes doivent être suivis :

- Conduire le courant de foudre vers la terre par le chemin le plus direct ;
- Minimiser les surfaces des boucles de masse ;
- Limiter l'onde de surtension par des parafoudres.

### II.9.2 Les batteries

Il est important de protéger les batteries contre les surcharges ou les court-circuits des deux côtés, c'est-à-dire du côté des batteries-régulateur et du côté des batteries-onduleur, en utilisant des disjoncteurs DC ou des fusibles.

### II.9.3 Le régulateur de charge

Il dispose déjà d'une protection intérieure grâce aux deux éléments qui sont connectés à lui (les panneaux et les batteries), qui sont eux-mêmes équipés de leur propre protection indiquée.

### II.9.4 L'onduleur

En général, les onduleurs solaires sont conçus pour être protégés contre les surcharges, les courts-circuits et autres défauts. Cependant, il est essentiel de placer un disjoncteur différentiel à la sortie de l'onduleur pour prévenir les défauts de la charge, tels que les surcharges ou les courts-circuits. Il ne faut pas oublier d'établir une mise à la terre adéquate pour tout le système, afin d'assurer une protection optimale

## II.10 Etude économique

L'étude économique des solutions photovoltaïques gagne en importance car cette technologie a considérablement progressé et peut désormais rivaliser avec les solutions traditionnelles dans les zones rurales et isolées. Cette étude économique joue un rôle important dans la prise de décision pour les investissements. Elle permet de déterminer la rentabilité de l'électricité photovoltaïque pour la communauté, de comparer les prévisions et les résultats réels des projets et programmes, et d'encourager les décideurs et les futurs utilisateurs. Cela assure une prise de décision éclairée.

### II.10.1 Evaluation du coût d'investissement initial

Pour déterminer le coût de l'installation, il est nécessaire de totaliser les prix des équipements et accessoires utilisés, une fois le système en place. Il est également important de tenir compte du nombre d'unités, de batteries et d'appareils utilisés pour la préparation de l'installation [35].

#### ❖ Le coût d'investissement des modules

Le coût total des modules est donné par :

$$C_{mod} = N_m \times \text{Coût de module} \quad (\text{II.39})$$

Avec :

- $N_m$  : Nombre du module total.

#### ❖ Le coût d'investissement des onduleurs

Le coût total des onduleurs est donné par :

$$C_{ond} = N_{ond} \times \text{Coût d'onduleur} \quad (\text{II.40})$$

Avec :

- $N_{ond}$  : Nombre d'onduleur total.

#### ❖ Le coût d'investissement des batteries

Le coût total des onduleurs est donné par :

$$C_{bat} = Nb_{total} \times \text{Coût de batterie} \quad (\text{II.41})$$

Avec :

- $Nb_{total}$  : Nombre des batteries totales

#### ❖ Le coût d'investissement des régulateurs

Le coût total des régulateurs est donné par :

$$C_{Rég} = N_{Rég} \times \text{Coût de régulateur} \quad (\text{II.42})$$

Avec :

- $N_{Rég}$  : Nombre des régulateurs

#### ❖ Le coût total de la centrale

Le coût global de la centrale PV, est la somme de tous les coûts fixes mentionnés précédemment :

$$C_{total} = C_{mod} + C_{ond} + C_{bat} + C_{Rég} + C_{câble} + C_{acc} + C_{main} \quad (\text{II.43})$$

Avec :

- $C_{câble}$  : Coût d'investissement des câbles ;
- $C_{acc}$  : Coût d'investissement des accessoires ;
- $C_{main}$  : Coût d'investissement des mains d'œuvres.

### II.10.2 Estimation de l'amortissement total

Pour évaluer les coûts d'un système photovoltaïque par rapport à d'autres options et déterminer la solution la plus économique, il est important de prendre en compte tous les coûts liés à sa viabilité à long terme.

Cela implique de calculer les coûts en valeur actualisée sur la durée de vie du système. L'actualisation des coûts consiste à les convertir en une valeur actuelle commune pour une comparaison plus juste [44].

❖ **Le coût de l'amortissement des modules**

$$A_{mod} = \frac{C_{mod}}{N_1} \quad (\text{II.44})$$

❖ **Le coût de l'amortissement des onduleurs**

$$A_{ond} = \frac{C_{ond}}{N_2} \quad (\text{II.45})$$

❖ **Le coût de l'amortissement des batteries**

$$A_{bat} = \frac{C_{bat}}{N_3} \quad (\text{II.46})$$

❖ **Le coût de l'amortissement des régulateurs**

$$A_{Rég} = \frac{C_{Rég}}{N_4} \quad (\text{II.47})$$

❖ **Le coût de l'amortissement des câbles**

$$A_{câble} = \frac{C_{câble}}{N_5} \quad (\text{II.48})$$

❖ **Le coût de l'amortissement des accessoires**

$$A_{acc} = \frac{C_{acc}}{N_6} \quad (\text{II.49})$$

Nous remarquons que l'amortissement de chaque composant set la forme :

$$A = \frac{C}{N} \quad (\text{II.50})$$

Avec :

- $C$  : Le coût de l'investissement initial de chaque composant ;
- $N$  : Durée de vie active du chaque composant.

❖ **L'amortissement annuel total du système**

$$A_{total} = A_{mod} + A_{ond} + A_{bat} + A_{Rég} + A_{câble} + A_{acc} \quad (\text{II.51})$$

Avec :

- $A_{total}$  : Le coût de l'amortissement annuel total de l'installation ;
- $A_{mod}$  : Le coût de l'amortissement des modules ;
- $A_{ond}$  : Le coût de l'amortissement des onduleurs ;
- $A_{bat}$  : Le coût de l'amortissement des batteries ;
- $A_{Rég}$  : Le coût de l'amortissement des régulateurs ;
- $A_{câble}$  : Le coût de l'amortissement des câbles
- $A_{acc}$  : Le coût de l'amortissement des accessoires

### II.10.3 Estimation de l'entretien et de la maintenance annuel total

Il est très difficile de prévoir le coût d'entretien sur une période donnée. Pour estimer un coût annuel moyen, la meilleure approche est de se baser sur l'expérience pratique, même si elle est théorique. Cela permettra d'obtenir une estimation réaliste de l'ordre de grandeur [35].

#### ❖ Le coût l'entretien des modules

$$E_{mod} = C_{mod} \times R_{t1} \quad (II.52)$$

#### ❖ Le coût l'entretien des onduleurs

$$E_{ond} = C_{ond} \times R_{t2} \quad (II.53)$$

#### ❖ Le coût l'entretien des batteries

$$E_{bat} = C_{bat} \times R_{t3} \quad (II.54)$$

#### ❖ Le coût l'entretien des régulateurs

$$E_{Rég} = C_{Rég} \times R_{t4} \quad (II.55)$$

#### ❖ Le coût de l'entretien des câbles

$$E_{câble} = C_{câble} \times R_{t5} \quad (II.56)$$

#### ❖ Le coût de l'entretien des accessoires

$$E_{acc} = C_{acc} \times R_{t6} \quad (II.57)$$

Nous remarquons que l'entretien de chaque composant set la forme :

$$E = C \times R \quad (\text{II.58})$$

Avec :

- $C$  : Le coût de l'investissement initial de chaque composant ;
- $R$  : Le coefficient d'estimation du coût de l'entretien par rapport à l'investissement initial de chaque composant.

#### ❖ Le coût d'entretien total annuel du système

$$E_{total} = E_{mod} + E_{ond} + E_{bat} + E_{Rég} + E_{câble} + E_{acc} \quad (\text{II.59})$$

Avec :

- $E_{total}$  : Le coût de l'entretien annuel total de l'installation ;
- $E_{mod}$  : Le coût de l'entretien des modules ;
- $E_{ond}$  : Le coût de l'entretien des onduleurs ;
- $E_{bat}$  : Le coût de l'entretien des batteries ;
- $E_{Rég}$  : Le coût de l'entretien des régulateurs
- $E_{câble}$  : Le coût de l'entretien des câbles ;
- $E_{acc}$  : Le coût de l'entretien des accessoires.

#### II.10.4 Estimation des coûts sur la durée de vie

Nous adoptons la méthode de calcul des coûts sur la durée de vie (life cycle cost). Le coût global annuel de la valeur actualisée est calculé par l'expression suivante :

$$C_{GA} = A_{total} + E_{total} \quad (\text{II.60})$$

Avec :

- $C_{GA}$  : Le coût global annuel ;
- $A_{total}$  : Le coût de l'amortissement annuel total de l'installation ;
- $E_{total}$  : Le coût de l'entretien annuel total de l'installation.

**II.11 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons cité les différentes méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque. Ainsi le dimensionnement de chaque élément d'une installation photovoltaïque. Puis nous avons présenté la méthodologie de l'étude technique et économique de chaque élément de l'installation photovoltaïque, et le calcul des coûts de maintenance et l'investissement de toute l'installation.

Dans le chapitre suivant on va faire l'étude et le dimensionnement d'un système photovoltaïque.



chapitre II : Application : la bibliothèque  
et la serre du centre universitaire SALHI  
Ahmed – Naâma



### **III.1 Introduction**

De nos jours, il existe diverses méthodes pour exploiter les énergies renouvelables. Dans ce contexte, nous nous concentrons particulièrement sur l'utilisation de l'énergie solaire, qui est une source d'énergie inépuisable. Afin de concevoir une installation solaire autonome efficace, il est essentiel de prendre en compte plusieurs paramètres, effectuer des calculs appropriés et suivre des étapes spécifiques pour sélectionner le matériel adapté, conforme aux normes techniques et aux besoins énergétiques requis.

Le chapitre actuel se concentre sur la conception d'un système photovoltaïque pour répondre aux besoins énergétiques de la bibliothèque et de la serre du centre universitaire SALHI Ahmed. Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer le nombre de panneaux solaires requis pour constituer le champ photovoltaïque, ainsi que le nombre d'onduleurs et de batteries nécessaires pour assurer un système PV adéquat capable de couvrir les charges électriques de la bibliothèque et de la serre.

### **III.2 Etude technique de la bibliothèque**

#### **III.2.1 Evaluation des besoins**

##### **III.2.1.1 Cahier des charges**

Le bilan de puissance se fera pour la bibliothèque. Il est essentiel de procéder à une évaluation précise de la consommation d'électricité pour dimensionner correctement un système. Il est donc nécessaire de recueillir des informations sur la consommation de chaque appareil utilisé, afin de pouvoir sélectionner les équipements ayant la consommation la plus faible. Cette approche permet de réduire les coûts d'électricité tout en maintenant un bon niveau de confort.

Afin de calculer la consommation énergétique journalière (exprimée en Wh/jour), il est nécessaire de multiplier la puissance en watts de chaque équipement (tel que les lampes, les ordinateurs, etc.) par le nombre d'heures de fonctionnement quotidien (exprimé en h/jour), puis de sommer les valeurs obtenues. Les tableaux ci-dessous peuvent être utilisés pour présenter les spécifications techniques et optimiser la consommation énergétique journalière de la bibliothèque.

La bibliothèque est composée de :

- 39 bureaux ;
- Magasins ;

**Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire  
SALHI Ahmed - Naâma**

- Services de bibliothèque et d'archives ;
- Salle internet ;
- Salle de conférence.

Le tableau (III.1) représente les différents appareils utilisés, ainsi que leurs puissances unitaires et leurs durées d'utilisations. Ces informations permettront de calculer la puissance totale consommée.

**Tableau III.1 : besoin journalier de la bibliothèque.**

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (W)	Puissance (W)	Durée d'utilisation (h)	Consommation (Wh/j)
Micro-ordinateur	59	150	8850	7	61950
Onduleur	57	250	14250	7	99750
imprimante	19	50	950	3	2850
Photocopieuse	9	110	990	4	3960
Scanneur	1	50	50	1	50
Data-show	3	355	1065	4	4260
Lampes LED	217	18	3906	8	31248
Climatiseur	10	1200	12000	5	60000
	10	1800	18000	5	90000
	1	2400	2400	5	12000
Modem Wifi	2	5	10	8	80
Caméra de surveillance	7	12	84	24	2016
Poteau d'éclairage	8	150	1200	10	12000
<b><math>E_{cj} = 380164 \text{ Wh /j}</math></b>					

### III.2.2 Evaluation du Gisement solaire local

Il est nécessaire de déterminer la valeur moyenne de l'irradiation solaire globale quotidienne  $I_r$  sur le plan des modules photovoltaïques pour le site d'installation. La quantité d'irradiation solaire globale reçue dépend de la localisation du site, de la période de l'année, de l'inclinaison et de l'orientation du champ photovoltaïque. Par conséquent, il est important de prendre en compte ces facteurs lors de la détermination de la valeur de l'irradiation solaire globale quotidienne moyenne

Le logiciel PvGis, développé et maintenu par la Commission Européenne, permet de collecter des données sur l'ensoleillement et la radiation dans le monde entier chaque année. Ces informations peuvent être utilisées pour évaluer le potentiel solaire d'une région donnée [45].

**Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire  
SALHI Ahmed - Naâma**

Les résultats pour la ville de Naâma données dans le tableau suivant puis représenté par le tableau (III.2) :

**Tableau III.2 : L'irradiation moyenne reçue par mois dans la ville de Naâma par le logiciel PvGis.**

Mois	Irradiation sur plan horizontal en $Wh/m^2/j$	Irradiation sur plan incliné 44° en $Wh/m^2/j$	Irradiation sur plan incliné de 90° en $Wh/m^2/j$
Janvier	3485	5931	5341
Février	4170	5954	4802
Mars	5620	6669	4503
Avril	6801	6742	3520
Mai	7435	6430	2608
Juin	7974	6437	2218
Juillet	7549	6354	2342
Aout	7019	6599	3134
Septembre	5739	6313	3914
Octobre	4635	6120	4637
Novembre	3558	5602	4867
Décembre	3041	5291	4885

D'après le tableau(III.2) nous avons : l'irradiation sur plan incliné 44° dans le mois décembre à la willaya de Naâma est : **5291 Wh/m<sup>2</sup>/j**

**III.2.3 Angle inclinaison des modules PV**

Cette phrase décrit la mesure de l'angle entre un panneau solaire et l'horizontale, mesurée en degrés. Pour que les panneaux solaires produisent leur maximum d'énergie, il est important de les orienter perpendiculairement aux rayons du soleil. Cependant, l'inclinaison du soleil varie selon les saisons, ce qui signifie qu'à midi, le soleil peut être plus ou moins haut dans le ciel selon les mois. Par conséquent, il est nécessaire d'incliner les panneaux solaires afin qu'ils soient toujours face au soleil pour maximiser leur efficacité énergétique.

Pour choisir l'inclinaison appropriée des panneaux solaires, il est recommandé d'utiliser le tableau ci-dessous qui présente la relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux.

**Tableau III.3 : Situation géographique du site.**

Caractéristique du site	Latitude en degré	Longitude en degré
Naâma	33.27	-0.31

D'après le tableau II.2 L'inclinaison des modules est de  $\alpha=44^\circ$ .

### III.2.4 Puissance crête totale du champ PV

La puissance crête du champ photovoltaïque  $P_c$  permettant de satisfaire les besoins énergétiques est donnée par l'expression suivante :

$$P_c = \frac{E_{cj}}{K \times I_r} \times 1000 \text{ W/m}^2 \quad (\text{III.1})$$

$$P_c = \frac{380164 \times 1000}{5291 \times 0.65}$$

$$P_c = 110540.1 \text{ W}_c$$

### III.2.5 Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ PV en watt. Plus de 10000 watts crête : elle est de 96V.

### III.2.6 Dimensionnement de panneau

Nous avons sélectionné le Module solaire photovoltaïque à cellules en **silicium polycrystalline IF-P345-72** d'une puissance de 345 watts pour notre étude. Cette décision a été motivée par la contrainte d'espace sur le site, afin d'éviter les ombrages, ainsi que par les performances élevées de ce module. Les caractéristiques techniques de ce module sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.4 : Les caractéristiques du module photovoltaïque.**

Puissance maximale en Watt	$P_{max}$	345
Tension à vide en volt	$V_{CO}$	46.36
Courant de court-circuit en ampère	$I_{CC}$	9.72
Tension au point de la puissance max en volt	$V_{mpp}$	37.67
Courant au point de la puissance max en A	$I_{mpp}$	9.16
Rendement en (%)	$\eta$	17.42
Chute de tension en (%)	$\Delta V$	3
Prix en dinar	Prix	25.481,24
Poids en kg	P	23.5
Nombre de cellule	$N_C$	72
La longueur	L	2002
La largeur	l	1150

### III.2.6.1 Détermination du nombre de modules

On utilise l'équation suivante pour déterminer le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour un générateur donné, en fonction des caractéristiques des modules choisis et de la puissance crête du générateur :

$$N_m = \frac{P_c}{P_u} \quad (\text{III.2})$$

$$N_m = \frac{110540.1}{345}$$

$$N_m = 320.4 \approx 321 \text{ modules}$$

#### III.2.6.1.1 La surface disponible pour les panneaux

Les modules photovoltaïques seront installés sur le toit de la bibliothèque donc il est impératif de connaître la surface disponible pour mieux choisir le module. Comme le module photovoltaïque a une forme rectangulaire, sa surface est déterminée par la relation suivante :

$$S_p = L \times l \quad (\text{III.3})$$

$$S_p = 2002 \times 1150 = 2302300 \text{ mm}^2$$

$$S_p = 2.3 \text{ m}^2$$

La surface nécessaire pour installer les panneaux est donnée par la relation suivante :

$$S_{total} = N_m \times S_p \quad (\text{III.4})$$

$$S_{total} = 321 \times 2.3$$

$$S_{total} = 738.3 \text{ m}^2$$

#### III.2.6.1.2 Nombre de modules connectés en série

$$N_s = \frac{V_{pv}}{V_{mpp}} \quad (\text{III.4})$$

$$N_s = \frac{96}{37.67}$$

$$N_s = 2.55 \approx 3 \text{ modules}$$

### III.2.6.1.3 Nombre de modules connectés en parallèle

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

$$N_p = \frac{321}{3}$$

$$N_p = 107 \text{ modules}$$

### III.2.7 Choix de la batterie

Comme nous utilisons des batteries au quotidien, il est essentiel d'avoir une batterie à longue durée de vie. De plus, lorsque nous utilisons plus d'énergie, il est nécessaire d'utiliser une batterie à tension de stockage élevée. Bien entendu, le coût de la batterie doit également être pris en compte. Ainsi, pour répondre à ces exigences, nous avons choisi la batterie « gel » avec les caractéristiques suivant :

**Tableau III.5 :** Les caractéristiques de la batterie.

Model	6-FMG-260	
Tension nominale en volt	$V_{bn}$	12 V
Capacité nominale de décharge en Ah	$C_{bn}$	260 Ah
Profondeur de décharge <i>DOD</i> en %	<i>DOD</i>	70
Dimensions	$L \times l \times h$	520x268x220
Prix en DA	P	79.000,00



**Figure III.1 :** Batterie gel 6-FMG-260.

### III.2.8 Dimensionnement des batteries de stockage

#### III.2.8.1 Capacité nominale de système

$$C = \frac{E_{cj} \times N}{DOD \times V_{pv}} \quad (III.5)$$

$$C = \frac{110540.1 \times 5}{0.7 \times 96}$$

$$C = 8224.7 \text{ Ah}$$

### III.2.8.2 Nombre des batteries en série

$$N_{bs} = \frac{V_{pv}}{V_{bn}} \quad (\text{III.6})$$

$$N_{bs} = \frac{96}{12}$$

$$N_{bs} = 8 \text{ batteries}$$

### III.2.8.3 Nombre des batteries en parallèle

$$N_{bp} = \frac{C}{C_{bn}} \quad (\text{III.7})$$

$$N_{bp} = \frac{8224.7}{260}$$

$$N_{bp} = 31.63 \approx 32 \text{ batteries}$$

### III.2.8.4 Nombre des batteries totales

$$Nb_{total} = N_{bs} \times N_{bp} \quad (\text{III.8})$$

$$Nb_{total} = 8 \times 32$$

$$Nb_{total} = 256 \text{ batteries}$$

## III.2.9 Dimensionnement du régulateur

Le régulateur de charge est choisi en fonction des paramètres suivant :

- Tension maximale ;
- Courant maximale ;
- Puissance nominale.

### III.2.9.1 Tension maximale

$$V_{Rég} = 1.25 \times V_{CO} \times N_s \quad (\text{III.9})$$

$$V_{Rég} = 1.25 \times 46.36 \times 3$$

$$V_{Rég} = 173.85 \text{ V}$$

### III.2.9.2 Courant maximale

$$I_{Réf} = 1.25 \times I_{CC} \times N_p \quad (\text{III.10})$$

$$I_{Réf} = 1.25 \times 9.72 \times 107$$

$$I_{Réf} = 1300 \text{ A}$$

### III.2.9.3 Puissance nominale

$$P_{Rég} = N_m \times P_u \quad (III.11)$$

$$P_{Rég} = 321 \times 345$$

$$P_{Rég} = 110.745 \text{ KW}$$

Après avoir effectué des calculs pour déterminer les différents paramètres nécessaires, nous avons décidé d'installer **13 régulateurs de charge** présentant les caractéristiques suivantes :

**Tableau III.6** : Les caractéristiques du régulateur de charge.

Model	SC-X-100A
Caractéristiques d'entrée	
Plage d'entrée PV (Vdc)	165VDC MAX
Courant de charge solaire (A)	100A Max
Caractéristiques de charge solaire	
Tension normale de la batterie (Vdc)	12/24/48VDC
Choisir Type de batterie	Gel / scellé / autre (14.0V-15.0V)
Caractéristiques de sortie DC	
Courant d'entrée DC (A)	100A Max
Dimension (mm)	300*224*92mm
Prix en DA	149.202,13



**Figure III.2** : régulateur de charge SC-X-100A.

### III.2.10 Dimensionnement de l'onduleur

Il pourrait être approprié d'installer un onduleur de 110 kW pour répondre aux besoins de puissance photovoltaïque de 110,54 kW de notre installation.

En examinant les différents onduleurs offerts par ABB, il est possible de considérer que le modèle PVI-110.0-TL pourrait être approprié.

La fiche technique de l'onduleur ABB (PVI-110.0-TL) est résumée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.7 :** Fiche technique de l'onduleur ABB.

Puissance DC max en kilo watt ( <i>kw</i> )	110
Tension d'entrée max en volt	1000
Plage de tension MPP en volt	[460 – 800]
Courant maximal d'entrée en A	246
Nombre de paires d'entrées DC	2



**Figure III.3 :** Onduleur ABB (PVI-110.0-TL).

Avant tout, il est nécessaire de déterminer le nombre maximal et minimal de modules, en série et en parallèle :

### III.2.10.1 Nombre maximal et minimal de modules

#### III.2.10.1.1 Nombre minimal de modules en série

$$N_{Smin} = E + \frac{U_{MPPTmin}}{0.85 \times U_{MPP}} \quad (III.12)$$

$$N_{Smin} = E + \frac{460}{0.85 \times 37.67}$$

$$N_{Smin} = 15 \text{ modules}$$

#### III.2.10.1.2 Nombre maximal de modules en série

$$N_{Smax} = E - \frac{U_{MPPTmax}}{1.25 \times U_{MPP}} \quad (III.13)$$

$$N_{Smax} = E - \frac{800}{1.25 \times 37.67}$$

$$N_{Smax} = 16 \text{ modules}$$

### III.2.10.1.3 Nombre maximal de modules en parallèle

$$N_{Pmax} = E - \frac{I_{max}}{1.25 \times I_{CC}} \quad (III.14)$$

$$N_{Pmax} = E - \frac{246}{1.25 \times 9.72}$$

$$N_{Pmax} = 20 \text{ modules}$$

Le choix de l'onduleur est basé essentiellement sur la somme des puissances maximales de chaque équipement fonctionnant en alternatif (AC) et se fait selon les critères suivant :

- Tension maximale ;
- Courant maximale ;
- Puissance nominale.

### III.2.10.2 Tension maximale

$$V_{Ond} = 1.25 \times V_{CO} \times N_{Smax} \quad (III.15)$$

$$V_{Ond} = 1.25 \times 46.36 \times 16$$

$$V_{Ond} = 927.2 \text{ V}$$

La Tension d'entrée max de l'onduleur étant de  $V_{maxOnd} = 1000 \text{ V}$

$\Rightarrow V_{Ond} < V_{maxOnd}$  (927.2 V < 1000 V).

Donc La configuration de 16 panneaux en série est compatible avec la tension maximale d'entrée de l'onduleur.

### III.2.10.3 Courant maximal

$$I_{Ond} = 1.25 \times I_{CC} \times N_{Pmax} \quad (III.16)$$

$$I_{Ond} = 1.25 \times 9.72 \times 20$$

$$I_{Ond} = 243 \text{ A}$$

Le Courant maximal d'entrée de l'onduleur étant de  $I_{maxOnd} = 246 \text{ A}$

$\Rightarrow I_{max} < I_{maxOnd}$  (243 A < 246 A).

Donc la configuration des 21 panneaux en parallèle est compatible avec le courant d'entrée admissible de l'onduleur.

### III.2.10.4 Puissance nominale

$$P_{Ond} = N_m \times P_u \quad (III.17)$$

$$P_{Ond} = 321 \times 345$$

$$P_{Ond} = 110.745 \text{ kW}$$

### III.2.11 Dimensionnement des câbles

Tableau III.8 : Calcul de la section des câbles.

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=10m)	$I = 1.25 \times I_{CC}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 1.25 \times 9.72 = 12.15 \text{ A}$ $S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 10 \times 2 \times 12.15}{0.03 \times 37.67}$ $= 3.44 \text{ mm}^2$
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=5m)	$I_1 = I \times N_p$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 12.15 \times 107 = 1300 \text{ A}$ $S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 5 \times 2 \times 1300}{0.03 \times 37.67}$ $= 184 \text{ mm}^2$
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=3 m)	<b>Branchement des batteries</b>	
	Calcul de la tension de la batterie :	$V_{bat} = 12 \times 8 = 96 \text{ V}$
	Calcul de $1-\alpha$ :	$1 - \alpha = \frac{96}{113.01} = 0.85$
	Calcul du courant de batterie :	$I_{bat} = \frac{1300}{0.85} = 1529.4 \text{ A}$
	$S = \frac{\rho \times L \times I_{bat}}{\Delta V \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 3 \times 2 \times 1529.4}{0.03 \times 37.67}$ $= 129.9 \text{ mm}^2$
Section des câbles coté AC		
Calcul du courant	$I_{ch} = \frac{P_{ch}}{3 \times V}$	$I_{ch} = \frac{63755}{3 \times 230} = 92.39 \text{ A}$
Calcul de la section	$S = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \theta \times I_{ch}}{\epsilon \times V_n}$	$S = 2 \times 0.0225 \times \frac{20 \times 0.9 \times 92.39}{0.03 \times 220}$ $= 11.33 \text{ mm}^2$

**Tableau III.9 : Les caractéristiques du câblage.**

<b>Câblage</b>	<b>Distance (m)</b>	<b>Courant maximal I (A)</b>	<b>Section minimale (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Section normalisé (mm<sup>2</sup>)</b>
Entre les panneaux et le boîte de raccordement	10	12.15	3.44	4
Entre la boîte de raccordement et régulateur	5	1300	184	185
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur	3	1529.4	129.9	150
Entre l'onduleur et les récepteurs	10	92.39	11.33	16

### **III.3 Etude technique de la serre**

#### **III.3.1 Evaluation des besoins**

##### **III.3.1.1 Cahier des charges**

**Tableau III.10 : Besoin journalier de la serre.**

<b>Appareil</b>	<b>Nombre</b>	<b>Puissance Unitaire (W)</b>	<b>Puissance (W)</b>	<b>Durée d'utilisation (h)</b>	<b>Consommation (Wh / j)</b>
<b>Extracteur</b>	2	370	740	1	740
<b>Projecteur</b>	4	400	1600	9	14400
<b>Lampes LED</b>	3	30	90	1	90
<b>Sonde Ambiance</b>	3	18	54	24	1296
<b>Pompe Cooling</b>	1	800	800	1.66	1333.3
<b>Pompe Surpresseur</b>	1	800	800	2	1600
<b>Stabilisateur</b>	1	4800	4800	2	9600
<b>Moteur</b>	2	250	500	0.083	41.6
<b>chauffage</b>	1	155	155	10	1550
<b>Ecj = 30650.9 Wh/J</b>					

### III.3.2 Puissance crête totale du champ PV

$$P_c = \frac{Ecj}{K \times Ir} \times 1000 \text{ W/m}^2 \quad (\text{III.18})$$

$$P_c = \frac{30650.9 \times 1000}{5291 \times 0.65}$$

$$P_c = 8912.34 \text{ W}_c$$

### III.3.3 Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

La tension de fonctionnement est sélectionnée en fonction de la puissance crête de la source d'énergie photovoltaïque en watts. Pour une plage de puissance crête allant de 2001 à 10000 watts, la tension de fonctionnement choisie est de 48 volts.

### III.3.4 Dimensionnement de panneau

Pour cette étude, nous avons choisi le même module solaire photovoltaïque qui utilise des cellules en silicium polycristallin IF-P345-72 et qui a une puissance de 345 watts.

#### III.3.4.1 Détermination du nombre de modules

$$N_m = \frac{P_c}{P_u} \quad (\text{III.19})$$

$$N_m = \frac{8912.34}{345}$$

$$N_m = 25.83 \approx 26 \text{ modules}$$

#### III.3.4.1.1 La surface disponible pour les panneaux

$$S_p = L \times l \quad (\text{III.20})$$

$$S_p = 2002 \times 1150 = 2302300 \text{ mm}^2$$

$$S_p = 2.3 \text{ m}^2$$

La surface nécessaire pour installer les panneaux est donnée par la relation suivante :

$$S_{total} = N_m \times S_p \quad (\text{III.21})$$

$$S_{total} = 26 \times 2.3$$

$$S_{total} = 59.8 \text{ m}^2$$

III.3.4.1.2 Nombre de modules connectés en série

$$N_s = \frac{V_{pv}}{V_{mpp}} \quad (\text{III.22})$$

$$N_s = \frac{48}{37.67}$$

$$N_s = 1.27 \approx 2 \text{ modules}$$

III.3.4.1.1 Nombre de modules connectés en parallèle

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{III.23})$$

$$N_p = \frac{26}{2}$$

$$N_p = 13 \text{ modules}$$

III.3.5 Dimensionnement des batteries de stockage

III.3.5.1 Capacité nominale de système

$$C = \frac{E_{cj} \times N}{DOD \times V_{pv}} \quad (\text{III.24})$$

$$C = \frac{30650.9 \times 5}{0.7 \times 48}$$

$$C = 4561.16 \text{ Ah}$$

III.3.5.2 Nombre des batteries en série

$$N_{bs} = \frac{V_{pv}}{V_{bn}} \quad (\text{III.25})$$

$$N_{bs} = \frac{48}{12}$$

$$N_{bs} = 4 \text{ batteries}$$

III.3.5.3 Nombre des batteries en parallèle

$$N_{bp} = \frac{C}{C_{bn}} \quad (\text{III.26})$$

$$N_{bp} = \frac{4561.16}{260}$$

$$N_{bp} = 17.54 \approx 18 \text{ batteries}$$

#### III.3.5.4 Nombre des batteries totales

$$Nb_{total} = N_{bs} \times N_{bp} \quad (III.27)$$

$$Nb_{total} = 4 \times 18$$

$$Nb_{total} = 72 \text{ batteries}$$

#### III.3.6 Dimensionnement du régulateur

Le régulateur de charge est choisi en fonction des paramètres suivant :

- Tension maximale ;
- Courant maximale ;
- Puissance nominale.

##### III.3.6.1 Tension maximale

$$V_{Rég} = 1.25 \times V_{CO} \times N_s \quad (III.28)$$

$$V_{Rég} = 1.25 \times 46.36 \times 2$$

$$V_{Rég} = 115.9 V$$

##### III.3.6.2 Courant maximale

$$I_{Réf} = 1.25 \times I_{CC} \times N_p \quad (III.29)$$

$$I_{Réf} = 1.25 \times 9.72 \times 13$$

$$I_{Réf} = 157.95 A$$

##### III.3.6.3 Puissance nominale

$$P_{Rég} = N_m \times P_u \quad (III.30)$$

$$P_{Rég} = 26 \times 345$$

$$P_{Rég} = 8970 W$$

Après avoir procédé à des calculs pour déterminer les différents paramètres nécessaires, nous avons conclu qu'il était préférable d'opter pour l'installation du régulateur de charge que nous avons utilisé dans l'étude précédente.

### III.3.7 Dimensionnement de l'onduleur

Il pourrait être approprié d'installer un onduleur de 10 kW pour répondre aux besoins de puissance photovoltaïque de 9 kW de notre installation.

En examinant les différents onduleurs offerts par LAGUA, il est possible de considérer que le modèle SUNKING-10kW pourrait être approprié.

La fiche technique de l'onduleur LAGUA (SUNKING-10kW) est résumée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.11** : Fiche technique de l'onduleur LAGUA.

Puissance DC max en watt ( <i>w</i> )	14850
Tension d'entrée max en volt	900
Plage de tension MPP en volt	[400 – 800]
Courant maximal d'entrée en A	37.2
Nombre de paires d'entrées DC	2



**Figure III.4** : LAGUA (SUNKING-10kW).

Avant tout, il est nécessaire de déterminer le nombre maximal et minimal de modules, en série et en parallèle :

#### III.3.7.1 Nombre maximal et minimal de modules

##### III.3.7.1.1 Nombre minimal de modules en série

$$N_{Smin} = E + \frac{U_{MPPTmin}}{0.85 \times U_{MPP}} \quad (III.31)$$

$$N_{Smin} = E + \frac{400}{0.85 \times 37.67}$$

$$N_{Smin} = 13 \text{ modules}$$

**III.3.7.1.2 Nombre maximal de modules en série**

$$N_{Smax} = E - \frac{U_{MPPTmax}}{1.25 \times U_{MPP}} \quad (III.32)$$

$$N_{Smax} = E - \frac{800}{1.25 \times 37.67}$$

$$N_{Smax} = 16 \text{ modules}$$

**III.3.7.1.3 Nombre maximal de modules en parallèle**

$$N_{Pmax} = E - \frac{I_{max}}{1.25 \times I_{CC}} \quad (III.33)$$

$$N_{Pmax} = E - \frac{37.2}{1.25 \times 9.72}$$

$$N_{Pmax} = 3 \text{ modules}$$

Le choix de l'onduleur est basé essentiellement sur la somme des puissances maximales de chaque équipement fonctionnant en alternatif (AC) et se fait selon les critères suivant :

- Tension maximale ;
- Courant maximale ;
- Puissance nominale.

**III.3.7.2 Tension maximale**

$$V_{Ond} = 1.25 \times V_{CO} \times N_{Smax} \quad (III.34)$$

$$V_{Ond} = 1.25 \times 46.36 \times 16$$

$$V_{Ond} = 927.2 \text{ V}$$

La Tension d'entrée max de l'onduleur étant de  $V_{maxOnd} = 1000 \text{ V}$

$\Rightarrow V_{Ond} < V_{maxOnd}$  ( $927.2 \text{ V} < 1000 \text{ V}$ ). Donc La configuration de 16 panneaux en série est compatible avec la tension maximale d'entrée de l'onduleur.

**III.3.7.3 Courant maximal**

$$I_{Ond} = 1.25 \times I_{CC} \times N_{Pmax} \quad (III.35)$$

$$I_{Ond} = 1.25 \times 9.72 \times 3$$

$$I_{Ond} = 36.45 \text{ A}$$

Le Courant maximal d'entrée de l'onduleur étant de  $I_{maxOnd} = 37.2 \text{ A}$

⇒  $I_{max} < I_{maxOnd}$  (36.45 A < 37.2 A). Donc la configuration des 3 panneaux en parallèle est compatible avec le courant d'entrée admissible de l'onduleur.

**III.3.7.4 Puissance nominale**

$$P_{Ond} = N_m \times P_u \quad (III.36)$$

$$P_{Ond} = 26 \times 345$$

$$P_{Ond} = 8.97 \text{ kW}$$

**III.3.8 Dimensionnement des câbles**

**Tableau III.12 : Calcul de la section des câbles.**

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=10m)	$I = 1.25 \times I_{CC}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 1.25 \times 9.72 = 12.15 \text{ A}$ $S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 10 \times 2 \times 12.15}{0.03 \times 37.67}$ $= 3.44 \text{ mm}^2$
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=5m)	$I_1 = I \times N_P$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 12.15 \times 13 = 157.95 \text{ A}$ $S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 5 \times 2 \times 157.95}{0.03 \times 37.67}$ $= 22.36 \text{ mm}^2$
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=3 m)	<b>Branchement des batteries</b>	
	Calcul de la tension de la batterie : $V_{bat} = V_{bn} \times N_{bs}$	$V_{bat} = 12 \times 4 = 48 \text{ V}$
	Calcul de 1-α : $1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{pv}}$	$1 - \alpha = \frac{48}{75.34} = 0.64$
	Calcul du courant de batterie : $I_{bat} = \frac{I}{1 - \alpha}$	$I_{bat} = \frac{157.95}{0.64} = 246.8 \text{ A}$
	$S = \frac{\rho \times L \times I_{bat}}{\Delta V \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 3 \times 2 \times 246.8}{0.03 \times 37.67}$ $= 20.96 \text{ mm}^2$
Section des câbles coté AC		
Calcul du courant	$I_{ch} = \frac{P_{ch}}{3 \times V}$	$I_{ch} = \frac{9539}{3 \times 230} = 13.82 \text{ A}$
Calcul de la section	$S = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \theta \times I_{ch}}{\epsilon \times V_n}$	$S = 2 \times 0.0225 \times \frac{20 \times 0.9 \times 13.82}{0.03 \times 230}$ $= 3.73 \text{ mm}^2$

**Tableau III.13 : Les caractéristiques du câblage.**

<b>Câblage</b>	<b>Distance (m)</b>	<b>Courant maximal <math>I</math> (A)</b>	<b>Section minimale (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Section normalisé (mm<sup>2</sup>)</b>
Entre les panneaux et le boîte de raccordement	10	12.15	3.44	4
Entre la boîte de raccordement et régulateur	5	157.95	22.36	25
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et Section des câbles entre les batteries et l'onduleur	3	246.8	20.96	25
Entre l'onduleur et les récepteurs	10	13.82	3.73	4

### **III.4 Etude économique**

#### **III.4.1 Calcul de l'investissement initial total**

Le coût total d'investissement initial total est donné par :

$$C_{\text{Équipement}} = N_{\text{Équipement}} \times \text{Coût d'équipement} \quad (\text{III.37})$$

Avec :

- $N_{\text{Équipement}}$  : Nombre des équipements solaire.

**Tableau III.14 : L'investissement initial total de la bibliothèque.**

<b>Appareils</b>	<b>Nombre</b>	<b>Prix en dinar algérien</b>	<b>Investissement en (DA)</b>
<b>Panneaux</b>	321	25.481,24	8.179.478,04
<b>Batteries</b>	256	79.000,00	20.224.000,00
<b>Régulateur solaire</b>	13	149.202,13	1.939.627,69
<b>Onduleur solaire</b>	1	254.428,47	254.428,47
<b>Câbles</b>	/	/	48733,8
<b>Accessoires + support</b>	/	/	125.000,00
<b>Mains d'œuvre</b>	/	/	3.876.000,00
<b>Total</b>		34.647.268,00	

**Tableau III.15 : L'investissement initial total de la serre.**

Appareils	Nombre	Prix en dinar algérien	Investissement en (DA)
Panneaux	26	25.481,24	662.512,24
Batteries	72	79.000,00	5.688.000,00
Régulateur solaire	2	149.202,13	298.404,26
Onduleur solaire	1	170.490,62	170.490,62
Câbles	/	/	12.406,12
Accessoires + support	/	/	125.000,00
Mains d'œuvre	/	/	976.000,00
<b>Total</b>			<b>7.932.813,24</b>

### III.4.2 Calcul de l'amortissement total

La formule suivante permet de calculer l'amortissement de chaque composant :

$$A = \frac{C}{N} \quad \text{(III.38)}$$

Avec :

- $C$  : Le coût de l'investissement initial de chaque composant ;
- $N$  : Durée de vie active du chaque composant.

**Tableau III.16 : L'amortissement global de l'installation PV de la bibliothèque.**

Appareils	Investissement en (DA)	Durée de vie	Amortissement en dinar
Panneaux	8.179.478,04	30	272.649,29
Batteries	20.224.000,00	10	2.022.400,00
Régulateur solaire	1.939.627,69	8	242.453,47
Onduleur solaire	254.428,47	20	12.721,42
Câbles	48733,8	30	1624,46
Accessoires + support	125.000,00	20	6.250,00
<b>Total</b>			<b>2.558.098,64</b>

**Tableau III.17 : L'amortissement global de l'installation PV de la serre.**

Appareils	Investissement en (DA)	Durée de vie	Amortissement en dinar
Panneaux	662.512,24	30	22.083,74
Batteries	5.688.000,00	10	568.800,00
Régulateur solaire	298.404,26	8	37.300,53
Onduleur solaire	170.490,62	20	8.524,53
Câbles	12406,12	30	413,53
Accessoires + support	125.000,00	20	6.250,00
<b>Total</b>			<b>643.372,33</b>

### III.4.3 Calcul de l'entretien et de la maintenance annuel total

La formule suivante permet de calculer l'entretien requis pour chaque composant :

$$E = C \times R \quad \text{(III.39)}$$

Avec :

- $C$  : Le coût de l'investissement initial de chaque composant ;
- $R$  : Le coefficient d'estimation du coût de l'entretien par rapport à l'investissement initial de chaque composant.

**Tableau III.18 :** L'entretien global annuel de l'installation PV de la bibliothèque.

Appareils	Investissement en (DA)	Ratio	Entretien en dinar
Panneaux	8.179.478,04	2 %	163.589,56
Batteries	20.224.000,00	2 %	404.480,00
Régulateur solaire	1.939.627,69	1 %	19.396,27
Onduleur solaire	254.428,47	5 %	12.721,42
Câbles	48733,8	3 %	1.462,00
Accessoires + support	125.000,00	1 %	1.250,00
<b>Total</b>	<b>602.899,25</b>		

**Tableau III.19 :** L'entretien global annuel de l'installation PV de la serre.

Appareils	Investissement en (DA)	Ratio	Entretien en dinar
Panneaux	662.512,24	2 %	13.250,24
Batteries	5.688.000,00	2 %	113.760,00
Régulateur solaire	298.404,26	1 %	2.984,04
Onduleur solaire	170.490,62	5 %	8.524,53
Câbles	12406,12	3 %	372,18
Accessoires + support	125.000,00	1 %	1.250,00
<b>Total</b>	<b>140.140,99</b>		

### III.4.4 Calcul des coûts sur la durée de vie

Le coût global annuel de la valeur actualisée est calculé par l'expression suivante :

$$C_{GA} = A_{total} + E_{total} \quad \text{(III.40)}$$

Avec :

- $C_{GA}$  : Le coût global annuel ;
- $A_{total}$  : Le coût de l'amortissement annuel total de l'installation ;
- $E_{total}$  : Le coût de l'entretien annuel total de l'installation.

$$C_{GA\_biblio} = A_{total\_biblio} + E_{total\_biblio} \quad (III.41)$$

$$C_{GA\_biblio} = 2.558.098,64 + 602.899,25$$

$$C_{GA\_biblio} = 3.160.997,89 \text{ DA}$$

$$C_{GA\_serre} = A_{total\_serre} + E_{total\_serre} \quad (III.41)$$

$$C_{GA\_biblio} = 643.372,33 + 140.140,99$$

$$C_{GA\_biblio} = 783.513,32 \text{ DA}$$

### III.5 Présentation de logiciel de simulation PVsyst

Le logiciel PVSYST est un outil de simulation pour les systèmes photovoltaïques (PV) utilisé pour concevoir et optimiser des projets d'installation de panneaux solaires. Il est principalement utilisé par les professionnels de l'industrie solaire pour simuler les performances de différents types de systèmes PV, allant des installations résidentielles aux grandes centrales électriques.

Le logiciel utilise des données météorologiques pour estimer la production d'électricité de chaque module PV. Il prend également en compte l'orientation, l'inclinaison, la surface et la configuration des panneaux solaires, ainsi que les pertes de câblage, les ombrages, les pertes de conversion et d'autres facteurs qui peuvent affecter la production d'électricité. Les résultats de la simulation permettent aux utilisateurs de visualiser la production d'électricité prévue et d'optimiser la conception du système PV.

PVSYST est considéré comme l'un des logiciels de simulation les plus avancés pour les systèmes photovoltaïques. Il est utilisé par des professionnels de l'industrie solaire dans le monde entier pour concevoir, planifier et optimiser des installations PV pour maximiser la production d'énergie solaire et la rentabilité des projets [46].

## Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed - Naâma

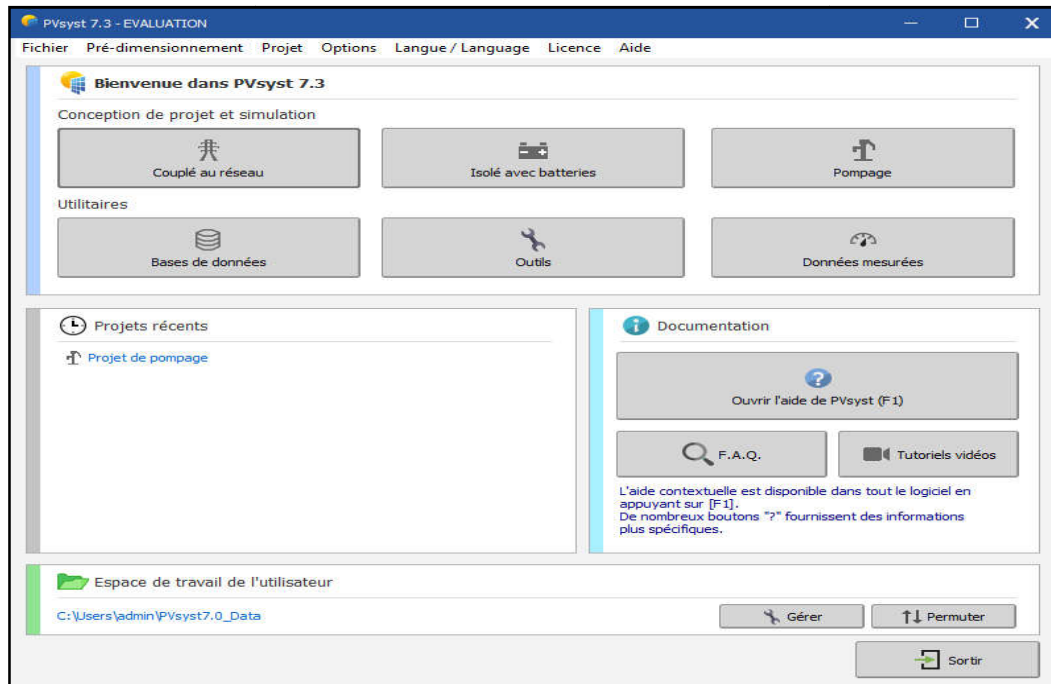


Figure III.5 : Interface de logiciel PVSYST.

La simulation à base du logiciel PVSYST suit l'organigramme suivant :

- Localisation géographique de site et choix de la station météorologique de référence ;
- Choix de type du système photovoltaïque (suiveurs, fixe,..) ;
- Définition des paramètres actifs du site (inclinaison, Azimut, ombrage, Albédo,...) ;
- Choix des modules et les onduleurs ainsi que leur implantation sur les champs ;
- Simulation.

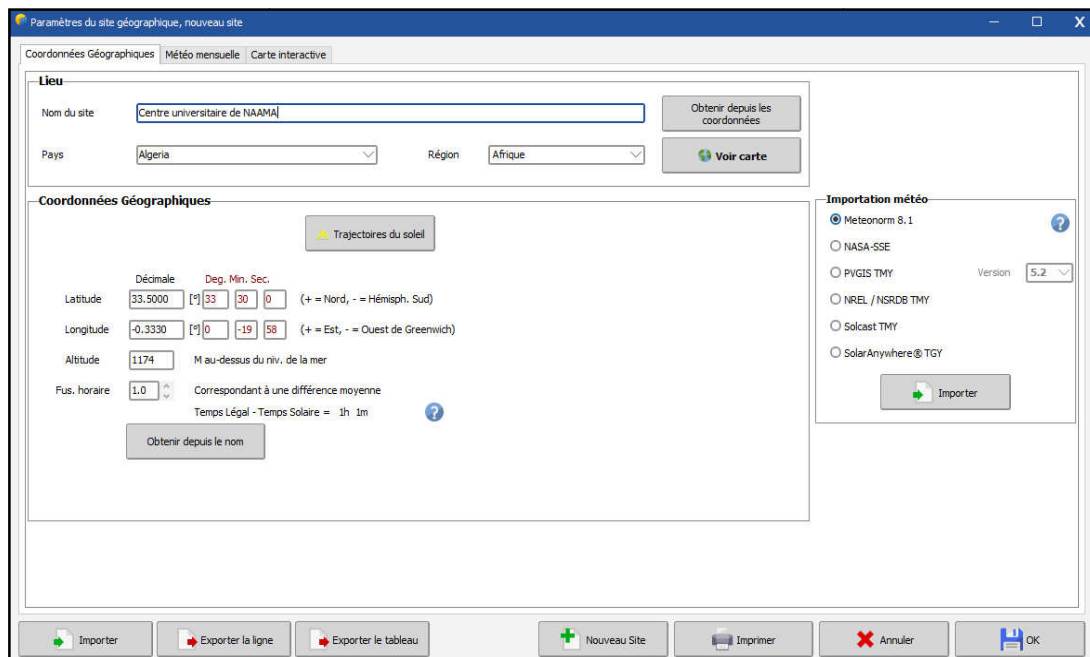
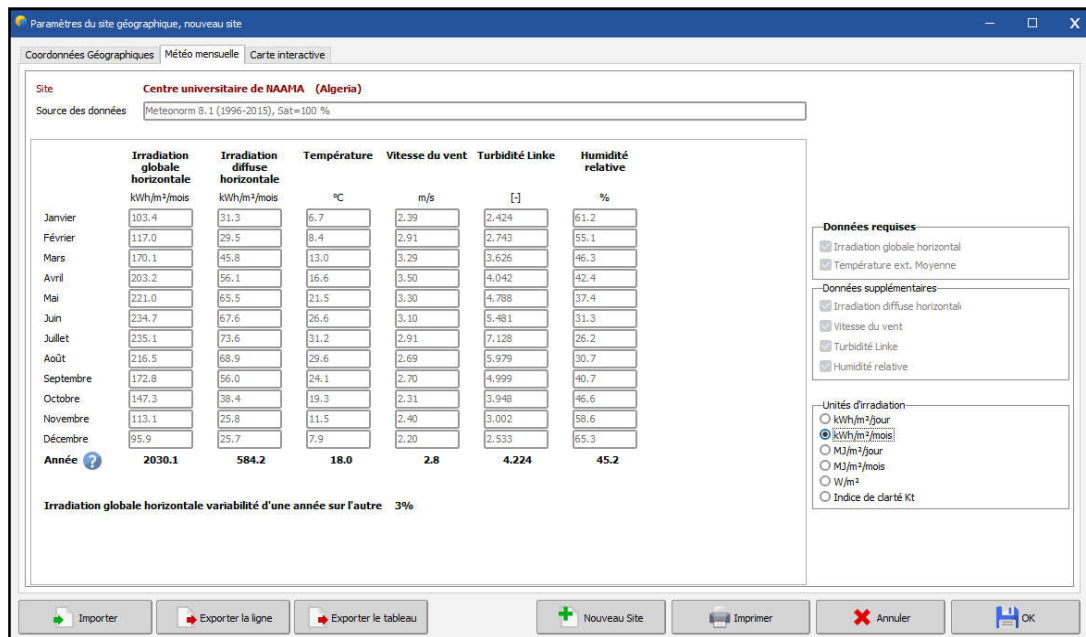


Figure III.6 : Coordonnées géographiques du site de centre universitaire SALHI Ahmed.

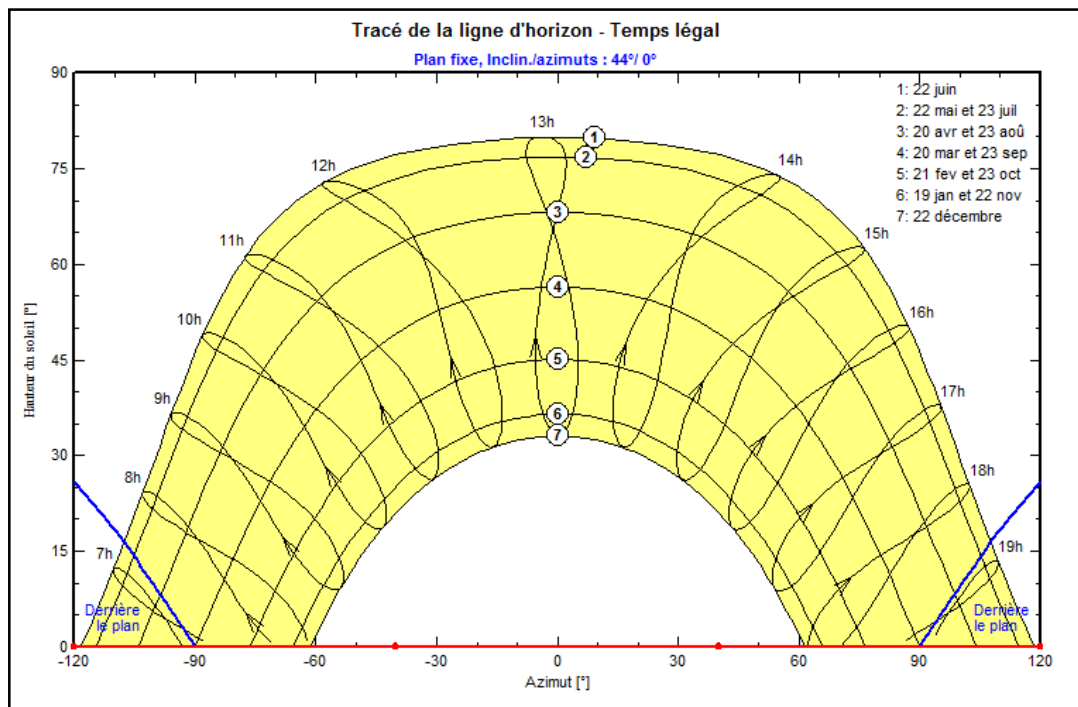
## Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed - Naâma

La figure III.7 ci-dessous nous donne les moyennes mensuelles des irradiations globales et diffuses ainsi que celles des températures.



**Figure III.7 :** Données Météorologiques mensuelles de Naâma.

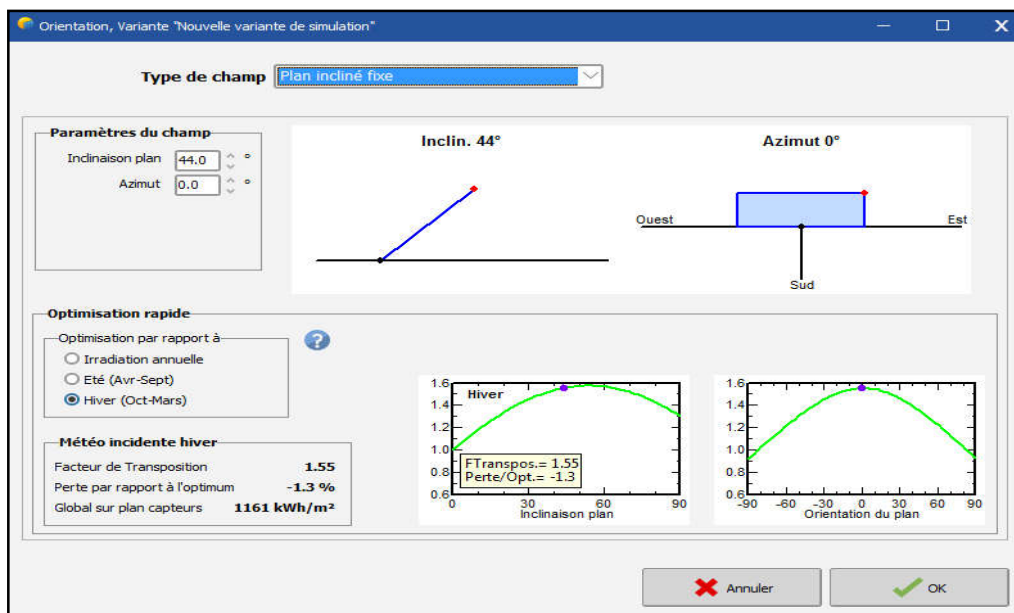
En outre, la Figure III.8 illustre la trajectoire du soleil tout au long de la journée pendant les mois de l'année, en utilisant deux coordonnées : l'azimut (angle avec la direction du sud, mesuré négativement vers l'est) et la hauteur du soleil (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu).



**Figure III.8 :** Diagramme de la trajectoire du soleil.

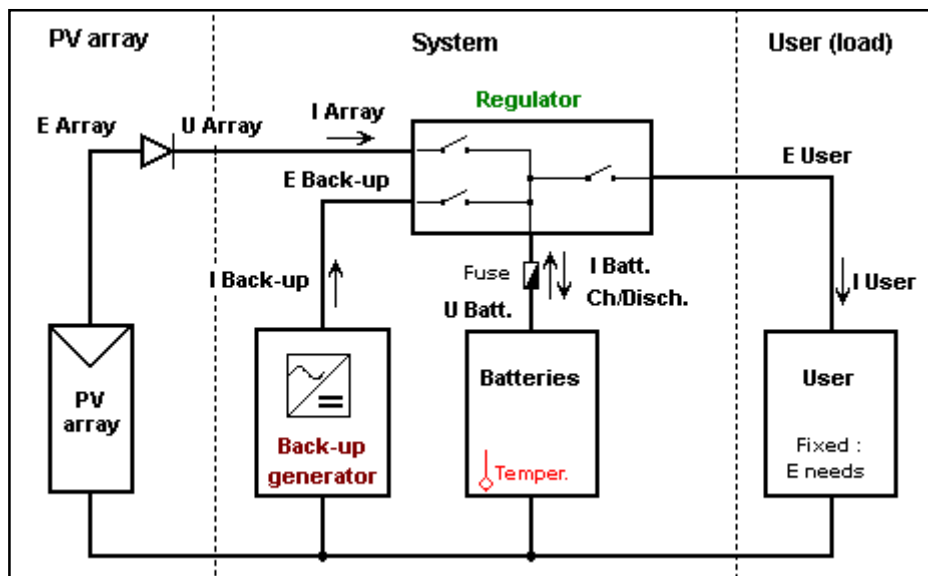
Prenons l'exemple de vouloir déterminer la position du soleil à 9 heures le 20 juin. Pour ce faire, il faut identifier l'intersection de la ligne 2 et de l'heure 9h. Le résultat obtenu est une longitude de  $-105^\circ$  (soit  $105^\circ$  à l'ouest) et une hauteur de  $36^\circ$ .

D'après la Figure III.8 présentée, il semble avantageux d'exploiter l'énergie solaire sur le site de Naâma. Toutefois, pour déterminer les angles d'inclinaison optimaux des panneaux photovoltaïques dans cette région, qui permettent d'optimiser la production d'énergie, nous avons choisi une inclinaison de 44 degrés.



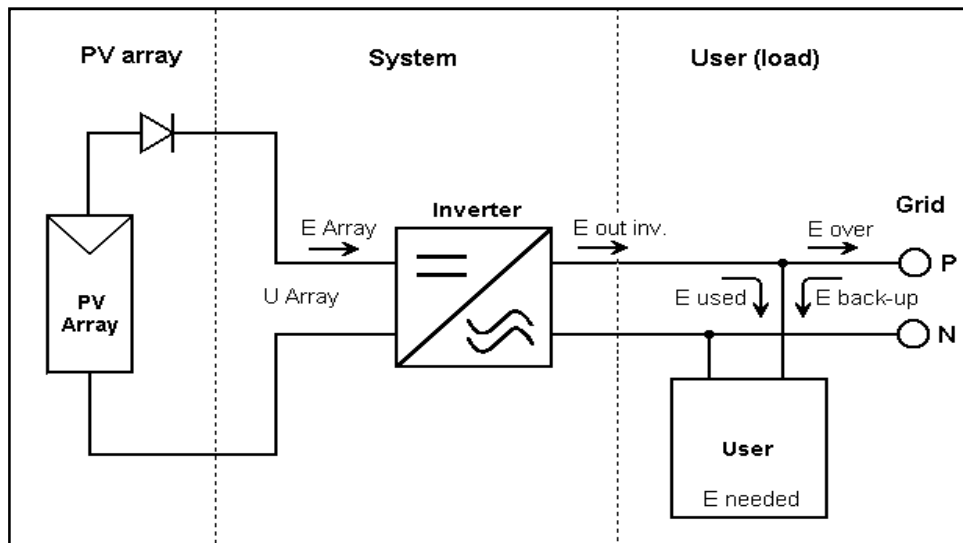
**Figure III.9 : Orientation des panneaux.**

La figure III.10 représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation.



**Figure III.10 : Schéma simplifié d'une installation PV autonome.**

La figure III.11 représente le schéma de l'installation PV raccordé au réseau prise en compte dans la simulation.

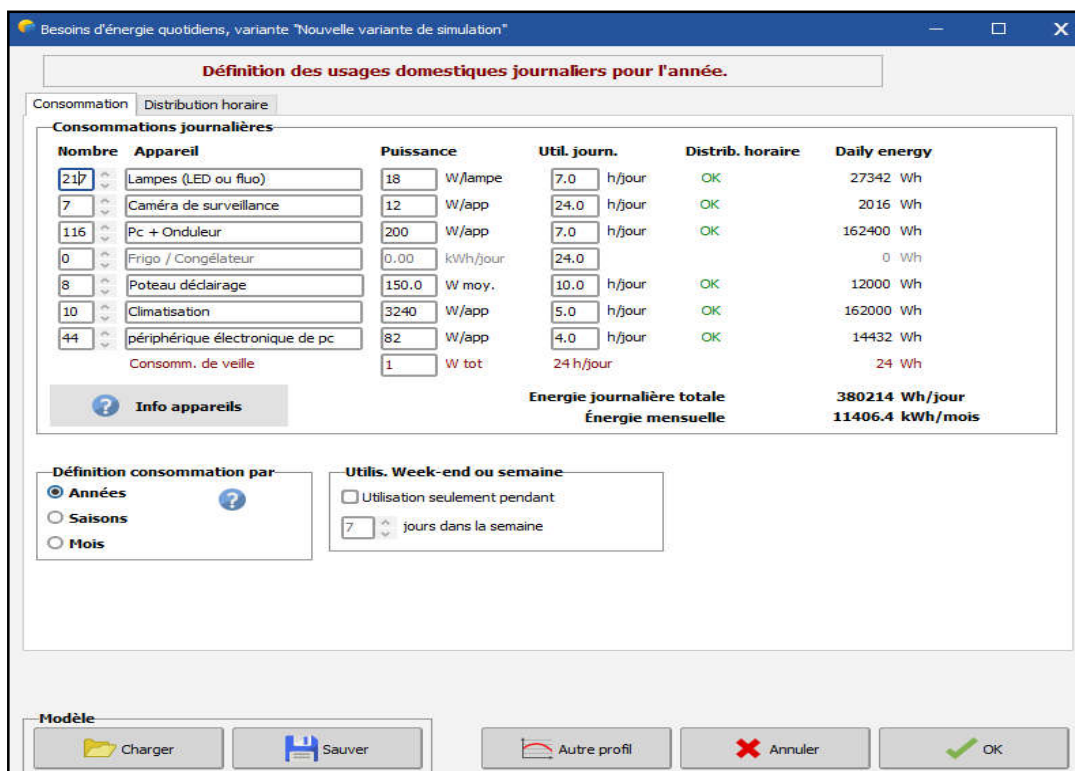


**Figure III.11** : Schéma simplifié d'une installation PV raccordé au réseau.

### III.6 Résultats de simulation pour la bibliothèque

#### III.6.1 Besoins électriques

La figure III.10 montre les besoins de la bibliothèque par le PVSYST :



**Figure III.12**: Besoins de la bibliothèque.

### III.6.2 Simulation des équipements énergétiques

#### III.6.2.1 Système autonome

- **Batterie :**

On a choisi une batterie modèle PVX-2580L du fabricant Concorde et de type Pb-acide 12V/296Ah sous une température fixe de 20°C pour notre système.

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

**Procédure** Les suggestions de pré-dimensionnement sont basées sur la météo mensuelle, et les besoins de l'utilisateur

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (P.L.O.L., autonomie, tension batterie)
2. - Stockage Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV Définissez le champ PV (Module PV et mode de contrôle). Conseil : commencez avec un régulateur universel !
4. - Appoint Définissez un éventuel groupe électrogène

**Définissez le pack de batteries**

Trier les batteries selon  tension  capacité  fabricant

Tous les fabricants 12 V 239 Ah Pb Sealed AGM PVX-2580L Concorde

Toutes les techno.

8	<input checked="" type="checkbox"/>	batteries en série	Nombre de batteries	256	Tension du pack batteries	96 V
32	<input type="checkbox"/>	batteries en parallèle	Nombre d'éléments	1536	Capacité globale	7648 Ah
100.0	%	Etat d'usure initial (nb. de cycles)			Energie stockée (80 % DOD)	587 kWh
100.0	%	Etat d'usure initial (statique)			Poids total	19200 kg
					Nbre de cycles à 80 % DOD	800
					Energie totale stockée durant la vie de la batterie	494 MWh

**Température batterie en opération**

Mode tempér.

Température fixée  °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un

Figure III.13 : Dimensionnement des batteries pour le système autonome avec stockage.

- **Modules et régulateur :**

Nous avons sélectionné un module solaire de modèle M345 Wp 72 cellules fabriqué par Amso Solar. Ce module utilise une technologie monocristalline et possède une puissance crête de 345 Wc. Il a été choisi pour être utilisé dans notre système.

Nous avons également choisi un régulateur MPPT d'une puissance de 90 kW. Ce régulateur est conçu pour une tension d'entrée DC de 102,7 V et une tension de champ maximum de 167 V. En outre, il est capable de fournir un courant de sortie allant jusqu'à 932 A.

The screenshot shows a software interface for PV system design. The main sections are:

- Nom et orientation du sous-champ:** Nom: Champ PV, Orient.: Plan incliné fixe, Inclinaison: 44°, Azimut: 0°.
- Aide au dimensionnement:** Entrez Pnom désirée: 110540 Wc, ou surface disponible: 740 m².
- Sélection du module PV:** Tous les modules, Tri modules par: Puissance, Technologie: Si-mono, M345 Wp 72 cells, Amso Sola.
- Choisissez le mode de régulation et le régulateur:** Régulateur universel: \_Generic, Mode d'opération: Couplage direct, DCDC 1000 W 96 V, Courants max. de charge - décharge: 1281 A, 658 A, Tension de fonctionnement fixée: 80 V, Puissance régulateur: 116 kW, Tension entrée maximale: 167 V, Batterie associée: 96 V.
- Conception champ PV:** Nombre de modules et chaînes: Mod. en série: 3, Nbr. chaînes: 108, Nbre modules: 324, Surface: 629 m². Cond. de fonctionnement: Vmpp (60°C): 99 V, Vmpp (20°C): 118 V, Vco (-10°C): 159 V, Irradiance plan: 1000 W/m², Puiss. max. en fonctionnement: 101 kW, Puiss. nom. champ (STC): 112 kWc.

Figure III.14 : Dimensionnement de module et régulateur pour le système autonome avec stockage.

### III.6.2.2 Système raccordé au réseau

- **Modules et onduleur :**

Notre choix s'est porté sur un module solaire de la marque Amso Solar, modèle M340 Wp 120 cells. Ce module fonctionne avec une technologie monocristalline et dispose d'une puissance crête de 340 Wc, ce qui le rend parfaitement adapté à notre système.

Nous avons opté pour l'onduleur Aotai\_ASP-110KTLC fabriqué par AOTAI, ayant une puissance de 110 kW et une tension d'entrée DC maximale absolue de 1100 V. Il dispose également d'une plage d'entrée MPPT de 200-1000 V et d'un nombre de paires d'entrées DC égal à 1.

The screenshot shows a software interface for PV system design. The main sections are:

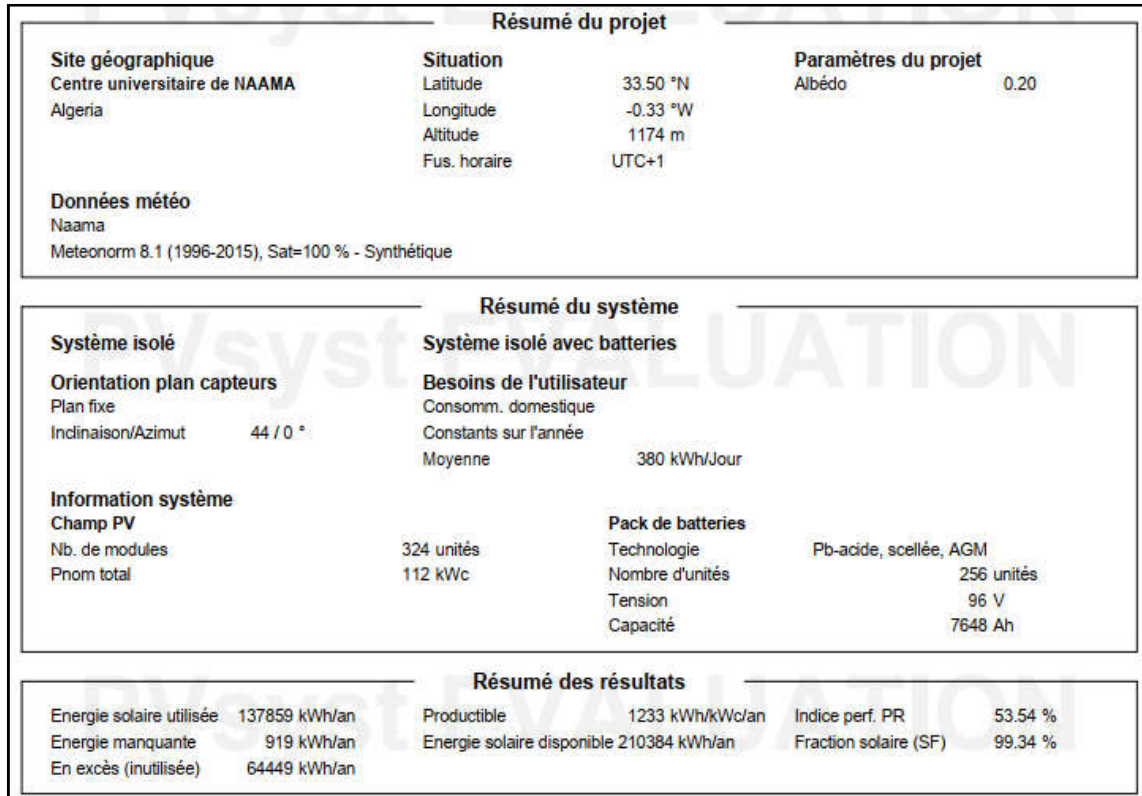
- Nom et orientation du sous-champ:** Nom: Champ PV, Inclinaison: 44°, Azimut: 0°.
- Aide au dimensionnement:** Entrez Pnom désirée: 110 kWc, ou surface disponible(modules): 547 m².
- Sélection du module PV:** Disponibles, Filtre: Tous les modules PV, Amso Solar, 340 Wp 28V Si-mono M340 Wp 120 cells Depuis 2020, Modules nécessaires approx.: 324.
- Sélection de l'onduleur:** Disponibles, Tension de sortie 400 V Tri 50Hz, 110 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz Aotai ASP-110KTLC AOTAI, Nbre d'onduleurs: 1, Tension de fonctionnement: 200-1000 V, Puissance globale ond.: 110 kWac, Tension entrée maximale: 1100 V.
- Dimensionnement du champ:** Nombre de modules et chaînes: Mod. en série: 18, Nbr. chaînes: 18, Nbre modules: 324, Surface: 547 m². Cond. de fonctionnement: Vmpp (60°C): 525 V, Vmpp (20°C): 614 V, Vco (-10°C): 800 V, Irradiance plan: 1000 W/m², Puiss. max. en fonctionnement: 113 kW, Puiss. nom. champ (STC): 110 kWc.

Figure III.15 : Dimensionnement de module et onduleur.

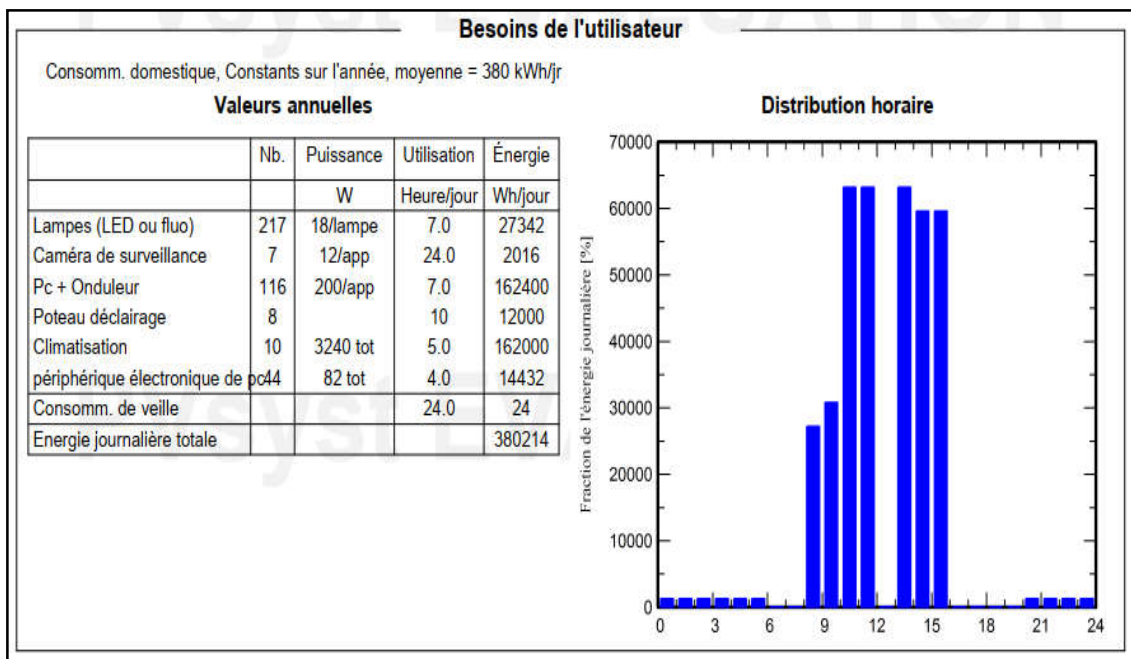
### III.6.3 Rapport de simulation

Après la simulation par le PVSYST on obtient un rapport voir les figure suivant :

- Pour la simulation de système autonome avec stockage :



**Figure III.16 :** Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système autonome.



**Figure III.17 :** Besoins de l'utilisation pour le système autonome avec stockage.

Paramètres généraux								
Système isolé		Système isolé avec batteries						
Orientation plan capteurs		Configuration des sheds						
Orientation		Pas de scène 3D						
Plan fixe		Modèles utilisés						
Inclinaison/Azmut 44 / 0°		Transposition Perez						
		Difus Perez, Meteorom						
		Circumsolaire séparément						
Besoins de l'utilisateur								
Consomm. domestique								
Constants sur l'année								
Moyenne 380 kWh/Jour								
Caractéristiques du champ de capteurs								
Module PV		Batterie						
Fabricant Generic		Fabricant Generic						
Modèle M345 Wp 72 cells		Modèle PVX-2580L						
(Base de données PVsyst originale)								
Puissance unitaire 345 Wc		Technologie Pb-acide, scellée, AGM						
Nombre de modules PV 324 unités		Nombre d'unités 32 en parallèle x 8 en série						
Nominale (STC) 112 kWc		Décharge : min. SOC 20.0 %						
Modules 108 Chaines x 3 En série		Energie stockée 587.4 kWh						
Aux cond. de fonct. (60°C)		Caractéristiques du banc de batteries						
Pmpp 101 kWc		Tension 96 V						
U mpp 104 V		Capacité nominale 7648 Ah (C10)						
I mpp 971 A		Température Fixée 20 °C						
Régulateur		Seuils de régulation batterie						
Régulateur universel		Seuils de commande selon Calcul SOC						
Technologie Convertisseur DC-DC		Charge SOC = 0.90 / 0.75						
Coeff. de temp. -5.0 mW/C/Elem.		environ 107.2 / 99.1 V						
Convertisseur		Décharge SOC = 0.20 / 0.45						
Efficacité max et EURO 97.0 / 95.0 %		environ 92.3 / 96.5 V						
Tension d'entrée DC 0.0 V								
Puissance PV totale								
Nominale (STC) 112 kWc								
Total 324 modules								
Surface modules 629 m²								
Surface cellule 569 m²								
Pertes champ								
Fact. de pertes thermiques		Pertes câblage DC						
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ 1.8 mΩ						
Uc (const) 20.0 W/m²K		Frac. pertes 1.5 % aux STC						
Uv (vent) 0.0 W/m²Km/s		Perte diode série						
		Chute de tension 0.7 V						
		Frac. pertes 0.6 % aux STC						
Perte de qualité module		Pertes de mismatch modules						
Frac. pertes -0.8 %		Frac. pertes (Tension fixe) 2.5 %						
		Perte de "mismatch" strings						
		Frac. pertes 0.1 %						
Facteur de perte IAM								
Effet d'Incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AIR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figure III.18 : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage.

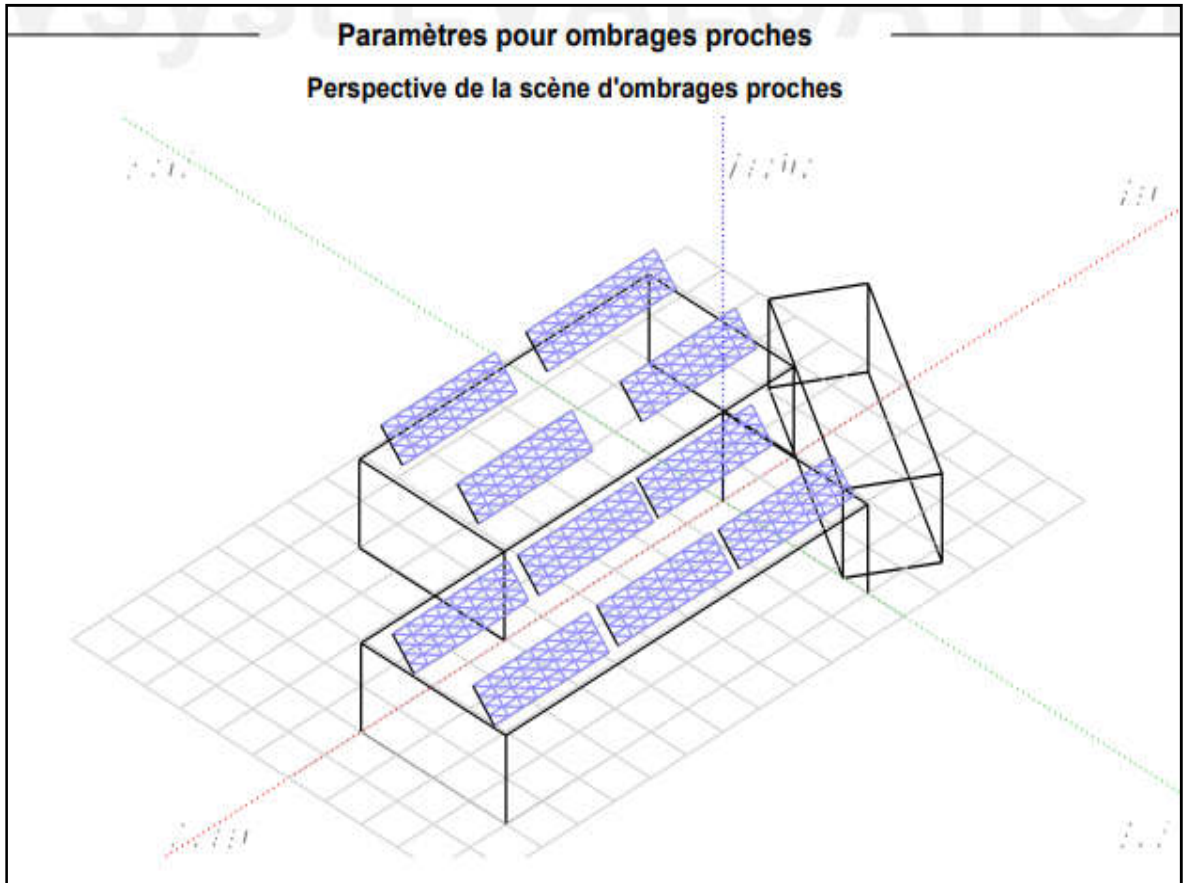
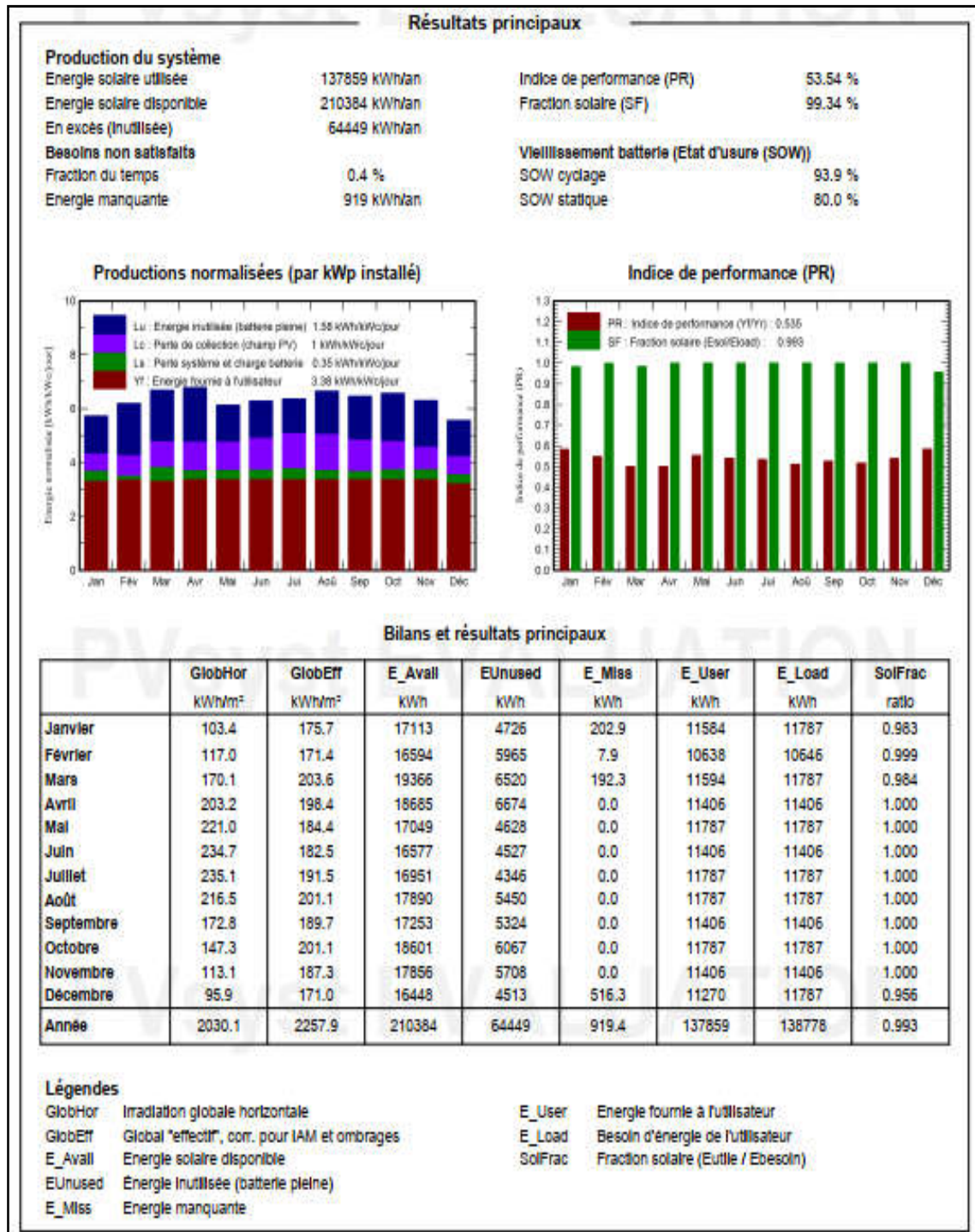


Figure III.19 : Simulation 3D pour le système autonome avec stockage de la bibliothèque.



**Figure III.20** : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage de la bibliothèque.

Selon les données présentées dans le tableau de la **figure III.20**, il est clair que l'énergie générée par le panneau photovoltaïque est directement proportionnelle à l'énergie incidente. De plus, il est constaté que les besoins énergétiques de la bibliothèque sont satisfaits tout au long de l'année.

- L'énergie solaire disponible est estimée à 210384 kWh/an.
- L'énergie solaire utilisée est 137859 kWh/an.
- L'excès d'énergie est estimé à 64449 kWh/an.

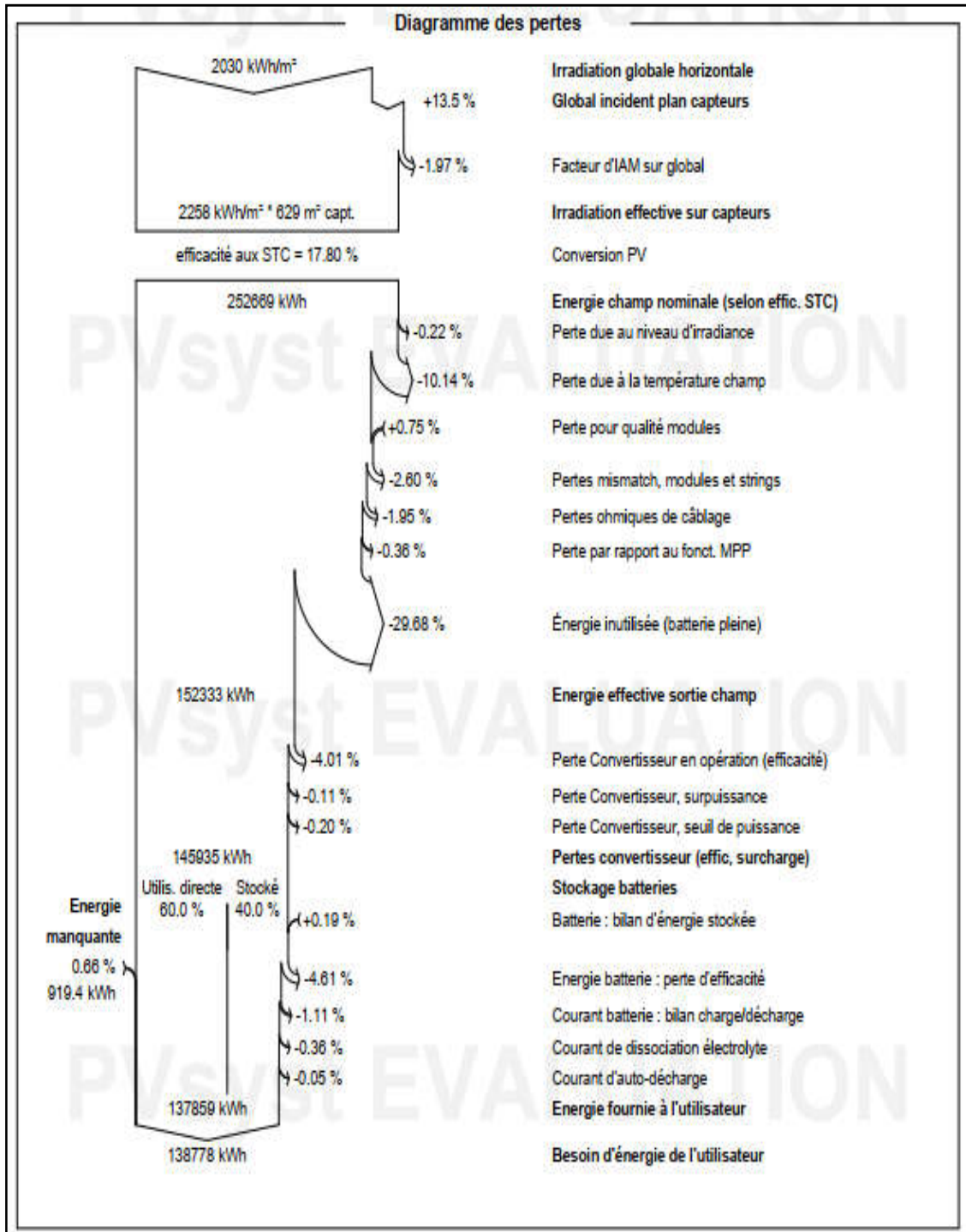


Figure III.21 : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage de la bibliothèque.

En observant la **figure III.21**, on peut constater que les pertes d'énergie dans le système photovoltaïque sont considérables, comme le résume le diagramme présenté.

Cette justification repose sur le constat que le système photovoltaïque est sujet à divers facteurs de dégradation, lesquels sont évalués à l'aide de facteurs de pertes, comme illustré dans la **figure III.21** :

- Pertes champs (Température, qualité des modules, résistance,... etc).
- Pertes convertisseurs globales.
- Pertes système de stockage.
- Le besoin d'utilisation : charge avec système de stockage.

D'après l'examen du graphique des pertes sur l'ensemble de l'année, il est évident que l'irradiation globale incidente n'est pas entièrement exploitée en raison des facteurs et des pertes intervenant à différents stades du système. En conséquence, le total d'énergie obtenu s'élève à 138778 kWh.

- **Pour la simulation de système raccordé au réseau :**

Résumé du projet			
<b>Site géographique</b>	<b>Situation</b>	<b>Paramètres du projet</b>	
Centre universitaire de NAAMA	Latitude 33.50 °N	Albédo	0.20
Algérie	Longitude -0.33 °W		
	Altitude 1174 m		
	Fus. horaire UTC+1		
<b>Données météo</b>			
Naama			
Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100 % - Synthétique			
Résumé du système			
<b>Système couplé au réseau</b>	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>		
<b>Orientation plan capteurs</b>	<b>Ombrages proches</b>	<b>Besoins de l'utilisateur</b>	
Plan fixe	Sans ombrages	Charge illimitée (réseau)	
Inclinaison/Azimut 44 / 0 °			
<b>Information système</b>			
<b>Champ PV</b>			
Nb. de modules	324 unités	<b>Onduleurs</b>	1 unité
Pnom total	110 kWc	Pnom total	110 kWac
		Rapport Pnom	1.001
Résumé des résultats			
Energie produite	217318 kWh/an	Productible	1973 kWh/kWc/an
		Indice perf. PR	85.65 %

**Figure III.22** : Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système raccordé au réseau de la bibliothèque.

**Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire  
SALHI Ahmed - Naâma**

Paramètres généraux			
Système couplé au réseau		Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs		Configuration des sheds	
Orientation		Pas de scène 3D	
Plan fixe		Modèles utilisés	
Inclinaison/Azimut	44 / 0 °	Transposition	Perez
		Diffus	Perez, Meteorom
		Circumsolaire	séparément
Horizon		Ombrages proches	
Pas d'horizon		Sans ombrages	
		Besoins de l'utilisateur	
		Charge illimitée (réseau)	

Caractéristiques du champ de capteurs			
<b>Module PV</b>		<b>Onduleur</b>	
Fabricant	Generic	Fabricant	Generic
Modèle	M340 Wp 120 cells	Modèle	Aotai_ASP-110KTLC
(Base de données PVsyst originale)		(Base de données PVsyst originale)	
Puissance unitaire	340 Wc	Puissance unitaire	110 kWac
Nombre de modules PV	324 unités	Nombre d'onduleurs	1 unité
Nominale (STC)	110 kWc	Puissance totale	110 kWac
Modules	18 Chaînes x 18 En série	Tension de fonctionnement	200-1000 V
Aux cond. de fonct. (50°C)		Rapport Pnom (DC:AC)	1.00
Pmpp	100 kWc		
U mpp	548 V		
I mpp	183 A		
<b>Puissance PV totale</b>		<b>Puissance totale onduleur</b>	
Nominale (STC)	110 kWc	Puissance totale	110 kWac
Total	324 modules	Nombre d'onduleurs	1 unité
Surface modules	547 m <sup>2</sup>	Rapport Pnom	1.00
Surface cellule	486 m <sup>2</sup>		

Pertes champ								
<b>Fact. de pertes thermiques</b>		<b>Pertes câblage DC</b>		<b>Perte de qualité module</b>				
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ	49 mΩ	Frac. pertes	-0.8 %			
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. pertes	1.5 % aux STC					
Uv (vent)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s							
<b>Pertes de mismatch modules</b>		<b>Perte de "mismatch" strings</b>						
Frac. pertes	2.0 % au MPP	Frac. pertes	0.1 %					
<b>Facteur de perte IAM</b>								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

**Figure III.23** : Paramètres de simulation pour le système raccordé au réseau de la bibliothèque.

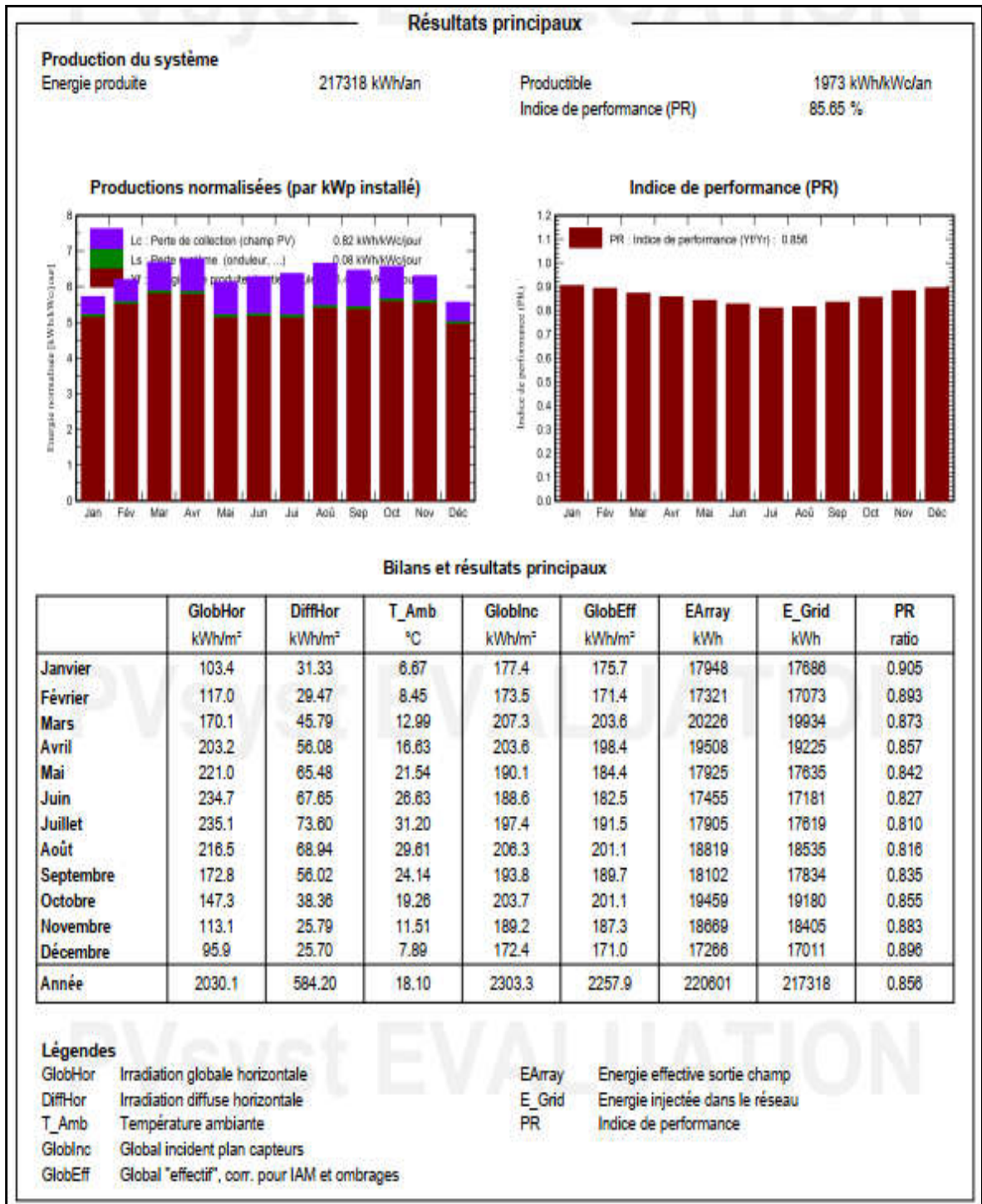


Figure III.24 : Analyse énergétique pour le système raccordé au réseau de la bibliothèque.

D'après le Figure III.24 :

- **l'indice de performance PR ou Performance Ratio** : Ce coefficient, exprimé en pourcentage, est utilisé pour évaluer l'efficacité d'un système photovoltaïque de manière indépendante de celle des panneaux solaires. Dans notre situation, le PR s'élève à 85,65%.

- **Productible** : Le terme "productible" nous offre la possibilité de comparer des centrales situées à la même latitude. Il représente le rapport entre l'énergie produite chaque année et la puissance maximale du système, et son unité est exprimée en "heures crêtes" de fonctionnement. Dans notre cas, le productible est égale à 1973 kWh/kWc/an.
- **Énergie produite** : Le chiffre principal suscitant l'intérêt de l'investisseur et de l'exploitant de la future centrale est essentiel. Cependant, il est important d'analyser cette valeur absolue en tenant compte des composants installés afin d'évaluer une sorte de rapport entre le prix et la qualité. Dans notre cas, l'énergie produite est égale à 217318 kWh/an.

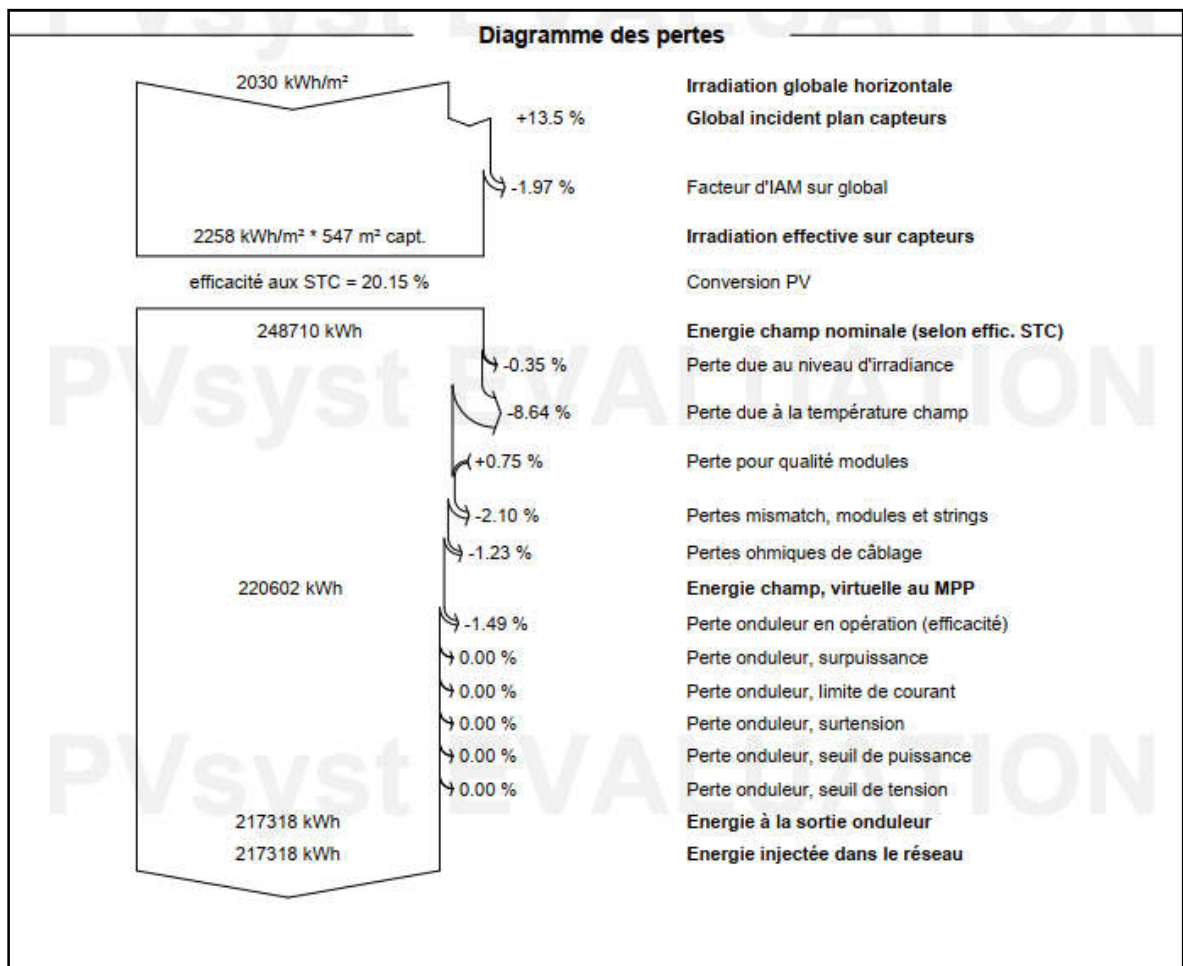


Figure III.25 : Diagramme de perte dans le système raccordé au réseau de la bibliothèque.

## Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire SALHI Ahmed - Naâma

Le tableau ci-dessous présente une comparaison de nos résultats avec ceux obtenus par le logiciel PVsyst, pour les deux systèmes considérés.

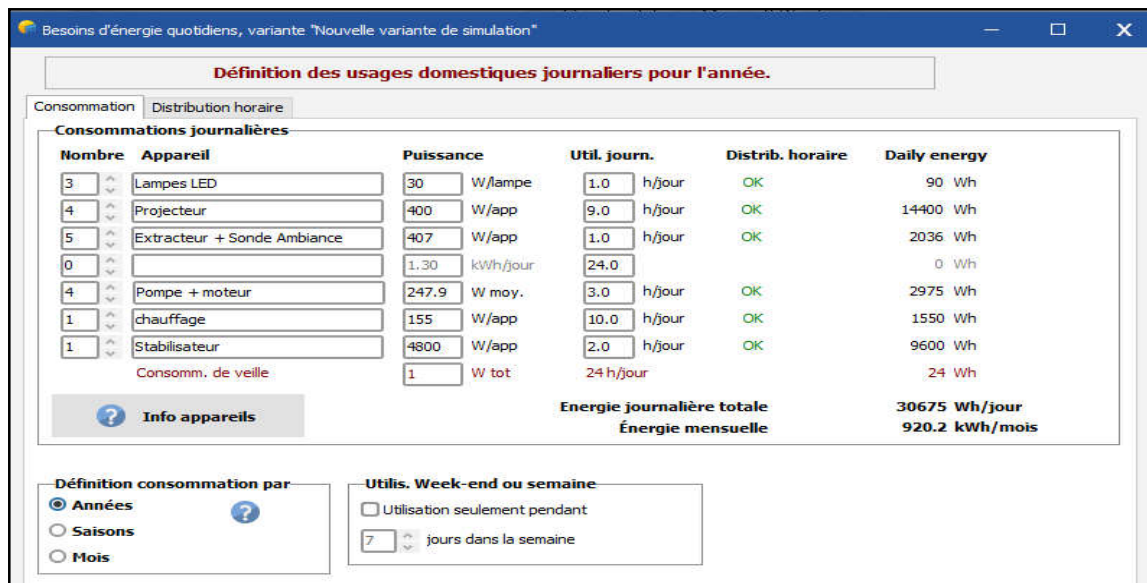
**Tableau III.20 :** Comparaison entre le calcul et PVsyst dans le cas de la bibliothèque.

Eléments		Par calcul		Par PVsyst	
La dimension du champ panneaux		En série	En parallèle	En série	En parallèle
		3	107	3	108
		321		324	
La dimension du parc de batteries		En série	En parallèle	En série	En parallèle
		8	32	8	32
		256		256	
La dimension du régulateur	Courant	1300 A		932 A	
	Tension	173.85 V		167 V	
La dimension de l'onduleur	Puissance	110.745 KW		110 KW	
	Tension	927.2 V		200-1000 V	

### III.7 Résultats de simulation pour la serre

#### III.7.1 Besoins électriques

La figure III.26 montre les besoins de la serre par le PVSYST :



**Figure III.26 :** Besoins de la serre.

#### III.7.2 Simulation des équipements énergétiques

##### III.7.2.1 Système autonome

- **Batterie :**

Nous avons sélectionné pour notre système une batterie de modèle PVX-2580L fabriquée par Concorde. Cette batterie est de type Pb-acide 12V/296Ah et a été testée à une température constante de 20°C.

**Figure III.27 :** Dimensionnement des batteries pour le système autonome avec stockage de la serre.

- **Modules et régulateur :**

Le module solaire que nous avons choisi pour notre système est le modèle M345 Wp 72 cellules fabriqué par Amso Solar. Ce module utilise une technologie monocristalline et a une puissance crête de 345 Wc, ce qui en fait un choix idéal pour notre application.

Nous avons opté pour un régulateur MPPT d'une capacité de 1000 W, qui est spécifiquement conçu pour fonctionner avec une tension d'entrée DC de 48 V et une tension de champ maximum de 111 V. Ce régulateur est également capable de délivrer un courant de sortie allant jusqu'à 150 A.

**Figure III.28 :** Dimensionnement de module et régulateur pour le système autonome avec stockage de la serre.

### III.7.2.2 Système raccordé au réseau

- **Modules et onduleur :**

Nous avons décidé d'opter pour le module solaire M340 Wp 120 cells de la marque Amso Solar, car il convient parfaitement à notre système. Ce module utilise la technologie monocristalline et possède une puissance crête de 340 Wc.

Notre choix s'est porté sur l'onduleur Aotai ASP-7KTLD fabriqué par AOTAI, qui a une capacité de 7 kW et une tension d'entrée DC maximale absolue de 580 V. Cet onduleur est également équipé d'une plage d'entrée MPPT allant de 80 à 550 V et dispose d'une seule paire d'entrées DC.

The screenshot shows a software interface for PV system design, divided into several sections:

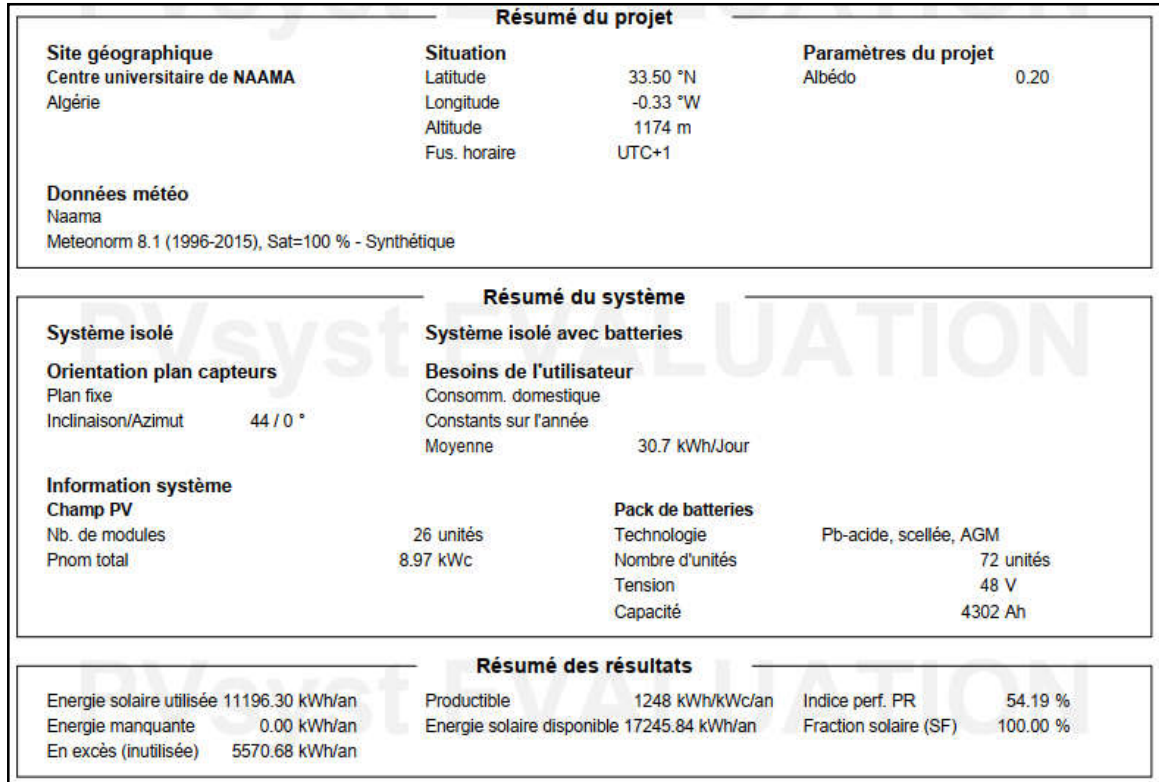
- Sous-champ (Sub-field):**
  - Nom et orientation du sous-champ:** Nom: Champ PV, Orient.: Plan incliné fixe, Inclinaison: 44°, Azimut: 0°.
  - Aide au dimensionnement:** Entrez Pnom désirée: 8.0 kWc, ou surface disponible(modules): 50 m².
- Sélection du module PV:**
  - Disponibles: Amso Solar, 345 Wp 33V, Si-mono, M345 Wp 72 cells, Depuis 2017, Manufactureur 2020.
  - Modules nécessaires approx.: 23.
  - Dimens. des tensions: Vmpp (60°C): 33.0 V, Vco (-10°C): 53.0 V.
- Sélection de l'onduleur:**
  - Disponibles: AOTAI, 7.0 kW, 80 - 550 V, TL, 50/60 Hz, Aotai ASP-7KTLD, Depuis 2017.
  - Nbre d'onduleurs: 1.
  - Tension de sortie: 230 V Mono 50Hz.
  - Tension de fonctionnement: 80-550 V, Puissance globale ond.: 7.0 kWac.
  - Tension entrée maximale: 580 V.
- Dimensionnement du champ:**
  - Nombre de modules et chaînes:** Mod. en série: 7, Nb. chaînes: 3, seule possibilité 3.
  - Cond. de fonctionnement:** Vmpp (60°C): 231 V, Vmpp (20°C): 274 V, Vco (-10°C): 371 V.
  - Performance:** Perte surpuissance: 0.0 %, Rapport Pnom: 1.03.
  - Données de référence:** Irradiance plan: 1000 W/m², Impp (STC): 26.6 A, Isc (STC): 28.9 A, Isc (aux STC): 28.9 A.
  - Puissance:** Puiss. max. en fonctionnement (à 1124 W/m² et 50°C): 7.3 kW, Puiss. nom. champ (STC): 7.2 kWc.
  - Résumé:** Nbre modules: 21, Surface: 41 m².

**Figure III.29 : Dimensionnement de module et onduleur pour la serre.**

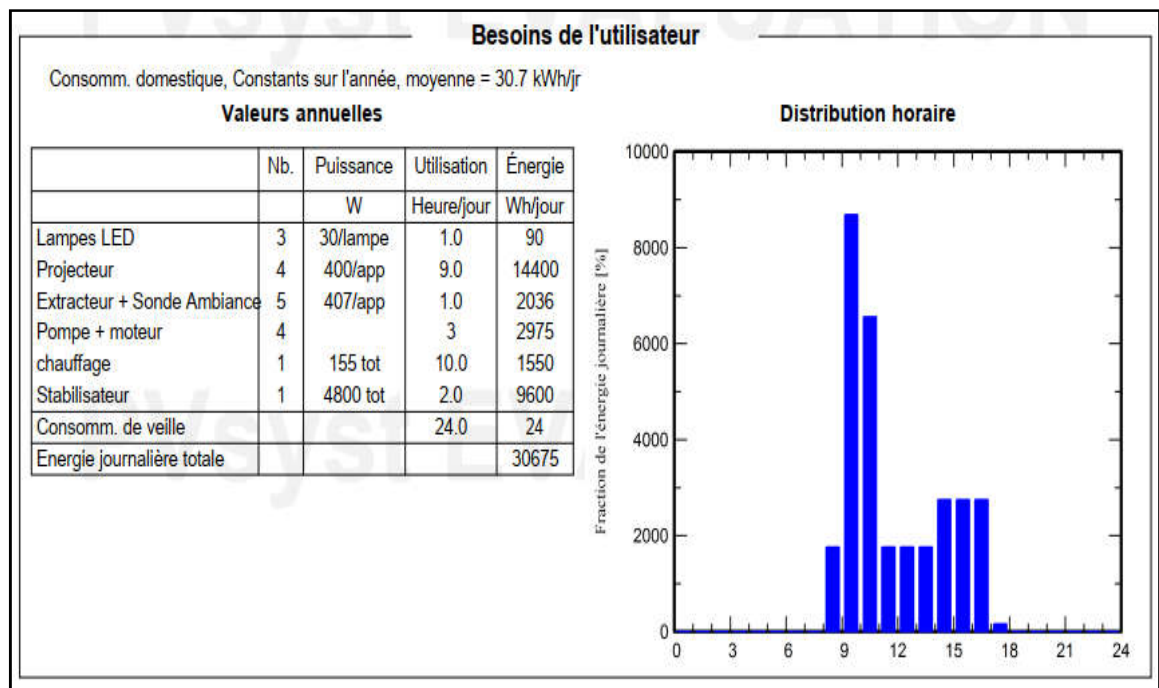
### III.7.3 Rapport de simulation

Après la simulation par le PVSYST on obtient un rapport voir les figure suivant :

- Pour la simulation de système autonome avec stockage :



**Figure III.30** : Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système autonome de la serre.



**Figure III.31** : Besoins de la serre.

Paramètres généraux								
Système isolé		Système isolé avec batteries						
<b>Orientation plan capteurs</b>								
Orientation		Configuration des sheds						
Plan fixe		Pas de scène 3D						
Inclinaison/Azîmut		Modèles utilisés						
44 / 0°		Transposition Perez						
		Diffus Perez, Meteorom						
		Circumsolaire séparement						
<b>Besoins de l'utilisateur</b>								
Consomm. domestique								
Constants sur l'année								
Moyenne		30.7 kWh/Jour						
Caractéristiques du champ de capteurs								
<b>Module PV</b>		<b>Batterie</b>						
Fabricant	Generic	Fabricant	Generic					
Modèle	M345 Wp 72 cells	Modèle	PVX-2580L					
(Base de données PVsyst originale)								
Puissance unitaire	345 Wc	Technologie	Pb-acide, scellée, AGM					
Nombre de modules PV	26 unités	Nombre d'unités	18 en parallèle x 4 en série					
Nominale (STC)	8.97 kWc	Décharge : min. SOC	20.0 %					
Modules	13 chaînes x 2 En série	Energie stockée	165.2 kWh					
<b>Caractéristiques du banc de batteries</b>								
Aux cond. de fonct. (60°C)		Tension	48 V					
Pmpp	8.08 kWc	Capacité nominale	4302 Ah (C10)					
U mpp	69 V	Température	Fixée 20 °C					
I mpp	117 A							
<b>Régulateur</b>		<b>Seuils de régulation batterie</b>						
Régulateur universel		Seuils de commande selon						
Technologie		Calcul SOC						
Convertisseur		Charge						
Coeff. de temp.		environ						
Convertisseur		Décharge						
Efficacité maxi et EURO		environ						
97.0 / 95.0 %		SOC = 0.90 / 0.75						
		52.2 / 49.5 V						
		SOC = 0.20 / 0.45						
		46.4 / 48.3 V						
<b>Puissance PV totale</b>								
Nominale (STC)		9 kWc						
Total		26 modules						
Surface modules		50.4 m <sup>2</sup>						
Surface cellule		45.7 m <sup>2</sup>						
Pertes champ								
<b>Fact. de pertes thermiques</b>		<b>Pertes câblage DC</b>						
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ						
Uc (const)		Frac. pertes						
20.0 W/m <sup>2</sup> K		9.8 mΩ						
Uv (vent)		Frac. pertes						
0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s		1.5 % aux STC						
		Perte diode série						
		Chute de tension						
		Frac. pertes						
		0.7 V						
		0.9 % aux STC						
<b>Perte de qualité module</b>		<b>Pertes de mismatch modules</b>						
Frac. pertes		Frac. pertes						
-0.8 %		0.6 % au MPP						
		Perte de "mismatch" strings						
		Frac. pertes						
		0.1 %						
<b>Facteur de perte IAM</b>								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AIR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figure III.32 : Paramètres de simulation pour le système autonome avec stockage de la serre.

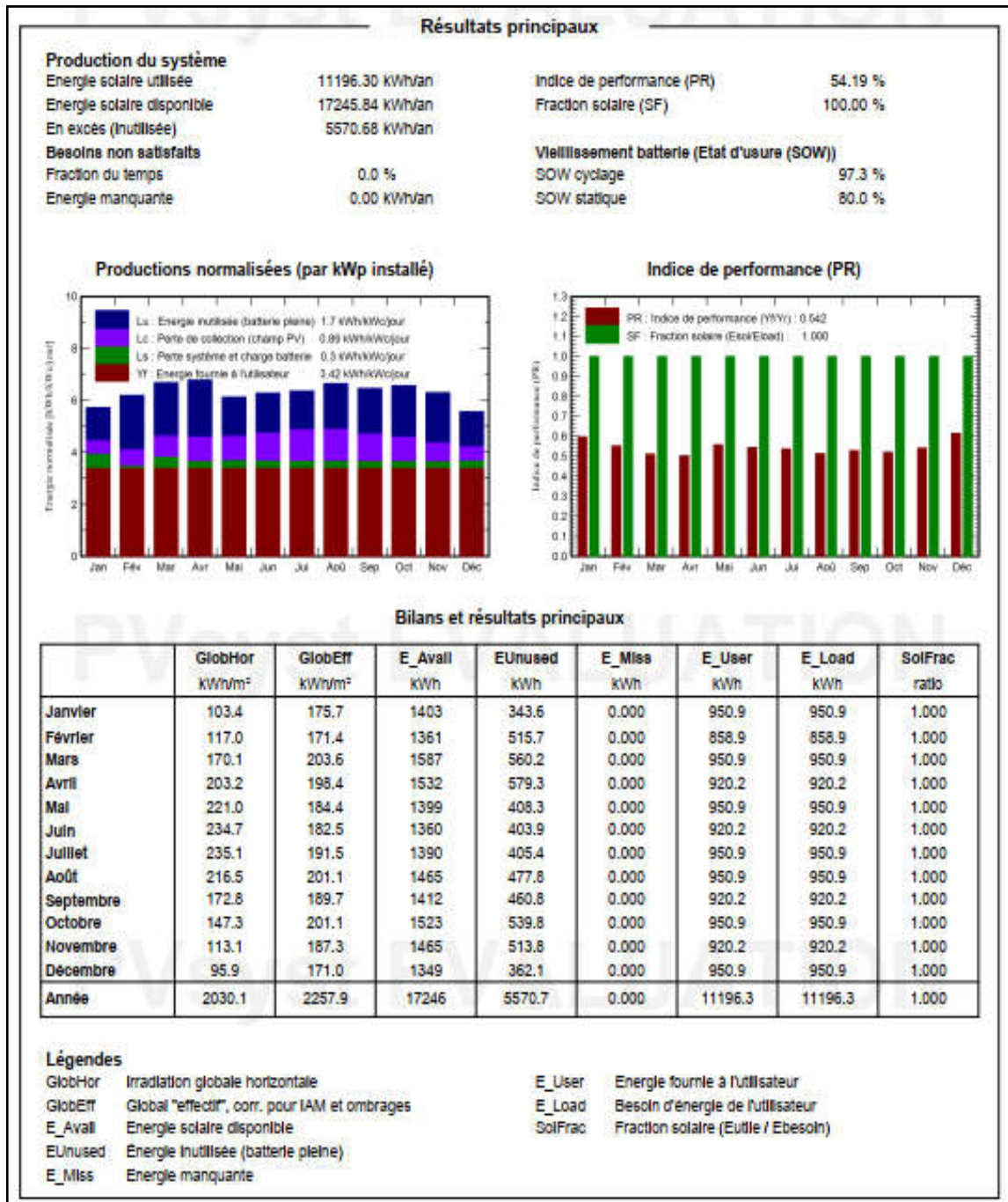


Figure III.33 : Analyse énergétique pour le système autonome avec stockage de la serre.

En examinant les résultats présentés dans le tableau de la figure III.33, il est clair que l'énergie générée par le panneau photovoltaïque est directement proportionnelle à l'énergie incidente. De plus, il est évident que les besoins énergétiques de la serre sont entièrement satisfaits tout au long de l'année.

- L'énergie solaire disponible est estimée à 17245,84 kWh/an.
- L'énergie solaire utilisée est 11196,30 kWh/an.

➤ L'excès d'énergie est estimé à 5570,68 kWh/an.

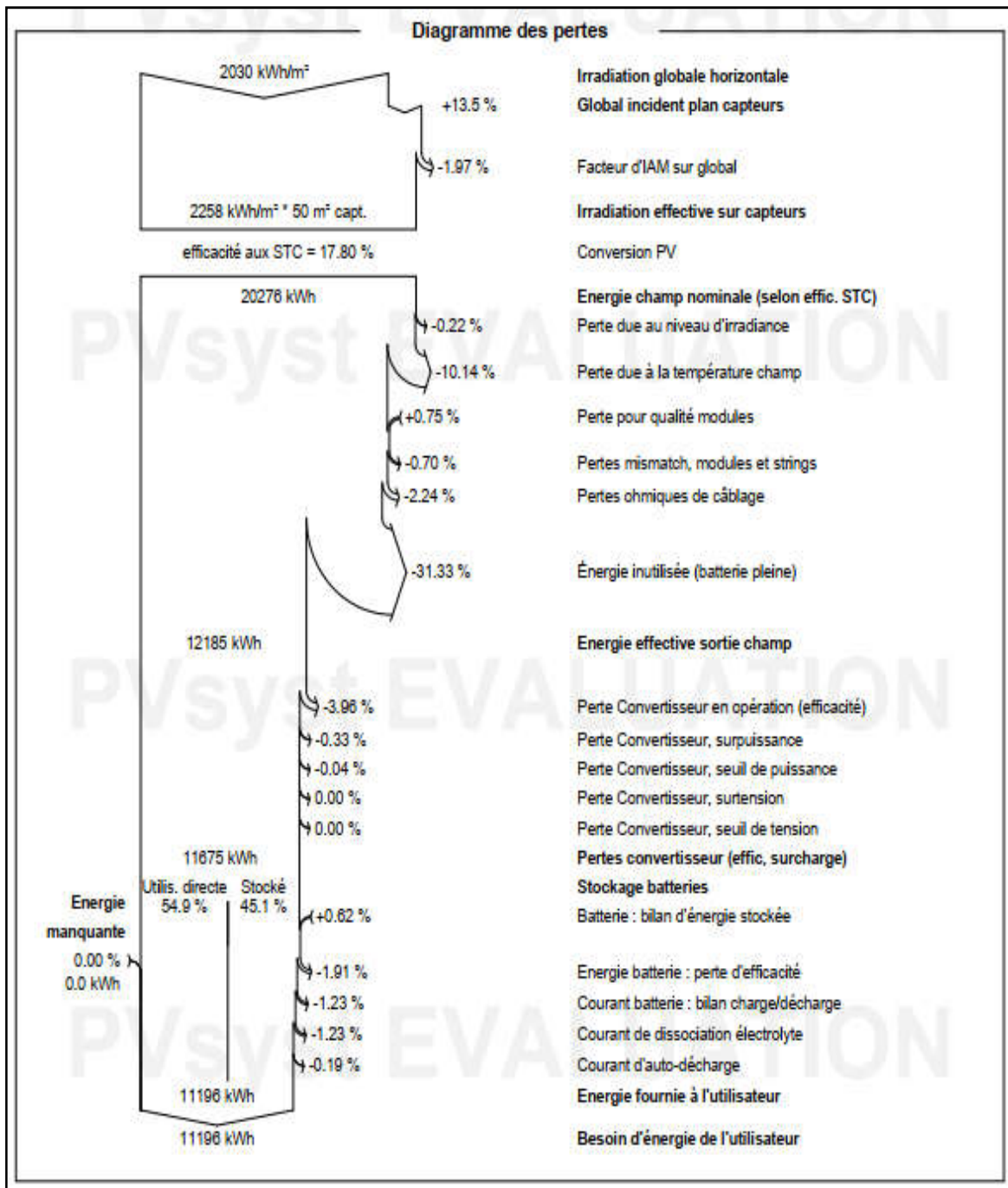


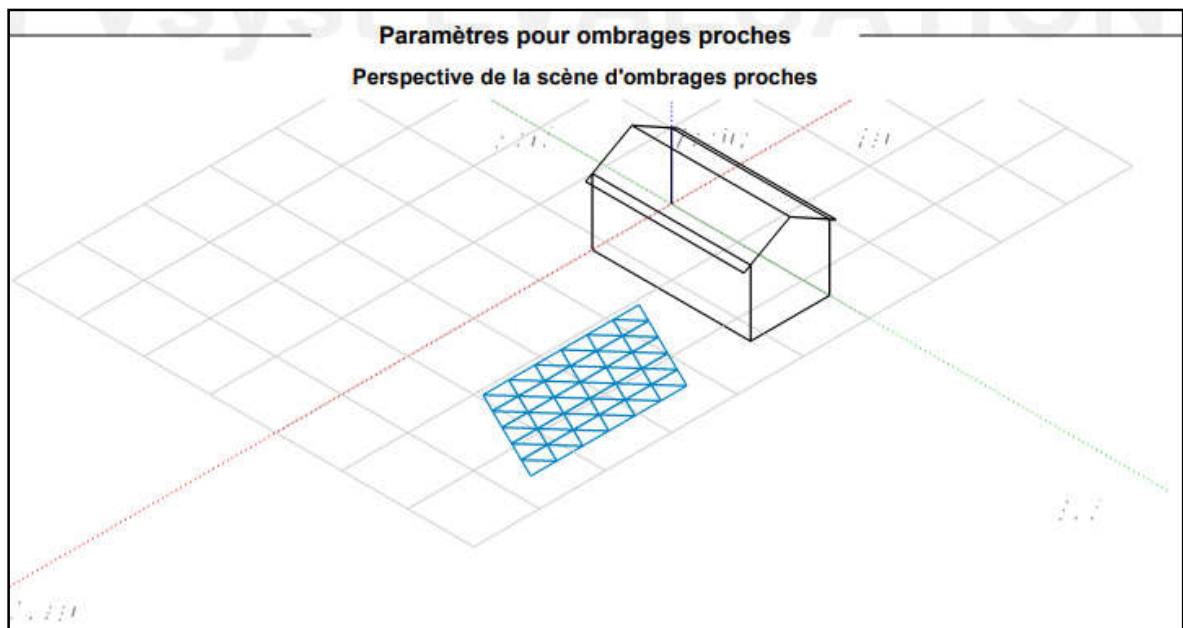
Figure III.34 : Diagramme de perte dans le système autonome avec stockage de la serre.

D'après l'examen du diagramme des pertes pour l'ensemble de l'année (Figure III.34), il est évident que l'irradiation globale incidente n'est pas entièrement utilisable en raison des divers facteurs et pertes qui se produisent à différentes étapes du système. En conséquence, la quantité totale d'énergie exploitée s'élève à 11196 kWh.

- Pour la simulation de système raccordé au réseau :

Résumé du projet			
<b>Site géographique</b>	<b>Situation</b>	<b>Paramètres du projet</b>	
Centre universitaire de NAAMA	Latitude	33.50 °N	Albédo
Algérie	Longitude	-0.33 °W	0.20
	Altitude	1174 m	
	Fus. horaire	UTC+1	
<b>Données météo</b>			
Naama			
Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100 % - Synthétique			
Résumé du système			
<b>Système couplé au réseau</b>	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>		
<b>Orientation plan capteurs</b>	<b>Ombrages proches</b>		<b>Besoins de l'utilisateur</b>
Plan fixe	Sans ombrages		Charge illimitée (réseau)
Inclinaison/Azimut	44 / 0 °		
<b>Information système</b>			
<b>Champ PV</b>			
Nb. de modules	21 unités	<b>Onduleurs</b>	1 unité
Pnom total	7.25 kWc	Nombre d'unités	
		Pnom total	7.00 kWac
		Rapport Pnom	1.035
Résumé des résultats			
Energie produite	14001.42 kWh/an	Productible	1933 kWh/kWc/an
		Indice perf. PR	83.90 %

**Figure III.35 :** Le résumé du projet, du système et des résultats pour le système raccordé au réseau de la serre.



**Figure III.36 :** Simulation 3D pour le système autonome avec stockage de la serre.

**Chapitre III Application : la bibliothèque et la serre du centre universitaire  
SALHI Ahmed - Naâma**

Paramètres généraux			
<b>Système couplé au réseau</b>		Pas de scène 3D, pas d'ombres	
<b>Orientation plan capteurs</b>			
<b>Orientation</b>		<b>Configuration des sheds</b>	<b>Modèles utilisés</b>
Plan fixe		Pas de scène 3D	Transposition Perez
Inclinaison/Azimet	44 / 0 °		Diffus Perez, Meteorom Circumsolaire séparément
<b>Horizon</b>		<b>Ombres proches</b>	<b>Besoins de l'utilisateur</b>
Pas d'horizon		Sans ombres	Charge illimitée (réseau)

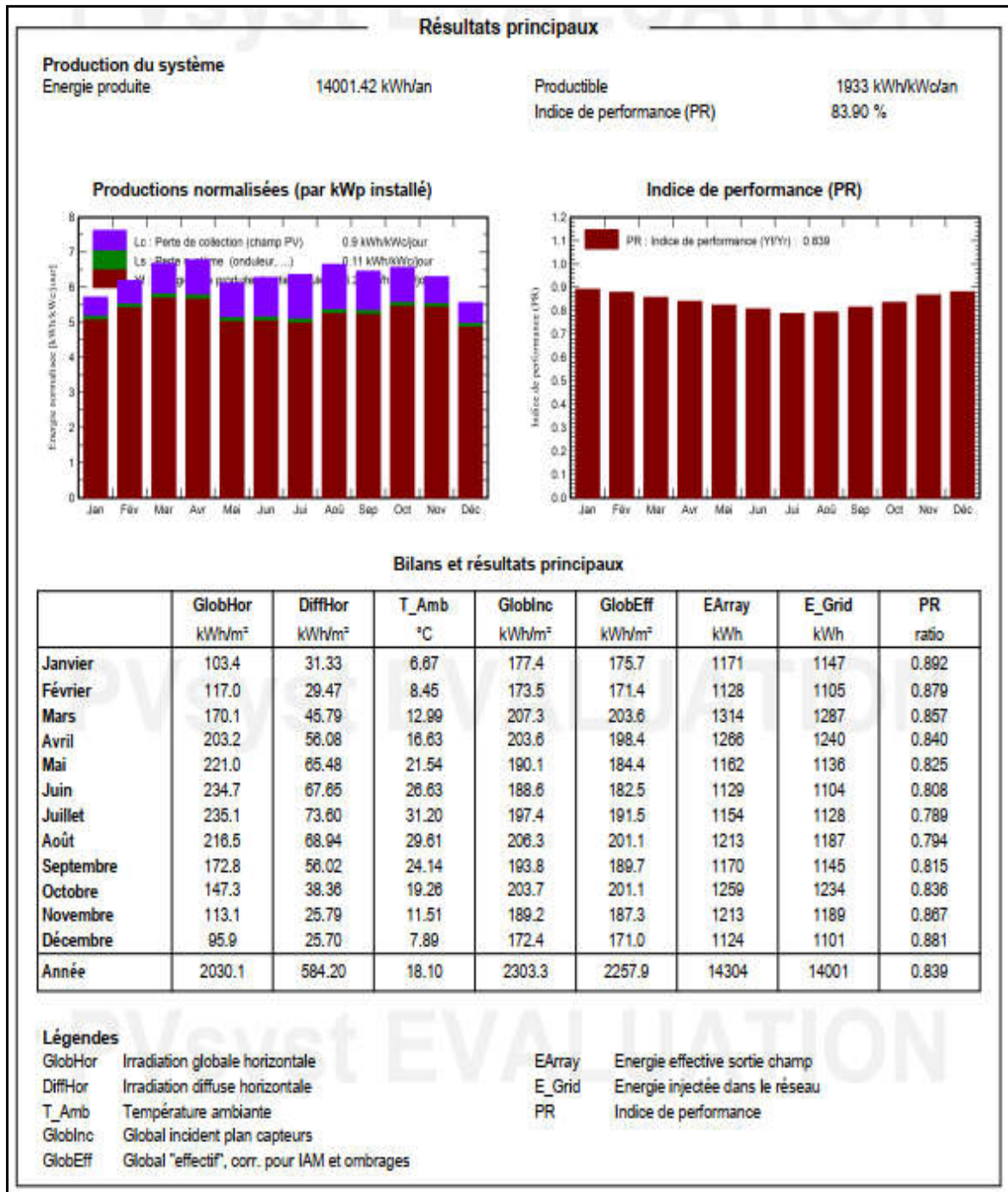
  

Caractéristiques du champ de capteurs			
<b>Module PV</b>		<b>Onduleur</b>	
Fabricant	Generic	Fabricant	Generic
Modèle	M345 Wp 72 cells	Modèle	Aotaj ASP-7KTLD
(Base de données PVsyst originale)		(Base de données PVsyst originale)	
Puissance unitaire	345 Wc	Puissance unitaire	7.00 kWac
Nombre de modules PV	21 unités	Nombre d'onduleurs	1 unité
Nominale (STC)	7.25 kWc	Puissance totale	7.0 kWac
Modules	3 Chaînes x 7 En série	Tension de fonctionnement	80-550 V
Aux cond. de fonct. (50°C)		Rapport Pnom (DC:AC)	1.03
Pmpp	6.53 kWc		
U mpp	242 V		
I mpp	27 A		
<b>Puissance PV totale</b>		<b>Puissance totale onduleur</b>	
Nominale (STC)	7 kWc	Puissance totale	7 kWac
Total	21 modules	Nombre d'onduleurs	1 unité
Surface modules	40.7 m <sup>2</sup>	Rapport Pnom	1.03
Surface cellule	36.9 m <sup>2</sup>		

Pertes champ								
<b>Fact. de pertes thermiques</b>		<b>Pertes câblage DC</b>		<b>Perte de qualité module</b>				
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ	149 mΩ	Frac. pertes -0.8 %				
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. pertes	1.5 % aux STC					
Uv (vent)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s							
<b>Pertes de mismatch modules</b>		<b>Perte de "mismatch" strings</b>						
Frac. pertes	2.0 % au MPP	Frac. pertes	0.1 %					
<b>Facteur de perte IAM</b>								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

**Figure III.37 :** Paramètres de simulation pour le système raccordé au réseau de la serre.



**Figure III.38 :** Analyse énergétique pour le système raccordé au réseau de la serre.

D'après la **Figure III.38 :**

- L'indice de performance PR atteint 83.90%.
- Le productible est égal à 1933 kWh/kWc/an.
- L'énergie produite est égale à 14001.42 kWh/an.

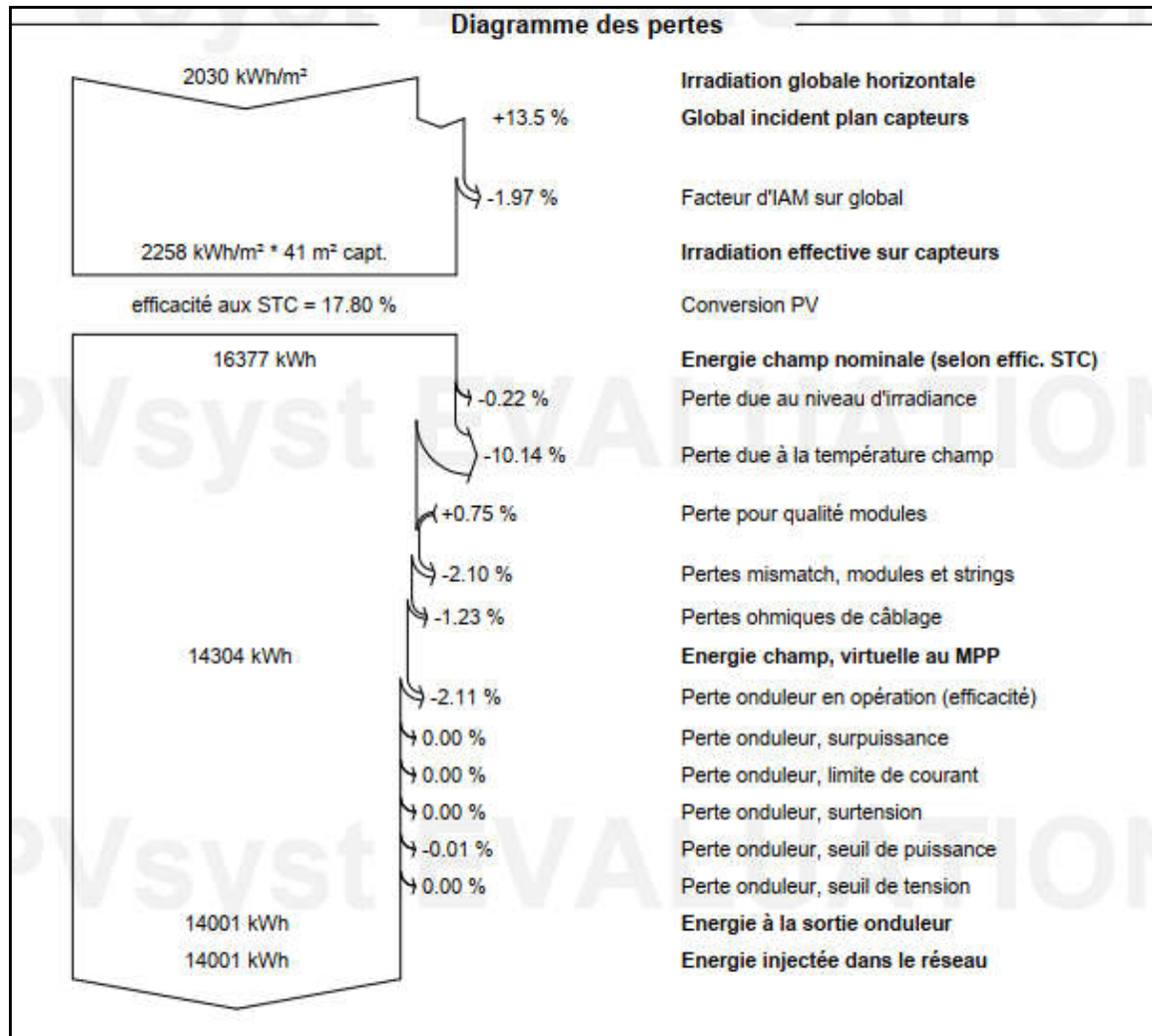


Figure III.39 : Diagramme de perte dans le système raccordé au réseau de la serre.

Le tableau ci-dessous présente une comparaison de nos résultats avec ceux obtenus par le logiciel PVsyst, pour les deux systèmes considérés.

Tableau III.21 : Comparaison entre le calcul et PVsyst dans le cas de la serre.

Eléments		Par calcul		Par PVsyst	
La dimension du champ panneaux		En série	En parallèle	En série	En parallèle
		2	13	2	13
		26		26	
La dimension du parc de batteries		En série	En parallèle	En série	En parallèle
		4	18	4	18
		72		72	
La dimension du régulateur	Courant	157.95 A		150 A	
	Tension	115.9 V		111 V	
La dimension de l'onduleur	Puissance	8.97 KW		7.8 KW	
	Tension	927.2 V		80-550 V	

### **III.8 Conclusion**

Ce chapitre est principalement consacré au dimensionnement requis pour l'installation de la bibliothèque et de la serre. Les valeurs d'irradiation solaire ont été obtenues à partir du logiciel PVGIS. Nous avons également effectué une comparaison des résultats de dimensionnement avec le logiciel PVSyst.



# Conclusion générale



## Conclusion générale

---

Ce mémoire s'intéresse à l'une des applications les plus récentes et prometteuses des énergies renouvelables: l'énergie solaire photovoltaïque. L'utilisation de panneaux solaires photovoltaïques connaît un essor considérable ces dernières années, portée par les enjeux environnementaux et économiques de la transition énergétique. Ce mémoire étudie les possibilités offertes par le solaire photovoltaïque pour la production d'électricité décentralisée, ainsi que les technologies et solutions technico-économiques permettant de valoriser au mieux ce potentiel. Le solaire photovoltaïque représente une voie d'avenir pour développer des systèmes énergétiques durables, distribués et accessibles.

Tout d'abord, nous avons introduit les systèmes photovoltaïques en mettant l'accent sur leurs caractéristiques principales et les composants majeurs qui les constituent. Par la suite, nous avons exposé les divers paramètres et équations nécessaires pour dimensionner une installation photovoltaïque spécifique à un site donné. En dernier lieu, nous avons procédé à une estimation du générateur photovoltaïque en tenant compte du profil de consommation et du potentiel énergétique du site. Pour mettre en œuvre cette méthode, nous avons utilisé le logiciel PVSYST, qui s'est avéré efficace pour sélectionner les éléments appropriés de notre installation.

Les résultats de la conception des installations photovoltaïques sont déterminés par des facteurs essentiels tels que l'irradiation solaire, la température ambiante et le profil de consommation, dans le but d'optimiser au maximum les performances des systèmes photovoltaïques. Cette optimisation est l'objectif principal de tout installateur de ces systèmes. L'aspect technique de l'étude a été complété par une évaluation économique et environnementale de l'installation photovoltaïque.

En résumé, l'étude technique et économique du système photovoltaïque a révélé que cette filière représente un investissement intéressant avec un fort potentiel de rentabilité. En plus de permettre des économies d'énergie, l'utilisation de cette technologie peut également générer des revenus supplémentaires grâce à la vente d'électricité produite en excédent. Cette opportunité est particulièrement pertinente pour les pays en voie de développement, où près d'un tiers de la population mondiale n'a pas accès à l'électricité. En adoptant des solutions photovoltaïques, ces pays peuvent ainsi répondre à leurs besoins en électricité de base tout en stimulant leur économie.



# **Bibliographie**



## Bibliographie

- [1] : Anne Labouret , Michel Villoz. (2012). *Installations photovoltaïques - Conception et dimensionnement d'installations raccordées au réseau*. Paris (France): Edition Dunod. 220 p.
- [2] : Royer J., Djiako T., Schiller E. (1998). *Le pompage photovoltaïque : manuel de cour à l'intention des ingénieurs et techniciens* : bibliothèque national de Canada. 281p.
- [3] : Solaire sans frontière. Systèmes photovoltaïque autonome [en ligne]. Disponibles sur : < [www.ssf-asso.org/systemes-pv-autonomes](http://www.ssf-asso.org/systemes-pv-autonomes) > (page consultée le 20/12/2022).
- [4] : Yann Riffonneau. *Gestion des flux énergétique dans un système photovoltaïque avec stockage connecter au réseau-Application a l'habitat*, Thèse doctorat en Energie électrique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2009, 166p.
- [5] : Salim Arab, Dalila Toudert. *Etude d'un Système Photovoltaïque*. MASTER ACADEMIQUE en Réseaux Electriques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017, 73p.
- [6] : Bouharchouche, Abderrezzaq & Bouabdallah, Ahmed & Berkouk, El Madjid & Diaf, Said & Belmili, Hocine. (2014). *Conception et réalisation d'un logiciel de dimensionnement d'un système d'énergie hybride éolien-photovoltaïque*. Revue des Energies Renouvelables. 17. 3-359.
- [7] : Site de l'Energie Facteur 4 (eF4), “ la cellule photovoltaïque” [En ligne]. Disponibles sur : <[www.ef4.be/fr/archives/energies-renouvelables/solaire-photovoltaique/fonctionnement.html](http://www.ef4.be/fr/archives/energies-renouvelables/solaire-photovoltaique/fonctionnement.html)> (page consultée le 20/12/2022).
- [8] : Stéphane Vighetti. *Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion*. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2010, 184p.
- [9] : Amèdedjihunde Hypolite Jordão Hounnou. *Dimensionnement optimal d'un système hybride hydroélectrique-photovoltaïque-stockage pour une alimentation rurale isolée*. Energie électrique. Université Bourgogne Franche-Comté; Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 2019, 192p.

- [10] : C. Zhang, L. Chen, Y. Zhu, and Z. Guan, *Fabrication of 20.19% Efficient SingleCrystalline Silicon Solar Cell with Inverted Pyramid Microstructure*. In *Nanoscale Research Letters*, 2018, vol. 13, no. 1, p. 91.
- [11] : M. Samir. *Contribution à l'optimisation du rendement des générateurs photovoltaïques et éoliens par l'intégration des systèmes électroniques d'adaptation à commande MPPT*. Thèse, Université abou bekr belkaid de Tlemcen, Algérie, 2014.
- [12] : S. Mughal, Y. R. Sood, and R. K. Jarial, *A Review on Solar Photovoltaic Technology and Future Trends*. In : National Conference on Recent Advances in Computer Science and IT (NCRACIT), *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 227–235.
- [13] : K. Espinosa, *La fabrication d'une cellule photovoltaïque*. Site de soloréa. 2013. [En ligne]. Disponibles sur : <<https://blog.solorea.com/fabrication-cellule-photovoltaïque>>. (Page consultée le 20/12/2022).
- [14] : AYACHE IDIR. *Etude et contrôle d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome*. Master en Electromécanique, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia, 2020.
- [15] : K. Helali. *Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative*. Mémoire de magister, Université de l'UMMTO, Tizi-Ouzou, 2012.
- [16] : Smaïl SEMAOUI. *Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque*. Mémoire de magister, Université de Ouargla, 2004.
- [17] : NACEF Mohamed. *Analyse et commande optimale du système de stockage d'énergie dans un générateur photovoltaïque*. Mémoire de Master en Sciences et Technologie, Université Ferhat Abbas Sétif, 2012.
- [18] : Boukli Hacen Omar. *Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique*. Thèse de Magistère, Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen, 2011.
- [19] : L. Debou , D. Maghribi. *Commande d'un système hybride (photovoltaïque- éolienne) de production d'énergie*. Mémoire d'ingénieur d'état. Université de Bejaia, 2008.
- [20] : Anne Labouret, Michel Viloz. (2005). *Energie solaire photovoltaïque*. Paris (France): Edition Dunod. 220 p.

[21] : Djilat Zahra, Bouras Sara. *Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila*. Master Académique en Physique Energétique et Energies Renouvelables, Université Mohamed Bodiaf - M'SILA, 2019.

[22] : E. Buchet. *Etude du dimensionnement et développement d'un logiciel d'aide à la conception de système de production d'énergie utilisant la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire*. Thèse de Doctorat, Faculté de Science et Technique de Saint-Jérôme, d'Aix Marseille, juillet 1988.

[23] : A. Labouret, P. Cumunel, J. Braun, B. Faraggi. (2012). *Cellules Solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque*. Paris (France): Edition ETSF. 134p.

[24] : F. Benyarou. *Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques modélisation, dimensionnement et simulation*. Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Juillet 2004.

[25] : MEZIANI Zahra. *Modélisation de modules photovoltaïques*. Mémoire de magister, Université de Batna Génie électrique 2012.

[26] : Halouane Assia. *Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque*. Mémoire de Master, Université M'hamed BOUGARA BOUMERDES, 2017.

[27] : Site de l'Energie<sup>+</sup>, “Caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques”. [En ligne]. Disponibles sur : <<https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques>>. (Page consultée le 30/12/2022).

[28] : Total, (Support de cours, 10/07/2007), Les équipements : les batteries.

[29] : Rema energy, “Batterie Nickel Cadmium (Ni-Cd)”. [En ligne]. Disponibles sur : <<https://rema.energy/specification/batterie-ni-cd>>. (Page consultée le 30/12/2022).

[30] : Enjoy the ride, “Batterie Lithium-Ion”. [En ligne]. Disponibles sur : <<https://www.motoblouz.com/enjoytheride/conseils-moto/3368-batterie-moto-lithium-ion-plomb-2013-10-21>>. (Page consultée le 30/12/2022).

- [31] : Batteries and power solution, "Batterie Gel". [En ligne]. Disponibles sur : < <https://enerplus-dz.com/produits/gamme-batteries/batterie-semi-traction/batterie-gel-gf-12-076-v-sonnenschein> >. (Page consultée le 30/12/2022).
- [32] : Développement des modèles mathématiques d'un générateur photovoltaïque défectueux - Scientific Figure on ResearchGate. Disponibles sur : < [https://www.researchgate.net/figure/Composantes-dun-champ-de-modules-photovoltaïques\\_fig20\\_301487491](https://www.researchgate.net/figure/Composantes-dun-champ-de-modules-photovoltaïques_fig20_301487491) > (Page consultée le 30/12/2022).
- [33] : DJEDDI Karim, KADI Tarik. *Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour une habitation*. Master en Electromécanique, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia, 2019.
- [34] : BOURAD Kahina. *Dimensionnement d'un système photovoltaïque avec stockage*. Master en Electromécanique, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia, 2020.
- [35] : BEN CHAALAL Bachir, BENACHOUR Mohammed Tareq, KACEMI Abdelghani. *Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la direction de sonalgaz Naâma (SADEG)*. Master en Énergies Renouvelables, Centre universitaire Salhi Ahmed – Naama, 2022.
- [36] : Anne Labouret, Michel Villos. *Energie solaire photovoltaïque le manuel professionnelle*. Paris (France) : Edition Dunod. 352 p.
- [37] : Iamarene Samir. *Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom watania*. Master en Énergies Renouvelables, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2012.
- [38] : Amara Ilham, Lakhal Faouzi Ilyes, Talebi Nor EL houda. *Dimensionnement d'une installation PV d'un habitat à Naama*. Master en Énergies Renouvelables, Centre universitaire Salhi Ahmed – Naama, 2022.
- [39] : Michel Villos. (2013). *Installations Photovoltaïques Autonomes - Guide pour le dimensionnement et la réalisation*. Genève (suisse): Edition Pacer. 188 p.
- [40] : Boukhalif Hamza. *Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw*. Master en Énergies Renouvelables, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, 2017.

[41] : Mahdi Khaled. *Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique*. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine ,2008.

[42] : IMADALOU Mehdi, IFOURAH Yanis. *Etude et dimensionnement d'une mini centrale photovoltaïque à la station de pompage de Béni Mansour pour la Sonatrach*. Master en énergie renouvelable, Université Abderrahmane-Mira de Bejaia, 2020.

[43] : Alain Ricaud. (2008). *Modules et systèmes photovoltaïque*. Septembre 2008

[44] : LOUAZENE, Mohamed Lakhdar. *Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla*. Master en Énergies Renouvelables, Université El hadj Lakhdar-Batna, 2008.

[45] : Photovoltaïque énergie, “ PVGIS : logiciel en ligne de simulation”. [En ligne]. Disponibles sur : < <https://photovoltaique-energie.fr/pvgis-logiciel-en-ligne-de-simulation.html> >. (Page consultée le 07/03/2023).

[46] : HADADJI Abd-elhafidh, LEBOUAZID Idriss. *Etude Technico-Economique d'une centrale Photovoltaïque connectée au réseau du URER/MS*. Master en Physique Energétique et Energies Renouvelables, Université Ahmed DRAIA, 2022.

# Résumé

## Résumé :

Au cours de la dernière décennie, l'Algérie a accordé une importance considérable à la recherche et au développement de l'exploitation de l'énergie solaire, reconnaissant ainsi que l'énergie solaire est la source d'énergie renouvelable la plus cruciale.

L'objectif de cette étude est de présenter une approche analytique pour dimensionner un système photovoltaïque, en le comparant avec la simulation réalisée grâce au logiciel PVSYST.

Nous avons réalisé une étude sur l'installation d'un système photovoltaïque qui fournit de l'énergie à la bibliothèque et à la serre du centre universitaire SALHI Ahmed - NAAMA. En utilisant les paramètres réels du site, nous avons développé une méthode de conception de l'installation en utilisant le logiciel PVSYST. Nous avons déterminé les dimensions des différents composants du système PV. Nous avons également comparé les résultats obtenus avec ceux du logiciel PVSYST à une solution analytique

**Mots clé :** Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, PV SYSTEME

## Abstract:

Over the past decade, Algeria has given considerable importance to research and development of solar energy exploitation, recognizing that solar energy is the most crucial renewable energy source.

The objective of this study is to present an analytical approach to size a photovoltaic system, comparing it with the simulation performed using the PVSYST software.

We conducted a study on the installation of a photovoltaic system that provides energy to the library and greenhouse of the SALHI Ahmed University Center - NAAMA. Using the real parameters of the site, we developed a method for designing the installation using PVSYST software. We determined the dimensions of the different components of the PV system. We also compared the results obtained with those of the PVSYST software to an analytical solution.

**Keywords:** Photovoltaic system, Sizing of the photovoltaic system, PV SYSTEM

## ملخص :

خلال العقد الأخير، منحت الجزائر أهمية كبيرة للبحث والتطوير في استغلال الطاقة الشمسية، مدركة بذلك أن الطاقة الشمسية هي المصدر الأكثر أهمية للطاقة المتجددة.

هدف هذه الدراسة هو تقديم نهج تحليلي لتحجيم نظام الكهروضوئي، مع مقارنته بالمحاكاة التي تم إجراؤها باستخدام برنامج PVSYST.

لقد أجرينا دراسة حول تحجيم نظام الكهروضوئي الذي يوفر الطاقة للمكتبة والمشتل في مركز الجامعة - SALHI Ahmed - NAAMA. باستخدام المعلمات الفعلية للموقع، قمنا بتطوير طريقة تحجيم التركيب باستخدام برنامج PVSYST. قمنا بتحديد المكونات المختلفة لنظام الكهروضوئي. قمنا أيضًا بمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع نتائج البرنامج PVSYST.

**الكلمات المفتاحية:** النظام الكهروضوئي، تحجيم النظام الكهروضوئي، نظام PV.