

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم
العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Ahmed Zabana de Relizane
Faculté des sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



جامعة غليزان
RELIZANE UNIVERSITY

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER
Spécialité Energétique

Intitulé

**Utilisation de la nanoscience pour augmenter
l'efficacité des panneaux solaires**

Présenté par :

Mr : CHALGOU Mohamed

et

Mlle : HAOUA Yamina

Devant les membres de jury :

Président : Mr AIT ATMANE Redhwane Maître de conférences (B) (U. Relizane)

Encadrant : Mr HOUARI Ali Maître assistant (B) (U. Relizane)

Examineur : Mr TOUNSI Abdeldjebbar Maître assistant (B) (U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENT

Avant tout, nous remercions **ALLAH** le Tout-puissant de nous avoir donné le souffle de vie, le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et c'est grâce à lui que ce travail a pu être réalisé.

Nos vifs et sincères remerciements à notre encadreur Monsieur **HOUARI Ali**, vous nous avez bien guidés dans ce travail de recherche, en nous donnant inlassablement beaucoup de votre temps, votre enthousiasme à partager votre connaissance tout comme votre sens chaleureux du contact nous a beaucoup marqué. Soyez assuré de notre plus sincère gratitude et de notre profond respect et aussi nous envoyons des chaleureux remerciements aux Docteurs ; Monsieur **BOUCHELAGHEM Aissa** Université de Stif et Monsieur **FIDJAH Abdelkader** Université de Djelfa.

Nous remercions également le directeur de la **centrale photovoltaïque d'AOULEF Adrar** et tout le personnel qui y travaille à la station pour les informations et pour les données utilisées dans ce travail.

Aux **membres du jury**, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce modeste travail, nous vous en remercions et vous témoignons notre profonde et respectueuse gratitude. A tous les professeurs qui ont participés dans notre cursus et surtout à l'ensemble des enseignants de notre spécialité pour la qualité des cours qu'ils nous ont prodigués, et qui nous ont servi pour accomplir ce travail, nous vous remercions et vous témoignons nos sentiments les plus dévoués.

DÉDICACE

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance. Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce modeste travail à :

- mes chers parents, pour leur soutien inébranlable malgré toutes les difficultés que nous avons traversées. Qu'ils soient bénis à jamais.
 - mon professeur superviseur « HOUARI Ali », pour ses conseils précieux et son orientation académique qui ont été une lumière guidant ce travail.
 - mes sœurs, dont la présence à mes côtés a été un soutien inébranlable.
 - mes chers amis, qui m'ont encouragé dans les moments les plus difficiles.
 - tous les membres du département de génie mécanique énergétique, pour son soutien académique et les ressources mises à disposition pour la réalisation de ce travail.
 - tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont soutenu par un mot ou un acte dans l'accomplissement de ce travail.

CHALGOU Mohamed

HAOUA Yamina

Sommaire

Sommaire	I
Résumé	III
Liste des figures et des Tableaux	IV
Introduction générale	1
Chapitre I : Panneaux solaires	
I.1 : Introduction	5
I.2 : Le rayonnement solaire	5
I.3 : Energie solaire	6
I.3.1 : Energie solaire dans le monde	7
I.3.2 : Energie solaire en l'Algérie	9
I.4 : Les types de panneaux solaires	10
I.4.1 : Solaire à concentration thermodynamique	10
I.4.2 : Solaire thermique	11
I.4.3 : Panneaux solaires hybrides	12
I.4.4 : Panneaux solaires photovoltaïque	12
I.5 : Le principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque	13
I.6 : Systèmes Photovoltaïques	15
I.6.1 Cellules Solaire	15
I.6.2 Modules photovoltaïques :	17
I.7 : Critères de choix d'une installation solaire	20
I.8 : Système d'énergie solaire	21
I.8.1 : Pompage photovoltaïque	21
I.8.2 : Eclairage photovoltaïque	22
I.9 : Les différents types des systèmes énergétiques solaires	22
I.9.1 : Système photovoltaïque autonome	22
I.9.2 : Système photovoltaïque raccordée au réseau électrique	23
I.10 : Le rendement des panneaux solaires	24
I.11 : Facteurs influençant la performance	24
I.12 : Limites des matériaux conventionnels	25
I.13 : Conclusion	25
Chapitre II : Nanosciences	
II.1 Introduction	27
II.2 : Historique	27
II.3 : Définition	28
II.4 : Les nanomatériaux	29
II.4.1 : Classification des techniques de fabrication	29
II.4.1.1 Techniques mécaniques	29
II.4.1.2 : Techniques chimiques	30
II.4.1.3 : Techniques physiques	30
II.4.1.4 : Techniques biologiques	30
II.4.2 : Propriétés des nanomatériaux	31
II.5 : Domaine et applications des nanotechnologies	31
II.5.1 Industrie automobile et aéronautique	32
II.5.2 Nanoélectronique	32
II.5.3 Biotechnologies	32
II.5.4 Domaine biomédical	33

Sommaire

II.5.5 Secteur spatial et militaire	33
II.5.6 Secteur de l'énergie et de l'environnement	33
II.6 Conclusion	34
Chapitre III : Application des nanosciences dans l'industrie solaire	
III.1 : Introduction	36
III.2 : Cellules solaires à base de nanomatériaux	36
III.3 : Intégration du graphène dans les couches conductrices des cellules solaires	37
III.4 : Effet des nanotubes de carbone sur la mobilité des porteurs de charge	37
III.5 : Revêtements plasmoniques et optimisation de la lumière	37
III.6 : Applications dans les panneaux solaires à concentration	38
III.7 : Types de nanomatériaux utilisés dans les cellules solaires	38
III.8 : Impact économique et environnemental	39
III.9 : Conclusion	39
Chapitre IV Etude de Cas	
IV.1 : Introduction	41
IV.2 : Matériels et méthodes	42
IV.2.1 : Matériels	42
IV.2.1.1 : Panneau solaire monocristallin	42
IV.2.1.2 : Panneau solaire transparent	43
IV.3 : Résultat et discussion	43
IV.4 : Conclusion	44
Conclusion générale et perspectives	48
Références Bibliographiques	49

المخلص

في الآونة الأخيرة، اتجه العالم نحو استخدام الطاقة المتجددة لما لها من دور في تحسين المناخ والحد من نستخدم الألواح الشمسية لتحويل. تُستخدم أشعة الشمس والحرارة لإنتاج الطاقة. الاحتباس الحراري في هذا البحث، سنُجري دراسة مقارنة لكفاءة إنتاج الطاقة باستخدام الألواح. ضوء الشمس إلى كهرباء نربط بين تطوير هذه الألواح واستخدام المواد. الشمسية أحادية البلورة والألواح الشمسية الشفافة تُظهر النتائج أن التقنية الجديدة. النانوية، وتتعرف على تأثير علم النانو في زيادة إنتاج الطاقة المستخدمة في الألواح الشفافة تجعلها أكثر كفاءة من الألواح التقليدية

Résumé :

Récemment, le monde s'est tourné vers les énergies renouvelables, car elles contribuent à améliorer le climat et à réduire le réchauffement climatique. La lumière du soleil et la chaleur sont utilisées pour produire de l'énergie. Nous utilisons des panneaux solaires pour convertir la lumière du soleil en électricité. Dans cette recherche, nous réaliserons une étude comparative de l'efficacité énergétique des panneaux solaires monocristallins et des panneaux solaires transparents. Nous établirons un lien entre le développement de ces panneaux et l'utilisation de nanomatériaux. Nous étudierons l'impact des nanosciences sur l'augmentation de la production d'énergie. Les résultats montrent que la nouvelle technologie utilisée pour les panneaux translucides les rend plus efficaces que les panneaux traditionnels.

Abstract :

Recently, the world has turned to the use of renewable energy because it helps improve the climate and reduce global warming. Sunlight and heat are used to produce energy. We use solar panels to convert sunlight into electricity. In this research, we will conduct a comparative study of energy production efficiency with monocrystalline solar panels and with transparent solar panels. We establish a link between the development of these panels and the use of nanomaterials. Where we learn about the impact of nanoscience on increasing energy production. The results show that the new technology used in the translucent panels makes them more efficient than traditional panels.

Liste des Figures

Figure I.1 : Installation photovoltaïque	5
Figure I.2 : Rayons de solaire et panneaux de solaire	5
Figure I.3 : Des panneaux photovoltaïques	6
Figure I.4 : Capteurs thermodynamique cylindro- paraboliques	11
Figure I.5 : Capteurs thermodynamique paraboliques	11
Figure I.6 : Principe d'un panneau solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire	12
Figure I.7 : le panneau photovoltaïque	13
Figure I.8 : principe de fonctionnement photovoltaïque	14
Figure I.9 : Cellules solaires monocristallines	16
Figure I.10 : Cellules solaires polycristallines	17
Figure I.12 : Cellules solaires amorphes	17
Figure I.13 : Association des cellules solaires photovoltaïques	18
Figure I.14 : cellule solaire, module solaire et panneau solaire	18
Figure I.15 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en série	19
Figure I.16 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle np cellules Identiques	20
Figure I.17 : Caractéristique résultante d'un groupement mixte de cellules identiques	21
Figure I.18 : A - Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protection. B - Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de la diode by-pass et mise en évidence du courant de circulation IPV	21
Figure I.19 : Photovoltaïque au fil du soleil	22
Figure I.20 : Eclairage de photovoltaïque	23
Figure I.21 : Installation photovoltaïque autonome	24
Figure I.22 : Installation photovoltaïque raccordé au réseau	24
Figure II.1 : Le marché des nanotechnologies dans l'automobile en 2015	19
Figure IV.1 : Caractéristiques du panneau solaire	30
Figure IV. 2 : Panneaux solaires transparents	31
Figure IV.3 : Une maison construit en panneaux solaires transparents	31

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : puissance pv installée au 31/12 MWc dans 15 pays les plus équipés en PV	8
Tableau I.1 : Facteurs environnementaux influençant la production d'énergie	12
Tableau II.1 : comparatif des techniques de fabrication des nanomatériaux	18
Tableau III.1 : Types de nanomatériaux utilisés dans les cellules solaires	25
Tableau IV.1 : Comparaison entre les panneaux solaires transparents et monocristallins	33

Abréviations

UV : ultraviolet

IR : infrarouge

Cd Te : tellurure de cadmium

Ga As : arséniure de gallium

CIS : cuivre et d'indium

IWGN : Interagency Working Group on Nanotechnology

NNI : National Nanotechnology Initiative

U.S.A : états unis

U.K : Royaume-Uni

CVD : Dépôt chimique en phase vapeur

PVD : Dépôt physique en phase vapeur

CNTs : nanotubes de carbone

CPV : panneaux solaires à concentration

QD : Quantum dots

Liste des Symboles

Symbole	Signification	Unité
η	Efficacité de conversion photovoltaïque	%
E	Énergie	eV
P	Puissance électrique	W
P_{\max}	Puissance maximale	W
V	Tension ou voltage	V
I	Courant électrique	A
G	Irradiance solaire	W m ⁻²
λ	Longueur d'onde	nm
J_{sc}	Densité de courant de court-circuit	mA cm ⁻²
V_{oc}	Tension en circuit ouvert	V
I_{sc}	Courant de court-circuit	A
V_{mod}	Tension du module photovoltaïque	V
I_{mod}	Courant du module photovoltaïque	A
V_{ocns}	Tension en circuit ouvert (groupement série)	V
I_{scnp}	Courant de court-circuit (groupement parallèle)	A
I_t^{cc}	Courant de court-circuit total (association mixte)	A
V_t^{oc}	Tension en circuit ouvert total (association mixte)	V
α	Coefficient d'absorption	cm ⁻¹
h	Constante de Planck	6.626 × 10 ⁻³⁴ J s
c	Vitesse de la lumière	3 × 10 ⁸ m s ⁻¹
E_g	Énergie de bande interdite	eV
n	Indice de réfraction	–
τ	Durée de vie des porteurs de charge	s
μ	Mobilité des porteurs de charge	cm ² V ⁻¹ s
σ	Conductivité électrique	S m ⁻¹
A	Surface	m ²
d	Épaisseur d'une couche ou matériau	nm

Introduction générale

Introduction générale :

Dans un contexte mondial marqué par la crise énergétique, le changement climatique et l'épuisement progressif des ressources fossiles, les énergies renouvelables apparaissent comme une alternative incontournable. Parmi elles, l'énergie solaire représente une source propre, inépuisable et accessible. Toutefois, le rendement limité des panneaux solaires reste un défi majeur entravant leur adoption massive à grande échelle.

C'est dans ce cadre que la nanoscience et la nanotechnologie offrent de nouvelles perspectives. Travaillant à l'échelle de l'atome et des molécules, elles permettent de concevoir des matériaux innovants aux propriétés exceptionnelles, capables d'améliorer significativement les performances des cellules photovoltaïques. Selon plusieurs études, l'intégration de nanomatériaux peut augmenter le rendement de conversion de l'énergie solaire de 30 à 40 % .

Parmi les solutions les plus prometteuses, on retrouve les couches minces nanostructurées, les nanoparticules métalliques, et les nanotubes de carbone, qui permettent une meilleure absorption du spectre lumineux, une réduction des pertes par réflexion, ainsi qu'une amélioration de la conductivité électrique.

De plus, l'utilisation de la nanoscience permet le développement de panneaux photovoltaïques flexibles et légers, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles applications dans les domaines portables, architecturaux ou même agricoles. Cette avancée technologique contribue également à réduire les coûts de fabrication, rendant l'énergie solaire plus compétitive face aux énergies conventionnelles. La présente étude s'intéresse donc à l'impact des nanotechnologies sur l'efficacité des panneaux solaires. Elle explorera les principes fondamentaux de la nanoscience, les matériaux utilisés, les techniques de fabrication, ainsi que les applications pratiques et les perspectives futures dans le domaine de l'énergie solaire.

Au premier chapitre, nous présenterons les panneaux solaires et leurs principales caractéristiques, ainsi que la mise en place des panneaux solaires.

Dans le second chapitre, nous nous intéresserons à la nanoscience et à la technologie des nanomatériaux et leurs conceptions d'une installation photovoltaïque, à savoir les différents nanomatériaux et ses caractéristiques.

Introduction Générale

Dans le troisième chapitre une étude comparative de l'efficacité énergétique des panneaux solaires monocristallins et des panneaux solaires transparents.

Dans le quatrième chapitre une étude comparative de l'efficacité énergétique des panneaux solaires monocristallins et des panneaux solaires transparents.

Enfin, on achèvera notre travail par une conclusion générale et perspective.

Chapitre I : Panneaux solaires

I.1 : Introduction

Dans un contexte mondial marqué par la raréfaction des ressources fossiles et l'urgence climatique, les énergies renouvelables occupent une place croissante dans le mix énergétique. Parmi elles, l'énergie solaire se distingue par son abondance, sa propreté et son accessibilité. Chaque jour, le Soleil envoie vers la Terre une quantité d'énergie largement supérieure à la consommation énergétique mondiale totale.



Figure (I.1): Installation photovoltaïque.

Les panneaux solaires, ou modules photovoltaïques, permettent de capter cette énergie et de la transformer en électricité ou en chaleur.

I.2 : Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil et reçues à la surface de la Terre. Il se compose principalement de lumière visible, d'ultraviolets (UV) et d'infrarouges (IR). Cette énergie constitue la source primaire pour les systèmes photovoltaïques et thermiques.



Figure I.2 : Rayons de solaire et panneaux de solaire

On distingue trois composantes principales du rayonnement solaire :

- Rayonnement direct : c'est le flux solaire qui atteint directement une surface sans être diffusé par l'atmosphère.
- Rayonnement diffus : c'est la partie du rayonnement solaire qui a été dispersée par les molécules d'air, les nuages et les particules.
- Rayonnement global : c'est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus sur une surface horizontale.

L'intensité du rayonnement solaire dépend de plusieurs facteurs :

- Latitude et saison
- Heure de la journée
- Conditions météorologiques
- Orientation et inclinaison de la surface

I.3 : Energie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.



Figure I.3 : Des panneaux photovoltaïques

Les différentes technologies solaires : Il existe trois façons d'utiliser directement l'énergie solaire :

- la thermodynamique
- la thermique
- le photovoltaïque
- hybrides

I.3.1 : Energie solaire dans le monde

L'énergie solaire s'est d'abord développée pour satisfaire des besoins électriques en sites isolés, tels que les régions de montagnes, les îles et les zones rurales des pays en développement, particulièrement en Afrique et en Asie. Depuis le début des années 2000, le développement de l'énergie solaire a pris une toute autre dimension, à l'échelle mondiale, suite à la prise de conscience de l'enjeu environnemental lié au réchauffement climatique et à la nécessité de développer des énergies renouvelables, non émettrices de CO₂.

Des politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables en Europe, au Japon, aux Etats-Unis, en Australie et plus récemment en Chine ont créé un boom de la demande mondiale en panneaux solaires, permettant à l'industrie solaire de se développer massivement et de réduire ses coûts de production. Toutefois, un coup d'arrêt brutal à ces politiques de soutien a été donné en 2008-2009 en raison de la crise financière internationale. Les politiques de réduction des déficits publics depuis 2010 n'ont pas permis de soutenir à nouveau les énergies renouvelables et le secteur photovoltaïque tout entier s'est retrouvé en surcapacité de production, au niveau mondial. S'en est suivi une série de fermetures de sites de production de panneaux solaires ainsi que des rachats d'entreprises, conduisant à une plus grande concentration du secteur.

Le grand avantage de la période de massification de la production de panneaux solaires est la réduction drastique des coûts et donc des prix, permettant désormais à l'énergie solaire d'être à la fois plus accessible pour la réalisation des projets en sites isolés et de plus en plus compétitive par rapport aux autres sources d'énergie (pétrole, charbon, nucléaire), atteignant progressivement et pays après pays la parité réseau. Cette baisse des prix conjuguée aux nouvelles politiques de lutte contre le changement climatique a relancé vigoureusement la demande d'installations photovoltaïques dans le monde. Les investissements annuels en énergies renouvelables dépassent désormais les investissements en énergies fossiles. La tendance devrait s'amplifier sous l'effet de la baisse continue du prix des panneaux photovoltaïques, appelés à devenir les grands vainqueurs de la transition énergétique.

Les principaux pays producteurs de cellules solaires et de panneaux solaires sont la Chine, les Etats-Unis, le Japon et l'Allemagne. La puissance installée dans le monde est passée de quelques MegaWatts au début des années 2000 à 102 GigaWatts fin 2012 puis 227 GigaWatts fin 2015 et 300 GigaWatts fin 2016. Le rythme d'installation de puissance solaire photovoltaïque est actuellement de plus de 70 GigaWatts par an. C'est en Asie, notamment en

Chine et en Inde, que plus de la moitié des installations solaires sont réalisées. Ci-dessous le détail des puissances solaires photovoltaïques installées dans le monde :

Puissance PV installée au 31/12 (MWc) dans les 15 pays les plus équipés en PV

Pays	2009 ⁸⁰	2010 ⁸⁰	2011 ⁷⁹	2012 ⁷⁹	2013 ^{m 7,81}	2014 ^{p 2}	2015 ^{s 6}
 Chine	300	800	3 300	8 300	18 300	28 199	43 530
 Allemagne	9 959	17 370	24 807	32 411	35 715	38 200	39 700
 Japon	2 627	3 618	4 914	6 914	13 600	23 300	34 410
 États-Unis	1 616	2 534	4 431	7 777	12 000	18 280	25 620
 Italie	1 181	3 502	12 923	16 361	17 928	18 460	18 920
 Royaume-Uni	46	91	904	1 829	3 375	5 104	8 780
 France	335	1 054	2 924	4 003	4 673	5 660	6 580
 Espagne	3 523	3 915	4 889	5 166	5 340	5 358	5 440
 Australie	188	571	1 412	2 412	3 300	4 136	5 070
 Inde	nd	nd	nd	nd	2 208	2 936	5 050
 Corée du Sud	nd	nd	nd	nd	1 475	2 384	3 430
 Belgique	386 ⁸²	1 055	2 051	2 650	2 983	3 074	3 250
 Grèce	nd	198	624	1 536	2 579	2 595	2 610
 Canada	nd	nd	nd	nd	nd	1 900	2 500
 République tchèque	466 ⁸³	1 946	1 959	2 072	2 175	2 134	2 080
Total mondial	23 605	40 670	71 061	102 156	138 856	177 000^{p 3}	227 100
dont total Europe	16 850	30 472	52 884	70 043	79 964	86 674	93 965
% Europe	71,4 %	74,9 %	74,4 %	68,6 %	57,6 %	49,0 %	34 %

Tableau I.1 : puissance pv installée au 31/12 MWc dans 15 pays les plus équipés en PV

La recherche et développement dans le domaine de l'énergie solaire reste principalement axée sur l'amélioration des rendements des cellules solaires, qui permet de gagner de la puissance surfacique donc de réduire le coût du Watt crête. L'industrie solaire est ainsi passée de 15 % à 25 % de rendement maximal des cellules solaires en l'espace d'une vingtaine d'années. D'autres techniques permettent d'augmenter le rendement solaire des installations photovoltaïques : il s'agit des panneaux solaires à concentration, qui consistent à concentrer jusqu'à 1000 fois les rayons du soleil sur une cellule solaire grâce à un jeu de lentilles optiques. La technique des trackers est un autre moyen d'augmenter le rendement des installations solaires. Elle consiste à installer les panneaux solaires sur des structures inclinables qui suivent la course du soleil, captant ainsi le maximum d'énergie solaire tout au long de la journée. En conclusion, on peut dire que l'industrie de l'énergie solaire photovoltaïque est suffisamment structurée, puissante et

performante pour continuer sa croissance et apporter au monde une énergie propre, sûre et durable

I.3.2 : Energie solaire en l'Algérie

Le secteur économique de l'énergie en Algérie occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie : les hydrocarbures à eux seuls représentent 30% du PIB, 60% des recettes du budget et 95% des recettes d'exportation.

L'Algérie est en 2015 le 18^e producteur de pétrole, le 10^e producteur de gaz naturel et le 6^e exportateur de gaz naturel au monde.

La production et la consommation d'énergie, y compris dans le secteur de l'électricité, sont tirées des hydrocarbures à plus de 99%.

Cependant, l'État algérien commence à envisager des solutions écologiques en investissant dans les énergies renouvelables. Selon le Programme algérien de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (PENREE) de 2012, l'Algérie vise une puissance installée d'origine renouvelable de 22000 MW d'ici 2030. Mais trois ans après ce plan, les réalisations se font attendre : le rapport annuel du Global Wind Energy Council sur l'éolien ne mentionne même pas l'Algérie, et celui de l'**Agence internationale de l'énergie** sur le solaire annonce seulement que l'Algérie a installé 300MW.

Le 9 décembre 2011, la société algérienne de l'électricité et du gaz (Sonelgaz et Desertec Industry), Initiative ont signé à Bruxelles un accord de coopération visant au renforcement des échanges d'expertise technique, à l'examen des voies et moyens pour l'accès aux marchés extérieurs et à la promotion commune du développement des énergies renouvelables en Algérie et à l'international [1].

Pour que l'Algérie préserve les réserves énergétiques actuelles (pétrole et gaz), le pays a opté pour le développement et l'exploitation de l'énergie solaire. Afin de concrétiser son programme d'exploitation de l'énergie solaire, l'Algérie a chargé la Sonelgaz de construire la centrale électrique mixte de Hassi R'Mel, mise en service en 2011 à Tilghemt dans la wilaya de laghouat dans le sud du pays, d'une capacité de 150 mégawatts (30 MW solaire thermodynamique + 120 MW gaz) [2]. C'est la société New Energy Algeria (NEA), qui est chargée du secteur des énergies nouvelles et renouvelables [3]. La première usine privée algérienne de fabrication de panneaux solaires est opérationnelle à partir du mois de mars 2012 avec un taux d'intégration nationale de 90% [4]. L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie non polluante. Modulaires, ses composants se prêtent bien à une utilisation innovante et esthétique en architecture.

I.4 : Les types de panneaux solaires

La conception d'un panneau solaire repose sur l'optimisation de divers paramètres, tels que la composition du semi-conducteur, l'architecture des couches, et l'ajout d'éléments de traitement de surface visant à maximiser l'absorption lumineuse et la conversion d'énergie. Les structures en couches minces, par exemple, présentent un avantage en termes de poids et de flexibilité, permettant une intégration dans des matériaux composites ou des applications innovantes, tandis que le silicium amorphe se distingue par sa capacité à fonctionner dans diverses conditions d'éclairage. Pour améliorer l'efficacité globale, certains systèmes intègrent des multi-jonctions où différentes couches semi-conductrices absorbent différentes longueurs d'onde, augmentant ainsi le rendement énergétique par rapport aux panneaux traditionnels.

Il existe principalement trois grandes catégories de panneaux solaires : les panneaux solaires Thermodynamique, les panneaux solaires thermiques, les panneaux solaires hybrides et les panneaux solaires photovoltaïques. Chacun a des caractéristiques et des applications spécifiques.

I.4.1 : Solaire à concentration thermodynamique :

Le solaire à concentration thermodynamique est une technologie qui utilise des miroirs qui concentrent l'énergie solaire vers un tube contenant un fluide caloporteur qui chauffe jusqu'à une température pouvant atteindre 500°C. La chaleur obtenue est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. L'un des grands avantages de cette technologie provient du fait que la chaleur peut être stockée, permettant ainsi aux centrales solaires de produire de l'électricité pendant la nuit. Les miroirs qui collectent l'énergie solaire (placés à 3 ou 4 mètres du sol) forment une zone d'ombre sur le sol, cependant il arrive suffisamment de lumière pour éventuellement cultiver des fruits ou des légumes. Une partie de l'eau douce formée sur place par condensation en sortie de turbine, peut être utilisée pour l'arrosage [5].



Figure I.4 : Capteurs thermodynamique cylindro- paraboliques



Figure I.5 : Capteurs thermodynamique paraboliques

I.4.2 : Solaire thermique :

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil, Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire.

Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud).

L'énergie thermique utilise la chaleur du rayonnement solaire pour le chauffage de bâtiments ou de l'eau sanitaire. Pour cette dernière il est intéressant de savoir que dans certains pays le chauffage d'eau sanitaire représente environ 20% des dépenses énergétiques d'un foyer et que l'énergie solaire thermique peut subvenir à environ 80% de cette dépense énergétique [6].

L'énergie thermique utilise la chaleur du rayonnement solaire pour le chauffage de bâtiments ou de l'eau sanitaire. Pour cette dernière il est intéressant de savoir que dans certains pays le

chauffage d'eau sanitaire représente environ 20% des dépenses énergétiques d'un foyer et que l'énergie solaire thermique peut subvenir à environ 80% de cette dépense énergétique [6]

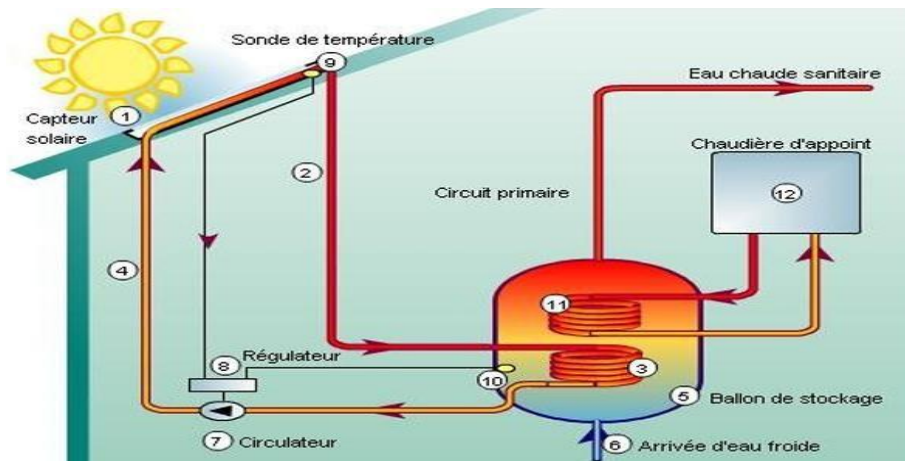


Figure I.6 : Principe d'un panneau solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire.

I.4.3 : Panneaux solaires hybrides

Les panneaux solaires hybrides offrent la possibilité de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur simultanément. Ils sont composés à la fois de panneaux solaires photovoltaïques et de panneaux solaires thermiques. Un échangeur de chaleur est utilisé pour transférer la chaleur du soleil à un liquide, qui chauffe l'eau du ballon et refroidit également le panneau solaire, permettant ainsi de maximiser la production d'électricité

I.4.4 : Panneaux solaires photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête (WC) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau. Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles.

Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement dans lesquelles vous vous trouvez. [7]

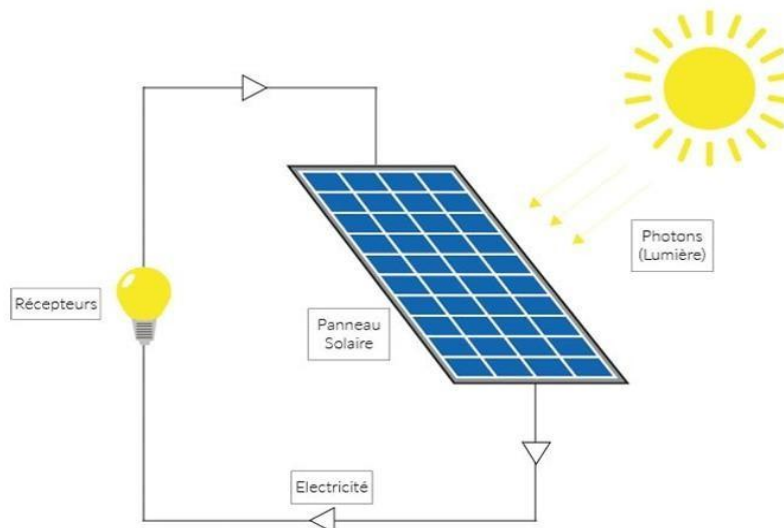


Figure I.7 : le panneau photovoltaïque

I.5 : Le principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque

Les panneaux solaires, en tant qu'éléments clés de la technologie photovoltaïque, reposent sur des principes fondamentaux d'interaction entre la lumière et des matériaux semi-conducteurs. Les cellules photovoltaïques, généralement constituées de silicium cristallin ou de couche minces de matériaux semi-conducteurs, convertissent directement l'énergie lumineuse en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

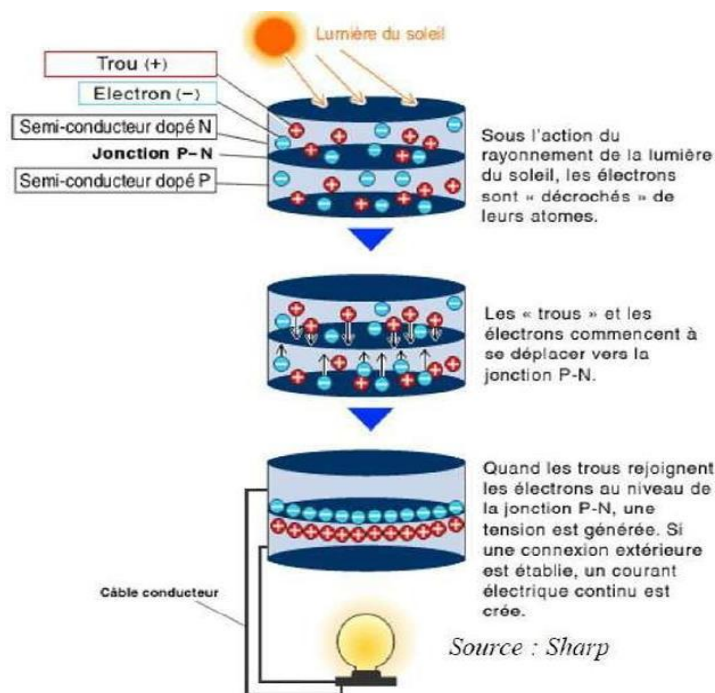


Figure I.8 : principe de fonctionnement photovoltaïque. [8]

Lorsqu'un photon provenant de la lumière solaire frappe une cellule photovoltaïque :

1. Il transmet son énergie à un électron du matériau semi-conducteur.
2. Cet électron est alors excité et passe de la bande de valence à la bande de conduction.
3. Ce déplacement crée un courant électrique dirigé grâce à un champ électrique interne établi dans la cellule.

La cellule est composée généralement de deux couches :

- Une couche de type n (riche en électrons libres).
- Une couche de type p (riche en trous).

À la jonction de ces deux couches, un champ électrique se crée naturellement. Ce champ oriente les électrons excités vers l'extérieur du circuit, générant ainsi un courant continu.

a. Les avantages :

- Énergie électrique non polluante à l'utilisation et s'inscrit dans le principe de développement durable.
- Source d'énergie renouvelable car inépuisable à l'échelle humaine.
- Utilisables dans les pays en voie de développement sans réseau électrique
- Important dans des sites isolés tels qu'en montagne où il n'est pas possible de se raccorder au réseau électrique national.

b. Les Inconvénients :

- Coût du photovoltaïque élevé car il est issu de la haute technologie.
- Coût dépendant de la puissance de crête.
- Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10% pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance.
- Marché très limité mais en développement.
- Production d'électricité ne se fait que le jour alors que la plus forte demande chez les particuliers se fait la nuit.
- Le stockage de l'électricité est quelque chose de très difficile avec les technologies actuelles (coût écologique des batteries très élevé).
- Durée de vie : 20 à 25 ans, après le silicium "cristallisé" rend inutilisable la cellule.
- Pollution à la fabrication : certaines études prétendent que l'énergie utilisée pour la fabrication des cellules n'est jamais rentabilisée durant les 20 années de production. Même en fin de vie, le recyclage des cellules pose des problèmes environnementaux.

I.6 : Systèmes Photovoltaïques

I.6.1 Cellules Solaire

Les cellules solaires peuvent être réparties en trois groupes, selon le matériau de base utilisé :

- Monocristallins
- Polycristallins
- Amorphes

A. Cellules solaires monocristallines :

Des blocs de silicium sont formés à partir de fonte de silicium ultra-pure. Dans un monocristal, le réseau cristallin complet est agencé de manière uniforme. Le bloc de silicium est découpé en rondelles de 200 à 300 mm d'épaisseur, appelées galettes (en anglais wafers). Pour permettre un usage optimal de la surface du module solaire, les cellules rondes sont découpées en éléments carrés. D'habitude, les cellules présentent une longueur d'arrêtée 152 mm La fabrication est conclue par le dopage, l'application des surfaces de contact et de la couche anti réflexion.

Possédant un rendement variant entre 15 et 18 %, les cellules monocristallines fabriquées industriellement sont les cellules ayant actuellement le rendement le plus élevé. Cependant, leur fabrication requiert plus d'énergie et de temps que celle des cellules polycristallines.

Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients :

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée (jusqu'à 7 ans).



Figure I.9 : Cellules solaires monocristallines [9].

B. Cellules solaires polycristallines :

Le matériau de base est du silicium ultra-pur qui est porté à fusion. Mais pour la fabrication de cellules solaires polycristallines, on ne cultive pas de monocristaux, mais la fonte de silicium est refroidie de façon contrôlée dans un moule carré.

Pendant le refroidissement, les cristaux s'orientent de manière irrégulière et forment la surface miroitante typique pour les cellules solaires polycristallines. Les blocs de silicium carrés sont découpés en galettes de 200 à 300 mm d'épaisseur. La fabrication est conclue par le dopage, l'application des surfaces de contact et de la couche anti réflexion. La couche anti-réflexion offre à la cellule solaire sa surface bleue typique, car le bleu réfléchit le moins de lumière et en absorbe la plus grosse quantité. Les cellules solaires polycristallines présentent un rendement entre 13 et 16 %.

Les cellules polycristallines sont caractérisées par :

- Coût de production moins élevée.
- Nécessite moins d'énergie.
- Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en labo.

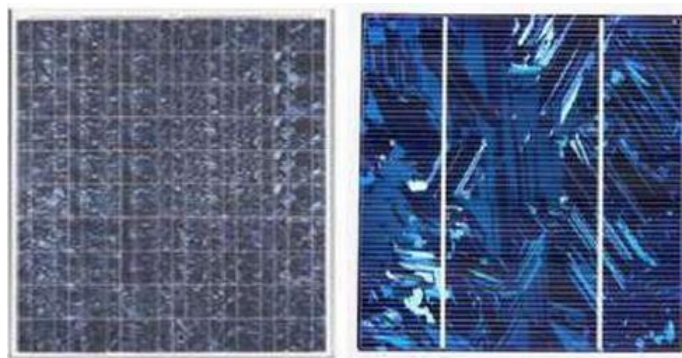


Figure I.10 : Cellules solaires polycristallines [9].

C. Cellules solaires amorphes :

Le terme amorphe vient du grec (a : sans, morphe : forme) et signifie qui n'a pas de forme. En physique, on appelle amorphes les éléments dont les atomes présentent des formes irrégulières. Si les atomes ont une structure ordonnée, on les appelle des cristaux.

Pour la fabrication de cellules solaires amorphes, on applique le silicium sur un matériau support, comme par exemple le verre. L'épaisseur du silicium s'élève alors à environ 0,5 à 2 μm . Ainsi, non seulement la quantité de silicium requise est-elle assez faible, mais le découpage fastidieux des blocs de silicium n'est-il pas nécessaire. Le degré de rendement des cellules solaires amorphes se situe seulement à 6-8 % [9].

Les avantages :

- Coût de production bien plus bas.

- Rendement de seulement 5 % par module et 14% au laboratoire.
- Fonctionne sous de très faible éclairement.



Figure I.12 : Cellules solaires amorphes [9].

Grâce à la technologie des nouveaux matériaux tel que le tellure de cadmium(Cd Te), l'arséniure de gallium (Ga As) ainsi que le séléniure de cuivre et d'indium (CIS) ont permis d'obtenir des photopiles ayant des rendements 38 % au laboratoire [10]

I.6.2 Modules photovoltaïques :

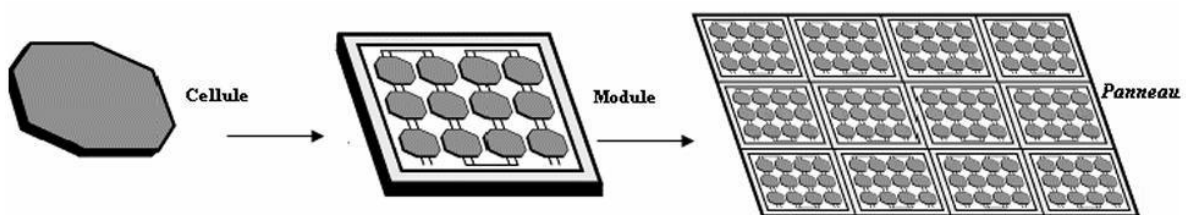


Figure I.13 : Association des cellules solaires photovoltaïques [11]

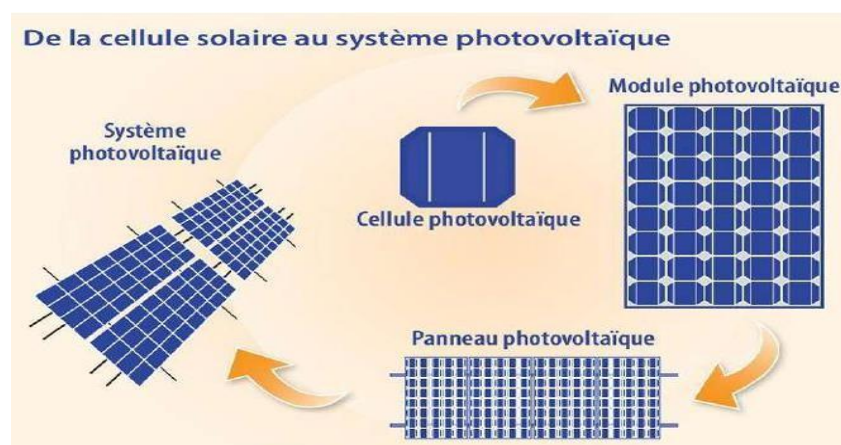


Figure I.14 : cellule solaire, module solaire et panneau solaire [12]

➤ Association en série :

Une association de n_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule [13].

$$V_{ocns} = N_s * V_{co}$$

Et

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

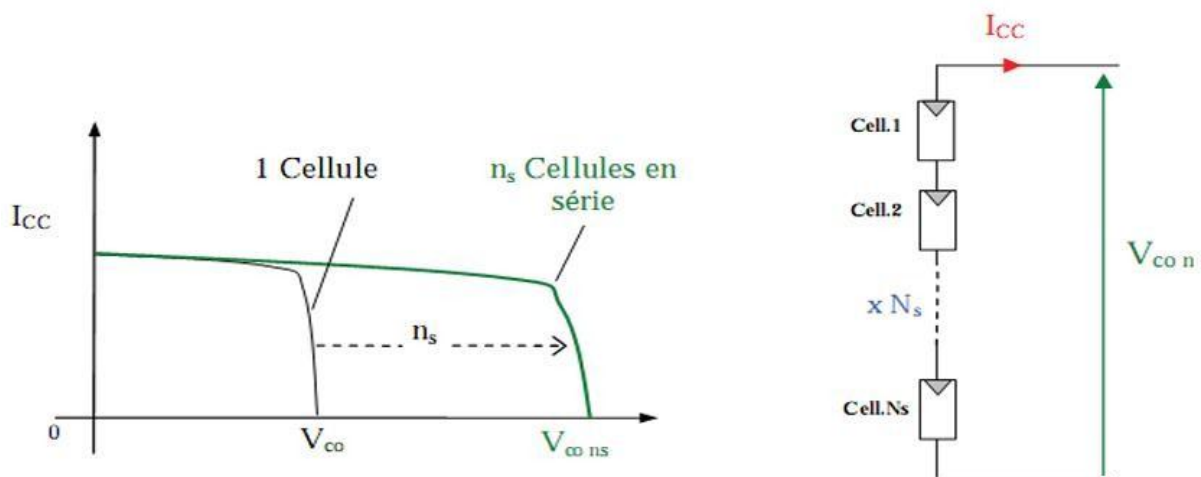


Figure I.15 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_s cellules en série [14].

Les expressions de la tension (T_{mod}) et du courant (I_{mod}) du module sont :

$$V_{mod} = \sum V_{cel}$$

$$I_{mod} = \sum I_{cel}$$

Où : V_{cel} et I_{cel} sont respectivement la tension et le courant d'une cellule PV.

➤ Association en parallèle :

Pour augmenter le courant fourni à une charge on connecte les cellules en parallèle. La figure (II.7) présente la courbe $I(V)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle. On ne monte que des cellules ayant la même tension de fonctionnement, les courants s'ajoutent, la nouvelle courbe est obtenue en multipliant point par point et pour chaque valeur de tension, le courant I_i de la cellule élémentaire par N_p [15].

On a :

$$I_{SCnp} = n_p I_{SC}$$

Et

$$V_{OCnp} = V_{OC}$$

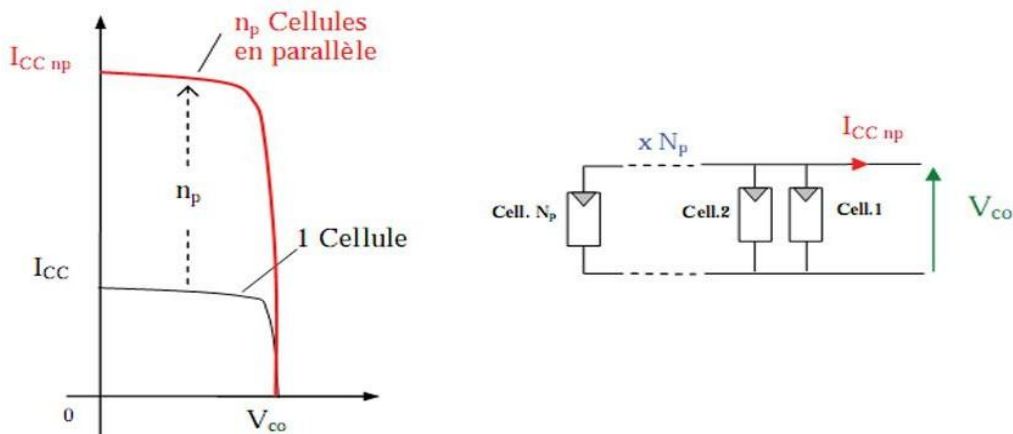


Figure I.16 : Caractéristique résultante d’un groupement en parallèle np cellules identiques [14].

➤ **Association mixte (série-parallèle) :**

Selon l’association en série et/ou parallèle de ces cellules, voir figure (II.8), les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations suivantes [11].

$$I_t^{cc} = np \times I_{cc}$$

$$V^t_{Oc} = nS \times V_{Oc}$$

Le passage d’un module à un panneau se fait par l’ajout de diodes de protection, en série pour éviter les courants inverses et en parallèle, dit diode by-pass, qui n’intervient qu’en cas de déséquilibre d’un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de protection associée.

La diode by-pass, lorsqu’elle se met à fonctionner, court-circuite alors une partie du panneau comme indique la Figure (II.9):B, évitant ainsi la circulation de courants inverses au sein des cellules défectueuses. La dégradation d’une seule cellule condamne donc le groupe de cellules associées à la cellule défectueuse et protégée par la diode by-pass à ne pas produire de puissance. Ce phénomène de perte partielle de puissance est à comparer à la perte totale d’un panneau entier en cas de problème sur une cellule avec un panneau fonctionnant sans protection [14].

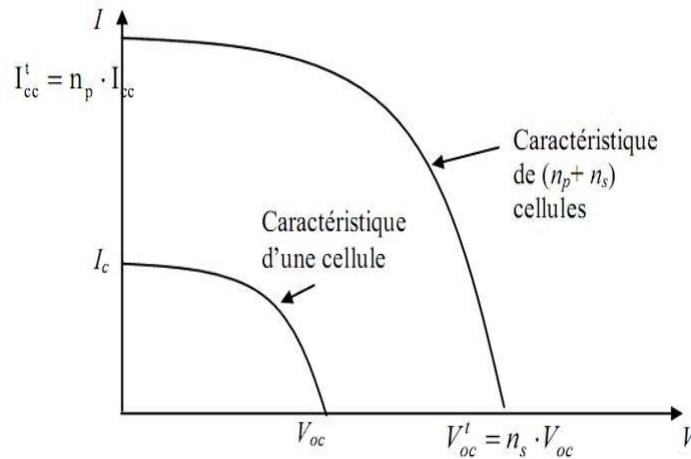


Figure I.17 : Caractéristique résultante d'un groupement mixte de cellules identiques [15].

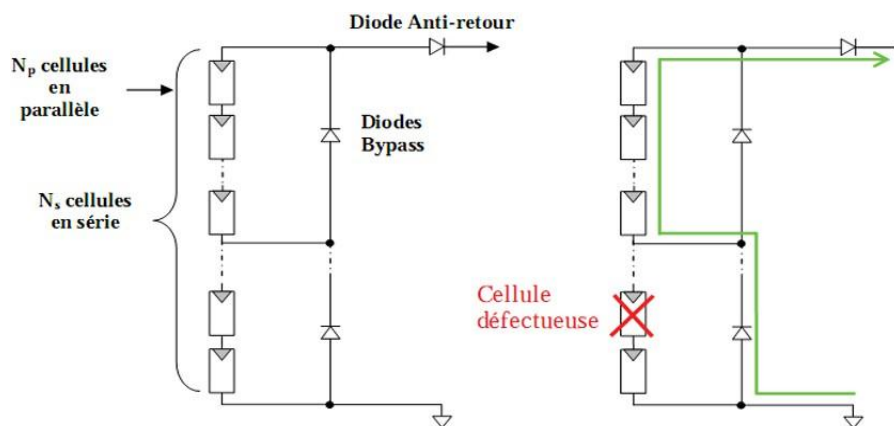


Figure I.18 : A - Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protection. B - Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de la diode by-pass et mise en évidence du courant de circulation IPV [14].

1.7 : Critères de choix d'une installation solaire :

La conversion photovoltaïque est la transformation directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique, sous forme de courant continu directement utilisable. D'un point de vue purement technique, on estime que les systèmes de conversion à énergie solaire sont potentiellement capables de répondre à une grande partie de la demande énergétique mondiale. Un système photovoltaïque est constitué des éléments suivants :

- Module photovoltaïque
- Régulateur,
- Convertisseur (onduleur).

Cette transformation du rayonnement solaire en électricité par le processus photovoltaïque est un des moyens d'exploitation du gisement solaire. Elle est réalisée par des cellules photovoltaïques (PV). Il est à noter qu'en dépit de cette terminologie, aucune énergie n'est stockée dans la cellule, ni sous forme chimique ni sous aucune autre forme. Ce n'est pas une pile, mais un convertisseur instantané, qui ne pourra fournir une énergie sous forme électrique que s'il reçoit une énergie sous forme de rayonnement. Une cellule sous obscurité totale va se comporter comme un composant passif. La cellule solaire ne peut être assimilée à aucun autre générateur classique d'énergie électrique de type continu. Elle n'est ni une source de tension constante ni une source de courant constant. Elle possède des caractéristiques non linéaires dépendant de l'éclairement [16].

I.8 : Système d'énergie solaire :

Il existe plusieurs applications de l'énergie solaires photovoltaïque, à titre d'exemple :

I.8.1 : Pompage photovoltaïque

Dans ce cas d'application, le fonctionnement se fait généralement au fil du soleil. Ainsi, le panneau PV alimente directement une pompe à travers un onduleur et ce tant que la puissance de sortie du panneau est capable de faire fonctionner la pompe. Un système de pompage d'eau peut être représenté par la figure (II.10) ci-dessus [17].

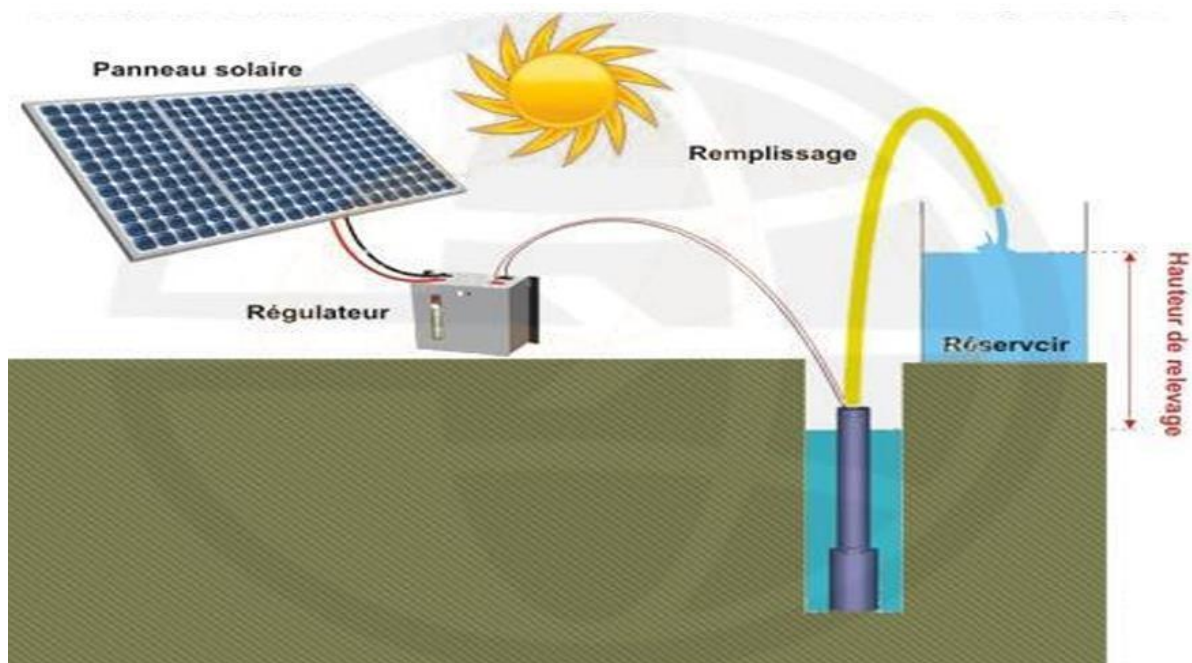


Figure I.19 : Photovoltaïque au fil du soleil [18].

I.8.2 : Eclairage photovoltaïque

Un panneau solaire photovoltaïque reçoit la lumière du soleil et la convertit en électricité. Cette électricité est une tension continue d'une vingtaine de volts, qui varie en fonction des conditions d'éclairement : plus il y a de lumière, plus on produit d'énergie. Bien entendu, la nuit la production est arrêtée.

L'énergie du panneau est envoyée à un régulateur qui la transforme en une tension stable de 12 volts.

Les 12 volts du régulateur sont utilisés pour charger une batterie qui accumule l'énergie au fur et à mesure de sa production.

Le régulateur joue également un rôle de distributeur, il délivre 12 volts pour la consommation mais c'est lui qui détermine d'où vient l'énergie : soit directement du panneau (s'il y a de la lumière) soit de la batterie si le panneau ne produit pas (la nuit par exemple) [13].

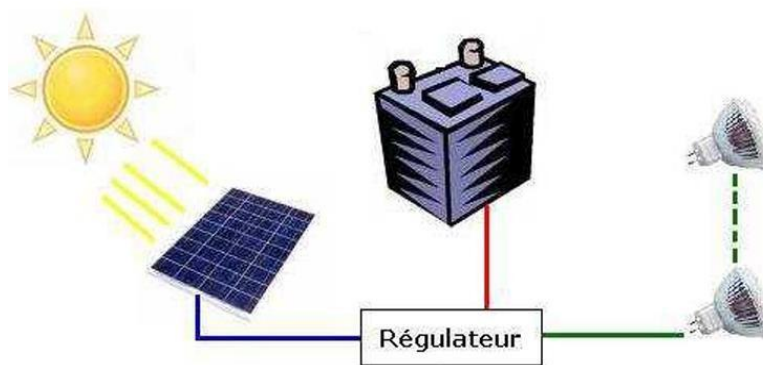


Figure I.20 : Eclairage de photovoltaïque [13].

I.9 : Les différents types des systèmes énergétiques solaires

I.9.1 : Système photovoltaïque autonome :

Sont des installations non raccordées au réseau, composées de panneaux PV et dont le système de stockage garantit une énergie électrique même en cas de faible éclairage ou d'obscurité, la présence d'un régulateur est nécessaire pour protéger les batteries contre les surcharges et les décharges profondes[15]. Ces installations sont des solutions d'un point de vue technique et financier pour les installations isolées, car elles peuvent remplacer des ensembles moteur-générateur. Par ailleurs, dans une configuration autonome, le champ PV est surdimensionné de sorte que l'alimentation de charge ainsi que la recharge des batteries de stockage puissent être garanties avec une certaine marge de sécurité en prenant compte les jours à faible ensoleillement.

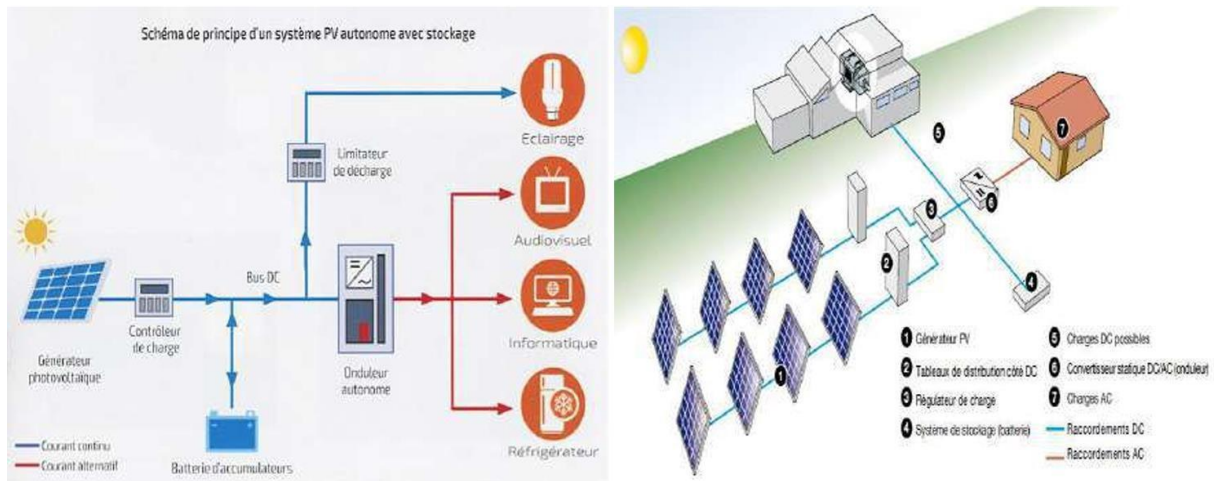


Figure I.21 : Installation photovoltaïque autonome [15]

I.9.2 : Système photovoltaïque raccordée au réseau électrique

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement [19].

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif à travers d'un onduleur, et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Car il doit respecter des normes sur sa qualité (sinusoïdale) [19].

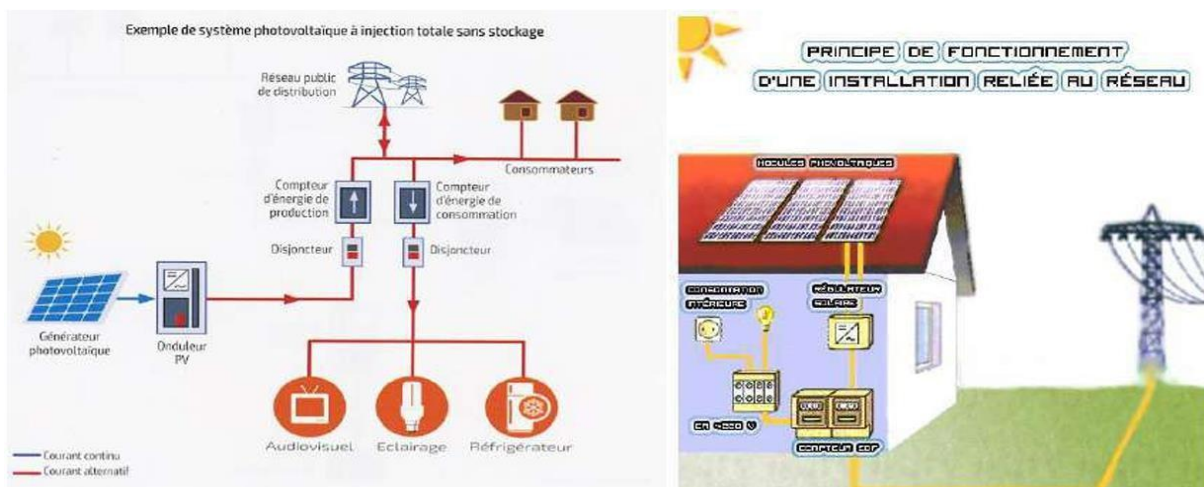


Figure I.22 : Installation photovoltaïque raccordée au réseau [15]

I.10 : Le rendement des panneaux solaires

Le rendement d'un panneau solaire correspond au rapport entre l'énergie électrique produite par le panneau et l'énergie solaire reçue par sa surface. Il s'exprime en pourcentage (%).

Formule : **Rendement (η) = (Énergie produite / Énergie reçue) x 100**

Facteurs influençant le rendement :

- **Type de cellule** : monocristallin (15–22 %), polycristallin (13–18 %), amorphe (6–10 %)
- **Température ambiante** : plus la température est élevée, plus le rendement baisse.
- **Orientation et inclinaison** : influencent la quantité de lumière reçue.
- **Encrassement et vieillissement** : réduisent la performance au fil du temps.

I.11 : Facteurs influençant la performance

Plusieurs facteurs peuvent influencer le rendement des panneaux solaires, notamment :

- L'orientation et l'inclinaison du panneau
- La température ambiante
- La poussière et l'encrassement
- L'ombrage partiel ou total

Tableau I.2 : Facteurs environnementaux influençant la production d'énergie

Facteur	Impact	Solution
Température élevée	Réduction du rendement	Utiliser des matériaux résistants à la chaleur
Poussière	Blocage de la lumière	Nettoyage régulier
Ombre	Arrêt de certaines cellules	Utiliser des optimiseurs de puissance

Commentaire pour le tableau I.2 :

Facteurs impactant le rendement des panneaux solaires et solutions

Le tableau présente trois facteurs principaux affectant le rendement des panneaux solaires : la **température élevée**, la **poussière** et l'**ombre**. Chaque facteur peut réduire l'efficacité des panneaux, mais des solutions sont proposées pour y remédier :

- **Température élevée** : Réduit le rendement, mais l'utilisation de matériaux résistants à la chaleur peut aider à minimiser cet impact.
- **Poussière** : Bloque la lumière, réduisant ainsi l'efficacité ; un nettoyage régulier des panneaux permet de maintenir leur performance.
- **Ombre** : Peut entraîner l'arrêt de certaines cellules ; l'utilisation d'optimiseurs de puissance permet de maximiser l'efficacité même en présence d'ombre

I.12 : Limites des matériaux conventionnels

Bien que des matériaux comme l'argent assurent une bonne conductivité, leur coût élevé et les fluctuations du marché en font des solutions non viables à long terme. De plus, les matériaux conventionnels souffrent d'une résistance élevée, ce qui entraîne une perte d'énergie.

I.13 : Conclusion

Les panneaux solaires représentent aujourd'hui une solution incontournable dans la transition énergétique mondiale. Ce chapitre a permis de poser les bases nécessaires pour comprendre leur fonctionnement et leur efficacité.

Nous avons vu que le rayonnement solaire est une ressource abondante et renouvelable, que les panneaux solaires transforment cette lumière en électricité via l'effet photovoltaïque, et que plusieurs types de panneaux existent avec des rendements variables selon les conditions. Ces bases sont indispensables pour aborder les technologies émergentes visant à améliorer ces systèmes. La nanoscience, notamment, ouvre des perspectives prometteuses en matière d'optimisation de l'absorption lumineuse et de réduction des pertes énergétiques. Le chapitre suivant portera ainsi sur la nanoscience et ses principes.

Chapitre II Nanosciences

II.1 Introduction

Nanoscience précisément Nanotechnologie, un simple mot, mais avec un énorme potentiel et un avenir très prometteur pour la science selon les chercheurs et les scientifiques.

Ces dernières années, le nano monde préoccupe les chercheurs dans les entreprises et même de plus en plus le grand public, car la découverte des nanotechnologies fut présentée comme la solution idéale aux nombreux problèmes connus dans le monde comme l'épuisement des ressources d'énergie, les pollutions, le changement climatique et la pénurie d'eau.

Les nanotechnologies sont considérées comme de puissants outils qui permettent d'envisager de nouvelles façons d'exploiter et stocker l'énergie.

À une échelle nanométrique, on trouve une très grande modification au niveau des propriétés physiques de la matière, principalement les énergies caractéristiques des niveaux électroniques, les modes de vibrations des atomes ainsi que leurs interactions avec les photons. Théoriquement l'utilisation des nanostructures dans le domaine du photovoltaïque offre un potentiel de rendement énergétique beaucoup plus élevé que celui du photovoltaïque standard à base de silicium [4]. En partant du principe «plus la dimension de ces nano-objets diminue par rapport au matériau massif, plus l'écart entre leurs propriétés physiques devient plus important». Cette structuration va donc pouvoir ouvrir plus de possibilités dans le processus de conversion photovoltaïque, grâce aux propriétés nouvelles qui caractérisent ces nanostructures.

Ces nanostructures ont des faibles coûts de fabrication, ce qui les rend encore plus intéressant, car le coût de fabrication était toujours considéré comme un inconvénient majeur pour ces systèmes [4].

II.2 : Historique

Le rêve de l'infiniment petit et des nanotechnologies fut naitre en 1959 par le célèbre physicien américain Richard Feynman lors de son discours visionnaire intitulée «There's Plenty of Room at the Bottom» présenté devant l'American Physical Society. Il présenta un ensemble de choses, qui selon lui, seront facilement réalisables dans un futur pas lointain en spéculant toutes les possibilités que la miniaturisation, les technologies de l'information et la physique peuvent offrir et lança le défi d'aller au cœur de la matière pour la transformer, molécule par molécule en manipulant les atomes un à un. Cependant, ces possibilités n'ont pas pu être examinées à cette époque et restèrent de simples prédictions qui enthousiasmaient les chercheurs et les scientifiques. C'était seulement en 1974 que le terme «nanotechnologie» fut évoqué pour la

première fois par Norio Tanigushi, puis il a fallu six Ans Ji de plus pour que ce terme soit popularisé et vulgarisé par Éric Oexler à travers son livre sur la manufacture moléculaire. Ce dernier a beaucoup contribué au cours des années à susciter la découverte des nanotechnologies. Sauf que rien de cela ne pouvait être concrétisé avant l'arrivée du microscope à effet tunnel qui a été inventé par Gerd Binnig et Heinrich Rohrer en 1981 [20].

En 1991, les nanotubes de carbone ont été découverts par S. Iijima. Ce qui a permis la naissance de la nanoscience en 1996, qui a été considérée au début comme une science-fiction car ces applications n'étaient pas encore reconnues au public, jusqu' à 1998 où est créé le Interagency Working Group on Nanotechnology (IWGN) et qui deviendra juste après le National Nanotechnology Initiative (NNI).

Et voilà qu'après une quarantaine d'années, d'immenses progrès ont été réalisés en science et en ingénierie et qui 'ont toutefois pu répondre à certaines questions scientifiques grâce à la nanotechnologie [20].

II.3 Définition

Le terme nanotechnologie signifie toute conception, fabrication et utilisation de structures d'une dimension inférieure à 100 nanomètres (millardième de mètre 10^{-9}). Mais selon la national nanotechnology initiative au états unis (U.S.A), les nanotechnologies font référence à la recherche et à la mise au point de matières au niveau atomique et moléculaire dans un intervalle allant de 1 à 100 nm, afin de pouvoir étudier et connaître les phénomènes au niveau de la molécule, atome par atome, ainsi créer des structures ayant des propriétés fondamentalement nouvelles à cause de leurs tailles [20].

D'après le Royal society au royaume uni (U.K), il y' a une distinction entre les nanosciences et les nanotechnologies et trouve que les nanotechnologies couvrent seulement la conception, la mise au point et la production de structures et dispositifs à l'échelle nanométrique. Alors que l'étude et la manipulation des particules au niveau nanométrique sont définies plutôt par le terme «nanosciences» [20].

La nanoscience est donc définie comme étant le domaine qui porte sur l'étude des phénomènes à une échelle nanométrique.

Les nanotechnologies ont pour objectifs d'élaborer de nouveaux dispositifs et matériaux plus petits et plus performants grâce aux avantages de leurs propriétés nouvelles, que ce soit

physique ou chimique et visent aussi à fabriquer des systèmes et des appareils avec de nouvelles propriétés et de nouvelles fonctions.

La constitution à l'échelle nanométrique va aider améliorer les performances grâce à de nombreux facteurs : la réduction des dimensions des particules, une amplification des interfaces et des surfaces spécifiques, une multiplication des interactions entre matériaux, un effet de confinement [21].

II.4 Les nanomatériaux

Les nanomatériaux, en raison de leurs propriétés exceptionnelles à l'échelle nanométrique, sont au cœur d'importants progrès technologiques. Ces matériaux présentent des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques uniques qui varient considérablement de leurs homologues à l'échelle macroscopique. Le développement de méthodes efficaces pour leur fabrication est essentiel à leur intégration dans les secteurs industriels et scientifiques. Cette partie de la recherche examine en profondeur les principales techniques de fabrication des nanomatériaux, en les catégorisant en méthodes mécaniques, chimiques, physiques et biologiques, tout en analysant leurs avantages, limites et applications.

II.4.1 : Classification des techniques de fabrication

La fabrication des nanomatériaux repose sur diverses approches scientifiques et industrielles, regroupées généralement en quatre grandes catégories : les techniques mécaniques, chimiques, physiques et biologiques. Chaque catégorie regroupe plusieurs méthodes ayant pour but de créer des particules de dimensions nanométriques tout en contrôlant leur structure, leur morphologie et leurs propriétés fonctionnelles. Nous présentons ci-dessous une analyse détaillée de chaque groupe de techniques.

II.4.1.1 Techniques mécaniques

Les techniques mécaniques consistent à transformer les matériaux en réduisant leur taille physique par l'application de forces mécaniques. Elles sont souvent utilisées dans l'industrie pour produire des poudres nanométriques à partir de matériaux massifs. Parmi ces méthodes, on retrouve :

- Le broyage à haute énergie : cette technique repose sur l'utilisation de broyeurs planétaires où les particules sont réduites à l'échelle nanométrique grâce à l'impact entre les billes et les parois du broyeur.

- Le fraisage à billes : similaire au broyage, mais appliqué à différentes configurations industrielles, il permet la production de grandes quantités de poudres nanostructurées.
- La lithographie mécanique : utilisée dans les laboratoires pour structurer des surfaces, elle permet également la création de motifs à très petite échelle.

II.4.1.2 : Techniques chimiques

Les méthodes chimiques impliquent des réactions entre différentes substances pour produire des nanoparticules de manière contrôlée. Elles sont largement utilisées en raison de leur capacité à produire des matériaux avec des tailles et des formes spécifiques.

- **Méthode Sol-Gel** : cette technique permet de transformer un sol (suspension colloïdale) en un gel qui, après séchage et traitement thermique, donne naissance à un matériau solide nanostructuré.
- **La précipitation chimique** : elle repose sur la création d'un surnageant saturé dans lequel des particules précipitent de manière contrôlée.
- **Dépôt chimique en phase vapeur (CVD)** : consiste à introduire des gaz réactifs dans une chambre chauffée pour former un film mince à la surface d'un substrat.

II.4.1.3 : Techniques physiques

Les méthodes physiques exploitent des principes tels que l'évaporation, la condensation ou l'ablation pour déposer ou former des structures nanométriques. Elles sont généralement plus coûteuses mais offrent une grande précision.

- **Dépôt physique en phase vapeur (PVD)** : les matériaux sont évaporés dans le vide, puis se condensent sur un substrat.
- **L'ablation laser** : un faisceau laser de haute intensité est utilisé pour vaporiser une cible, formant un plasma contenant les composants du matériau.
- **Évaporation thermique** : une technique simple utilisée pour déposer des couches minces sur des substrats divers.

II.4.1.4 : Techniques biologiques

Ces méthodes s'appuient sur des processus biologiques pour produire des nanomatériaux. Elles sont particulièrement appréciées pour leur aspect écologique.

- **Biosynthèse bactérienne** : certaines bactéries ont la capacité de réduire les ions métalliques en nanoparticules de manière naturelle.
- Synthèse à partir d'extraits végétaux : les composés organiques présents dans les plantes agissent comme réducteurs naturels.

- **Fermentation microbienne** : permet de créer des structures nanométriques via les processus métaboliques de micro-organismes spécifiques.

Tableau II.1 comparatif des techniques de fabrication des nanomatériaux :

Technique	Avantages	Inconvénients	Exemples
Mécanique	Simple, peu coûteuse	Moins précise, forte consommation énergétique	Broyage, formage, laminage
Chimique	Contrôle précis de la taille et de la forme	Utilisation de réactifs parfois toxiques	Sol-Gel, CVD, précipitation chimique
Physique	Haute pureté, grande précision	Coûteuse, nécessite des équipements avancés	PVD, évaporation, ablation laser
Biologique	Écologique, durable	Difficile à industrialiser à grande échelle	Bactéries, extraits végétaux

Ce tableau présente une comparaison des principales techniques utilisées pour la fabrication des nanomatériaux. Chaque méthode a ses propres atouts et limites, ce qui détermine son choix selon les besoins industriels, la précision souhaitée et le coût. Par exemple, les techniques chimiques permettent un bon contrôle sur la morphologie des nanoparticules, tandis que les méthodes biologiques sont plus respectueuses de l'environnement

II.4.2 : Propriétés des nanomatériaux

- Propriétés optiques : ajustement de l'absorption et de la réflexion en fonction de la taille.
- Propriétés électriques : conductivité améliorée, utile pour les dispositifs photovoltaïques.
- Propriétés thermiques : réduction des pertes de chaleur ou dissipation contrôlée.
- Grande surface spécifique : augmente les interactions avec la lumière.
- Effets quantiques : permettent de moduler la bande interdite (band gap).

II.5 : Domaine et applications des nanotechnologies

Les nanotechnologies font l'objet de nombreuses recherches dans le monde, même si au début les recherches dans le domaine de la nanotechnologie étaient focalisées dans seulement quelques domaines. Aujourd'hui, le monde nano a pris beaucoup d'expansion et ses applications sont émergentes que ce soit dans les domaines de l'industrie automobile, aéronautique et

spatiale, de l'électronique, de la pharmaceutique et des biotechnologies, de l'énergie et de l'environnement.

II.5.1 Industrie automobile et aéronautique

Les nanotechnologies ont contribué dans le développement de ce domaine grâce aux matériaux utilisés maintenant pour la fabrication des véhicules et qui sont plus renforcés par des nanoparticules et plus légers automatiquement, des pneus plus résistants et recyclables, des plastiques ininflammables et beaucoup moins chers.

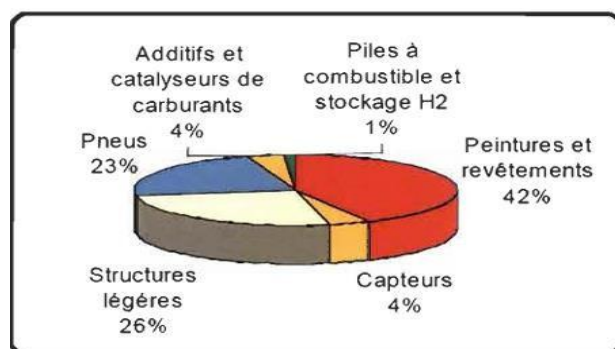


Figure II.1 Le marché des nanotechnologies dans l'automobile en 2015 [22].

II.5.2 Nanoélectronique

Ce domaine est celui qui a été le plus exposé à la nanotechnologie et qui a subi un immense développement, que ce soit par la miniaturisation ou par l'invention d'outil et concerne tout ce qui a un rapport avec l'électronique ou l'informatique comme des ordinateurs, cellulaires, cartes mémoires ou des cartes à puce utilisant des points quantiques ou des nano couches, des écrans plats grâce à l'évolution des transistors, des systèmes de surveillance miniaturisés, des nouvelles machines ou appareils dans tous les domaines des technologies et des communications avec des capacités d'enregistrement et des vitesses de traitement beaucoup plus rapides et moins coûteuses [20].

II.5.3 Biotechnologies

La nanotechnologie a aussi joué un grand rôle dans ce domaine, car elle nous a permis d'étudier la structure des composants moléculaires fondamentaux de la vie comme les protéines, les acides, les vitamines, les lipides, etc..., et ainsi fabriquer de nouveaux médicaments et des produits chimiques ou pharmaceutiques basés sur des nanostructures.

Les nanotechnologies ont aussi sollicité le domaine de la chimie biomimétique [20].

II.5.4 Domaine biomédical

Ce domaine est considéré comme le domaine le plus prometteur pour les nanotechnologies vu toutes les révolutions connues ces dernières années dans ce domaine. Grâce à la nano-exploration et le nano-diagnostic en raison de la capacité d'agir à l'échelle des nanostructures, des matériaux nanométriques pourraient être injectés à des endroits précis du corps humain pour le diagnostic. Il est aussi possible de caractériser les propriétés physiques et chimiques des cellules. Les nanotechnologies permettront aussi la génération des tissus ou des organes humains et aussi la création de prothèses plus résistantes, compatibles et plus fiables avec une meilleure longévité, mais aussi de pouvoir guérir quelques maladies comme le cancer grâce aux nano-aimants utilisés à cet effet [20].

II.5.5 Secteur spatial et militaire

Dans ce domaine, on trouve une grande utilisation des nanotechnologies et ça va forcément croître de plus en plus dans les années à venir surtout pour alléger et miniaturiser de nouveaux matériaux, ce qui permettra d'avoir des engins spatiaux plus légers. Les nanotechnologies permettront aussi de faire des améliorations au niveau de l'armement en améliorant de différents missiles par exemple ou en renforçant les blindages, le passage à l'échelle nano pourrait aussi aider à créer des nano machines très petites et très efficaces comme les robots, les capteurs et les détecteurs [20].

II.5.6 Secteur de l'énergie et de l'environnement

Les nanotechnologies sont considérées comme la solution à tous les problèmes rencontrés dans le domaine de l'énergie et aussi de l'environnement, l'arrivée de ces derniers a changé la mise et a ouvert de nouveaux horizons surtout pour les énergies renouvelables, les nanotechnologies permettront une production, un stockage, une conversion et une gestion plus efficace de l'énergie et plus écologique avec de nouveaux types de batteries ou des installations photosynthèses, une utilisation de l'hydrogène comme combustible propre grâce à des nanotubes de carbone. Ce qui a permis à son tour de réduire les sources de pollution et de trouver de nouvelles opportunités pour le recyclage ou encore des membranes sélectives qui peuvent filtrer les contaminants avec des pièges nano structurés pour enlever les polluants.

II.6 Conclusion

Ce deuxième chapitre a été consacré aux nanosciences et aux nanotechnologies qui possèdent un fort potentiel et promettent une grande révolution à la technologie. En outre, grâce à la miniaturisation de la taille d'un objet à l'échelle nanométrique qui peut modifier les propriétés de ce dernier et même d'obtenir des meilleurs que celle de l'objet original. La richesse de leurs propriétés a permis à la science une révolution inégalée dans de nombreuses applications dans différents domaines. Cependant, les nanotechnologies sont toujours de l'actualité et représentent un grand intérêt pour la communauté scientifique et industrielle.

Chapitre III
Application des nanosciences dans l'industrie
solaire

Chapitre III Application des nanosciences dans l'industrie solaire

III.1 : Introduction

L'avènement de la nanotechnologie offre des perspectives fascinantes pour le secteur de l'énergie solaire, promettant une révolution dans la manière dont nous exploitons l'énergie du soleil.

L'intégration des nanosciences dans l'industrie solaire a transformé la conception, la fabrication et les performances des panneaux photovoltaïques, permettant de surmonter certaines limites des technologies traditionnelles basées sur le silicium. Les nanotechnologies offrent des solutions innovantes pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire les coûts de production et accroître la durabilité des systèmes solaires, rendant cette source d'énergie plus compétitive sur le marché mondial. Cette section explore les principales applications des nanosciences dans l'industrie solaire, en mettant en évidence les technologies émergentes, les produits commercialisés et leur impact économique et environnemental.

III.2 : Cellules solaires à base de nanomatériaux

Les nanomatériaux, tels que les points quantiques et les nanofils, sont de plus en plus utilisés dans la fabrication de cellules solaires de nouvelle génération. Les points quantiques, par exemple, permettent d'ajuster les propriétés d'absorption de la lumière pour capturer une gamme plus large du spectre solaire, y compris les longueurs d'onde infrarouges, augmentant ainsi l'efficacité de conversion énergétique [23]. Des entreprises comme *Quantum Dot Solar* ont commencé à commercialiser des cellules solaires à base de points quantiques, avec des rendements atteignant 18 % dans des prototypes industriels, surpassant les cellules à couche mince traditionnelles [24].

Les nanofils, quant à eux, sont employés pour créer des cellules solaires à structure tridimensionnelle, augmentant la surface d'absorption de la lumière tout en réduisant la quantité de matériau nécessaire. Des recherches menées par le *Laboratoire National des Énergies Renouvelables* (NREL) ont démontré que les cellules à nanofils de silicium peuvent atteindre des efficacités proches de 20 % tout en diminuant les coûts de production de 30 %.

Les nanofils d'argent (AgNWs) sont des matériaux idéaux qui combinent une conductivité exceptionnelle et une flexibilité, ce qui les rend parfaits pour les électrodes des cellules solaires. Grâce à leur structure à l'échelle nanométrique, les nanofils d'argent permettent une meilleure circulation des électrons par rapport aux matériaux traditionnels. Par rapport aux cellules monocristallines classiques [24].

Chapitre III Application des nanosciences dans l'industrie solaire

De plus, la fabrication de ces nanofils est moins coûteuse comparée à l'argent pur, ce qui les rend plus économiques pour l'industrie des panneaux solaires.

Nanofils de cuivre (CuNWs) : Une option plus économique que l'argent, mais pouvant souffrir de corrosion.

III.3 : Intégration du graphène dans les couches conductrices des cellules solaires

Le graphène, un matériau composé d'une seule couche d'atomes de carbone disposés dans une structure hexagonale, possède une conductivité électrique exceptionnelle et une grande flexibilité. Son intégration dans les cellules solaires améliore considérablement la conductivité électrique et l'efficacité globale des cellules. De plus, l'utilisation du graphène dans les couches transparentes permet d'obtenir une combinaison idéale de haute performance et de transparence nécessaire pour l'absorption de la lumière.

Graphène : Offre une conductivité exceptionnelle et une flexibilité élevée, ce qui en fait un matériau idéal pour les cellules solaires flexibles.

III.4 : Effet des nanotubes de carbone sur la mobilité des porteurs de charge

Les nanotubes de carbone (CNTs) sont l'un des matériaux les plus prometteurs pour améliorer les performances des cellules solaires. Grâce à leur structure unique, les nanotubes de carbone favorisent l'augmentation de la mobilité des porteurs de charge, réduisant ainsi la résistance interne et améliorant la collecte des électrons. Cela permet de réduire la perte d'énergie et d'augmenter l'efficacité des cellules photovoltaïques.

Nanotubes de carbone (CNTs) : Offrent une conductivité thermique et électrique élevée, utilisés pour améliorer le transport des charges.

III.5 : Revêtements plasmoniques et optimisation de la lumière

Les nanotechnologies plasmoniques, qui exploitent les oscillations des électrons à la surface des nanoparticules métalliques (comme l'or ou l'argent), sont appliquées pour améliorer le piégeage de la lumière dans les panneaux solaires. Ces revêtements plasmoniques, intégrés dans la couche active des cellules, amplifient le champ électromagnétique local, augmentant l'absorption de la lumière sans nécessiter d'épaissir le matériau semi-conducteur [25].

Chapitre III Application des nanosciences dans l'industrie solaire

Des fabricants comme *First Solar* ont expérimenté ces revêtements dans des modules photovoltaïques à couche mince, obtenant une augmentation de l'efficacité de 2 à 3 % par rapport aux modèles standards.

III.6 : Applications dans les panneaux solaires à concentration

Dans le domaine des panneaux solaires à concentration (CPV), les nanosciences jouent un rôle clé en optimisant les lentilles et les miroirs utilisés pour focaliser la lumière solaire. Les nanostructurations de surface, comme les motifs nanophotoniques, réduisent les pertes par réflexion et améliorent la transmission de la lumière vers les cellules multi-jonctions à haute efficacité. Ces technologies sont particulièrement pertinentes dans les régions à fort ensoleillement, comme le désert algérien, où les systèmes CPV sont en cours de déploiement dans des projets pilotes soutenus par *Sonelgaz* [26].

III.7 : Types de nanomatériaux utilisés dans les cellules solaires

D'autre part, les nanomatériaux avancés, tels que les nanoparticules métalliques ou les nanofils de carbone, ouvrent également de nouvelles perspectives. Leur intégration dans les cellules photovoltaïques permet d'améliorer l'absorption lumineuse et la conversion énergétique grâce à leurs propriétés uniques au niveau nanométrique.

Divers types de nanomatériaux sont actuellement explorés pour leur intégration dans les panneaux solaires :

Tableau III.1 : Types de nanomatériaux utilisés dans les cellules solaires

Type de nanomatériau	Propriétés clés	Rôle dans la cellule solaire
Quantum dots (QD)	Absorption variable selon la taille	Large spectre d'absorption
Nanotubes de carbone	Haute conductivité électrique	Transport efficace des charges
Graphène	Transparent, conducteur, flexible	Électrode conductrice
Nanoparticules métalliques	Plasmonique, augmentation de l'absorption	Piégeage de la lumière
Nanofils de silicium	Surface augmentée, bonne orientation optique	Augmentation de la surface d'absorption

Ce tableau offre une vue d'ensemble des principaux nanomatériaux utilisés dans les cellules photovoltaïques. Il met en évidence leurs propriétés uniques (telles que la conductivité élevée ou l'absorption variable) ainsi que leur rôle spécifique dans la cellule, comme l'amélioration du transport des charges ou l'optimisation de l'absorption lumineuse. Cela permet de choisir le nanomatériau le plus adapté à chaque technologie solaire.

Chapitre III Application des nanosciences dans l'industrie solaire

III.8 : Impact économique et environnemental

L'adoption des nanotechnologies dans l'industrie solaire a des implications significatives sur le plan économique. Bien que les coûts initiaux de recherche et de développement des nanomatériaux restent élevés, leur intégration permet de réduire la quantité de matériaux coûteux (comme le silicium de haute pureté) et d'abaisser les coûts de production à long terme. Par exemple, les cellules solaires à base de pérovskites nanostructurées, en phase de pré-commercialisation, offrent des rendements comparables à ceux du silicium pour un coût de fabrication inférieur de 40 % [27].

Sur le plan environnemental, les nanotechnologies contribuent à améliorer la durabilité des panneaux solaires en prolongeant leur durée de vie et en réduisant leur empreinte carbone. Les revêtements nanotechnologiques protecteurs, comme les couches d'oxyde de titane nanostructuré, augmentent la résistance des panneaux aux conditions climatiques extrêmes, un facteur crucial pour les installations solaires dans des régions arides comme l'Algérie [26].

Alors d'un point de vue technique, plusieurs obstacles doivent être franchis pour que la nanotechnologie devienne un pilier central du secteur solaire. La stabilité à long terme des matériaux nanostructures est essentielle pour garantir une durabilité suffisante face aux conditions climatiques variées auxquelles ils seront exposés.

Ainsi, bien que riche en potentiel, l'intégration réussie de la nanotechnologie dans l'énergie solaire nécessite une approche équilibrée qui tient compte tant des avancées technologiques que des implications sociétales et environnementales.

III.9 : Conclusion

Dans ce le troisième chapitre, nous avons une vue globale sur l'utilisation de ces nanomatériaux dans l'industrie de solaire, sur la conversion de l'énergie et sur les avantages qu'ils offrent aux cellules solaires, grâce à leurs propriétés et cela à travers l'effet de la taille quantique et celui du confinement géométrique ou optique et enfin nous avons terminé le chapitre par l'impact de ces matériaux aux domaines économique et environnemental.

Chapitre IV Etude de Cas

IV.1 : Introduction

Les nanosciences sont une science appliquée qui étudie la transformation des matériaux aux niveaux moléculaire et atomique [28]. Cette science s'est développée et possède de nombreuses applications dans la production, le stockage et la conversion d'énergie. Elle est ainsi devenue l'un des domaines de la science des matériaux, de la physique, du génie mécanique et du génie chimique [29]. Elle a été utilisée dans la technologie des panneaux solaires pour augmenter leur efficacité de 30 à 40 %. Il s'agit d'obtenir une absorption maximale de la lumière solaire et ainsi de se passer des combustibles fossiles. Le soleil nous fournit 342 watts d'énergie solaire par mètre carré de surface terrestre [30]. Cette énergie ne peut être absorbée à 100 % par les cellules solaires conventionnelles. C'est pourquoi les scientifiques ont envisagé de produire des cellules plus efficaces et de les utiliser à grande échelle. Des cellules solaires transparentes ont été inventées pour capter l'énergie des fenêtres des maisons, des voitures et des écrans de téléphones [31]. Les scientifiques cherchent à utiliser cette technologie à grande échelle pour stocker l'énergie. Dans cette recherche, nous comparerons des panneaux de contreplaqué traditionnels et des panneaux de contreplaqué transparents. Nous utilisons des panneaux solaires monocristallins et des panneaux solaires transparents. Nous démontrons le rôle des nanosciences dans le développement de ces panneaux.

Les panneaux solaires transparents et les panneaux solaires monocristallins représentent deux approches distinctes dans le domaine photovoltaïque, chacune offrant des avantages spécifiques adaptés à des applications variées. L'intégration des nanotechnologies a permis d'améliorer leurs performances, que ce soit en termes d'esthétique, d'efficacité ou de durabilité. Ce chapitre explore les caractéristiques de ces deux types de panneaux, leur développement grâce à la nanoscience, et leurs perspectives d'avenir.

➤ **Panneaux solaires transparents**

Les panneaux solaires transparents sont conçus pour combiner la génération d'énergie avec des applications architecturales, comme les fenêtres des bâtiments. Ces panneaux utilisent des matériaux nanostructurés, tels que les points quantiques (quantum dots) ou les couches minces organiques, pour absorber la lumière dans des longueurs d'onde spécifiques (souvent l'infrarouge ou l'ultraviolet) tout en restant transparents à la lumière visible.

Avantages : Leur intégration dans les façades ou les vitres permet une production d'énergie sans compromettre l'esthétique. Des recherches récentes ont atteint une transparence de 70 % avec une efficacité de 10-12 % [32].

Rôle de la nanoscience : Les nanoparticules semi-conductrices ajustent la bande interdite pour capter l'énergie sans affecter la visibilité. Par exemple, les points quantiques à base de sulfure de cadmium (CdS) améliorent l'absorption dans l'infrarouge [33].

➤ **Panneaux solaires monocristallins**

Les panneaux monocristallins, fabriqués à partir de lingots de silicium monocristallin, sont parmi les technologies photovoltaïques les plus courantes. Leur structure cristalline uniforme offre une efficacité élevée, variant entre 17 % et 22 % dans les modèles commerciaux, avec des pics atteignant 24 % en laboratoire.

Avantages : Leur efficacité et leur durabilité (jusqu'à 30 ans) les rendent idéaux pour les installations à grande échelle, comme les centrales solaires. La nanoscience améliore davantage leurs performances via des nanostructures antireflets et des électrodes transparentes [34].

Rôle de la nanoscience : Les nanofils de silicium et les revêtements nanostructurés réduisent les pertes par réflexion, augmentant l'absorption de la lumière. Une étude récente a montré une augmentation de 5 % de l'efficacité grâce à ces modifications [35].

IV.2 : Matériels et méthodes

IV.2.1 : Matériels

IV.2.1.1 : Panneau solaire monocristallin

Les panneaux solaires monocristallins sont les meilleurs panneaux solaires photovoltaïques [36].

Les modules solaires Mono PERC augmentent considérablement l'efficacité du système photovoltaïque.

Caractéristiques du produit Mono PERC.

Durée de vie de 25 ans, garantissant des performances maximales tout au long de la vie du système photovoltaïque.

Structure monocellulaire PERC haute performance.

Absorption de la lumière faible et résistance aux températures élevées.

Absorption lumineuse accrue, la lumière non absorbée étant réfléchie vers la cellule solaire.

Nous menons une expérience pour déterminer l'efficacité de 8 panneaux solaires dans l'unité AOULEF Adrar de Sonelgaz Corporation.

Les caractéristiques du panneau solaire sont présentées à la figure (IV.1).

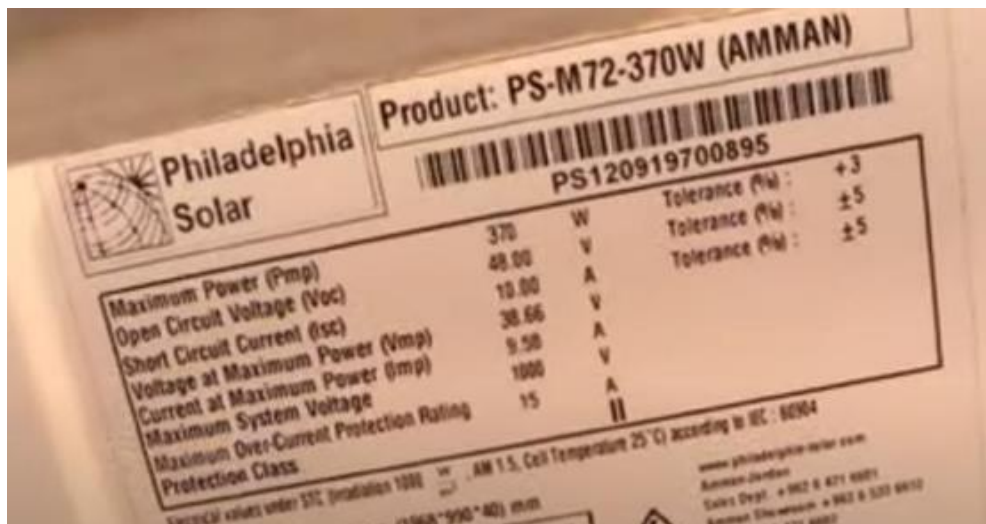


Figure IV 1. Caractéristiques du panneau solaire.

Ce panneau est exposé à un rayonnement solaire de 928 watts par mètre carré.

Nous utilisons le testeur d'énergie solaire photovoltaïque intégré.

IV.2.1.2 : Panneau solaire transparent

Caractéristiques d'une feuille transparente

Ces panneaux utilisent des condensateurs solaires luminescents, des éléments composés de sels organiques intelligents qui absorbent les composantes invisibles de la lumière naturelle, notamment les rayons infrarouges et ultraviolets.

La figure (IV. 2) illustre la forme des panneaux transparents.

Utilisable partout : fenêtres, toits de bâtiments. Destinations...

Cette technologie pourrait révolutionner la conception des bâtiments et des bureaux du futur [37].

Le bâtiment comportera le plus grand nombre de fenêtres et de vitres.

Des scientifiques de l'Université de Californie ont créé un modèle capable d'extraire le rayonnement infrarouge.



Figure IV. 2. Panneaux solaires transparents.

Cela nous permet d'obtenir deux avantages : le premier est de produire de l'électricité, et le second est de limiter la chaleur solaire, qui fournit de l'énergie de refroidissement aux climatiseurs [38].

Les panneaux solaires transparents présentent l'avantage supplémentaire de fonctionner dans des conditions de faible luminosité, ce qui augmente le nombre d'heures de production d'électricité tout au long de l'année.

La figure (IV.3) montre une maison composée de panneaux translucides. Une maison dans l'Ohio, aux États-Unis, composée de panneaux solaires transparents.



Figure IV.3. Une maison construit en panneaux solaires transparents

En Europe, l'entreprise **SalarGaps** travaille à l'intégration de ces panneaux dans des stores.

Chaque mètre carré peut produire 100 watts d'énergie et alimenter 3 ordinateurs.

Cette énergie est inférieure à celle produite par un panneau solaire monocristallin.

Mais un mètre carré peut être utilisé pour installer 6 panneaux transparents, ce qui multiplie l'énergie par 6.

IV.3 : Résultat et discussion

Pour calculer la quantité de rayonnement solaire et l'intensité du courant, et connaître le rendement du panneau.

La puissance est de 370 watts.

Nous utilisons des batteries de 12 volts (12 volts - 200 Ah) avec une tension de 12 volts. Nous assemblons 4 batteries pour obtenir 800 ampères-heures, soit $12 \times 4 = 48$ volts.

Capacité de la batterie (Wh) = Tension de la batterie x Capacité de la batterie (Ah) (1)

Nous effectuons les calculs pour déterminer la quantité d'électricité consommée.

Le matin :

Nous disposons de 8 panneaux d'une capacité de 370 watts x 8 = 2960 watts.

Pour utiliser des appareils électroménagers 220V, le système nous donne 13,45A (2960/220).

Nous économisons sur la consommation d'électricité la nuit.

La capacité des batteries est de 800 Ah / 13,45 Ah = 59,47 Ah. Nous limitons le calcul à 40 ampères afin de préserver la durée de vie des batteries.

Cette quantité d'électricité peut alimenter une maison à 2,5 ampères et 220 volts pendant environ 10 heures la nuit.

L'efficacité d'un panneau solaire est la mesure de sa capacité à convertir la lumière du soleil en électricité utilisable.

La surface du panneau est de $120 \times 90 \text{ cm}^2$

Efficacité de la cellule = capacité de la cellule (KW) / surface du panneau (m^2) $\times 100 = 34 \%$

Applications pratiques de l'intégration de la nanotechnologie pour améliorer l'efficacité des cellules solaires :

La nanotechnologie est utilisée pour fabriquer des nanotubes [39].

Un certain nombre d'atomes de carbone sont rassemblés et attachés.

Jusqu'à ce qu'il devienne comme du papier avec une surface fine et qu'il soit roulé en tube.

Il se caractérise par sa dureté et sa bonne conductivité électrique et thermique [40].

Il est utilisé à l'intérieur des panneaux solaires pour améliorer leur efficacité, notamment par temps de pluie, car cette technologie nettoie le panneau et assure une efficacité énergétique maximale.

Il est également utilisé pour améliorer le stockage de l'énergie dans les batteries.

L'assemblage de millions de nanofils donne naissance à des super condensateurs dont les propriétés en font un substitut idéal aux batteries au lithium. Charge ultra-rapide.

La vitesse de chargement est telle que les appareils électriques équipés de condensateurs à nanofils peuvent être rechargés en quelques secondes, tandis que la charge dure plus d'une semaine dans des conditions normales d'utilisation.

Tableau IV.1 : Comparaison entre les panneaux solaires transparents et monocristallins.

Critère	Panneaux transparents	Panneaux monocristallins
Efficacité (%)	10-12	17-22
Transparence	70 %	0 %
Coût (USD/Watt)	0,8-1,0	0,3-0,5
Durabilité (années)	20-25	25-30
Applications	Bâtiments, vitres	Centrales, toits

IV.4 : Conclusion

L'étude comparative de l'efficacité énergétique des panneaux solaires monocristallins et transparents met en lumière les avantages et les inconvénients de chaque type dans le cadre de l'optimisation des systèmes d'énergie renouvelable.

Les panneaux solaires transparents sont très efficaces et peuvent absorber 90 % des rayons du soleil. Les cellules monocristallines, quant à elles, sont des cellules taillées dans un seul cristal de silicium et ont un rendement de 34 % [41]. En termes de coût, les panneaux solaires transparents sont plus chers. Un panneau solaire produisant 300 watts coûte 60 000 DZD, tandis que le panneau transparent coûte 240 000 DZD.

Les nanosciences peuvent être utilisées pour améliorer les performances des cellules photovoltaïques [42]. Cependant, elle présente des failles qui ont été démontrées par de nombreuses études médicales qui confirment le danger pour la santé des matériaux fabriqués avec des nanotubes de carbone, car ils provoquent des tumeurs malignes. En effet, l'entrée de nanoparticules dans le corps humain peut affecter le système immunitaire, les poumons et le cerveau [43]. Malgré cela, la recherche se poursuit dans ce domaine.

En conclusion, le choix entre panneaux monocristallins et transparents dépendra des besoins spécifiques en matière de production énergétique et des contraintes d'intégration, chaque technologie apportant des solutions adaptées à des contextes variés.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives :

Les panneaux solaires transparents et monocristallins répondent à des besoins différents, les premiers favorisant l'intégration architecturale et les seconds l'efficacité énergétique. La nanoscience renforce leurs performances respectives, ouvrant la voie à des applications diversifiées.

Les perspectives futures dans ce domaine nécessiteront une attention continue sur l'innovation et la recherche pour améliorer encore l'efficacité de ces systèmes solaires, dans un monde cherchant à réduire son empreinte carbone et à adopter des solutions durables.

Les recherches se concentrent sur l'amélioration de la stabilité des panneaux transparents grâce à des encapsulant nanostructures, tandis que les panneaux monocristallins évoluent vers des designs hybrides intégrant des nanomatériaux pour capter un spectre plus large. En Algérie, où le potentiel solaire est élevé, ces technologies pourraient être combinées dans des projets urbains et désertiques [44].

En somme, les avancées en nanoscience constituent une avenue stratégique pour améliorer l'efficacité et la viabilité des panneaux solaires en Algérie. En promouvant la recherche et le développement dans ce secteur, le pays peut non seulement optimiser son utilisation des ressources renouvelables, mais également sa position comme un acteur clé dans le domaine des technologies solaires sur le marché mondial.

La transition vers une économie verte, centrée sur une utilisation plus intelligente et efficace de ses abondantes ressources solaire, représente un défi mais également une opportunité pour l'Algérie d'élever sa stature sur la scène énergétique internationale, tout en préservant ses ressources naturelle pour les générations à venir.

Référence Bibliographique

Références Bibliographiques :

[1] : Desertec Industry Initiative et Sonelgaz conviennent de coopérer étroitement dans le domaine des énergies renouvelables

[2] : Algérie: Énergie solaire- Une filière prometteuse, Samira Imadalou, La Tribune, 18 juillet 2011

[3] : Présentation New Energy Algeria, Site officiel de la NEA, Consulté de 18/07/2012

[4] : Énergies renouvelables: Des panneaux solaires made in Algeria disponibles sur le marché, La rédaction, El Moudjahid, 15 février 2012

[5] : José Miguel Navarro, Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible, Thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2008.

[6] : L. de Schoulepnikoff et Gymnase Auguste Piccard, Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années , Travail de maturité Alexandra Catana, 3M7, 2009.

[7] : SITE internet <http://www.energies-renouvelables.org/>

[8] : Berregui Abdelfettah et Absa Amjed ; « Etude technicoéconomique d'une installation photovoltaïque pour application dans la région de Ouargla »

[9] : Philippe Guibert ; « TP Energie Solaire » Université pierre et marie curie : Master Energétique et Environnement.

[10] : N. Houcine ; « Etude de gestion d'une mini-centrale solaire et mise au point d'un dispositif automatique de mesures, contrôle et régulation de l'énergie électrique ». Thèse de Doctorat. Université de la science et de la technologie d'Oran Mohammed Boudiaf, Juin 2016.

[11] : [http://www. Production d'énergie électrique : Energie solaire photovoltaïque.](http://www.Production d'énergie électrique : Energie solaire photovoltaïque.)

[12] : <https://www.afrik21.africa/>

[13] : Missoum Mohammed, « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie », Mémoire de Magistère, Université hassiba benbouali de chlef, 11 décembre 2011

[14] : M. PETIBON Stéphane, Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques, Université de Toulouse, 2009.

[15] : Amer Hamzaoui, « Effet de l'illumination sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires au silicium polycristallin », Université Ferhat Abbas – Sétif, Mémoire de Magister, 07/03/2012.

[16] Mebrouki Abdallah et Djaafri Abdikrim, « Etude d'un système Hybride Cas Central Kabertene », mémoire de fin d'études, Université Ahmed Draïa Adrar, 2016.

[17] : Makhelouf Messaoud. Modélisation et optimisation de système de production d'énergies renouvelables couple au réseau, Mémoire de Magister 2012. Université Mentouri de CONSTANTINE.

Référence Bibliographique

- [18] : Merabet –Abd El Hak. Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'alimentation d'une habitation, mémoire de master 2018. Université de BISKRA.
- [19] : Anne Labouret et Michel Villos ; " Energie solaire photovoltaïque ". Série environnement et sécurité. Edition le monteur.
- [20] : Mohamed Mimoune ; « ÉTUDE DES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES BASÉS SUR LES NANOTECHNOLOGIES » MARS 2016
- [21] : agora.qc.ca/dossiers/nanotechnologie.
- [22] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/innovations-th10/nanosciences-concepts-caracterisation-et-aspects-securite-42194210/les-nanotechnologies-du-fondamental-aux-applications-nm112/>.
- [23] Sargent, E. H. (2020). « Colloidal quantum dot solar cells ». *Nature Photonics*, 6(3), 133-135.
- [24] Green, M. A., Dunlop, E. D., & Hohl-Ebinger, J. (2022). “ Solar cell efficiency tables” (*Version 60*). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 30(1), 3-12.
- [25]: Atwater, H. A., & Polman, A. (2021). « Plasmonics for improved photovoltaic devices. *Nature Materials* », 9(3), 205-213.
- [26] : Boudries, R. (2023). « Perspectives de l'énergie solaire en Algérie : rôle des nanotechnologies ». *Revue des Énergies Renouvelables*, 26(2), 45-60.
- [27] : Park, N. G., & Zhu, K. (2022). « Scalable fabrication of perovskite solar cells ». *Nature Reviews Materials*, 3(4), 1-17.
- [28] Brown, K. A., Brittman, S., Maccaferri, N., Jariwala, D., & Celano, U. (2019). “Machine learning in nanoscience: big data at small scales. *Nano Letters*”, 20(1), 2-10.
- [29] Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2019). “The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine”. *Molecules*, 25(1), 112.
- [30] Yousef, M. S., Hassan, H., & Sekiguchi, H. (2019). “Energy, exergy, economic and enviroeconomic (4E) analyses of solar distillation system using different absorbing materials”. *Applied Thermal Engineering*, 150, 30-41.
- [31] Husain, A. A., Hasan, W. Z. W., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Pandey, S. S. (2018). “A review of transparent solar photovoltaic technologies”. *Renewable and sustainable energy reviews*, 94, 779-791.

Référence Bibliographique

- [32] Li, Y., & Zhang, H. (2024). “Transparent photovoltaic windows using quantum dots”. *Applied Energy*, 355, 123-130.
- [33] Kim, J., & Park, S. (2023). “Nanomaterials for transparent solar cells” : Advances and challenges. *Nano Energy*, 105, 108-115.
- [34] Smith, R., & Brown, T. (2025). “Enhancing monocrystalline solar cells with nano technology”. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 150, (en cours de publication, prévision basée sur tendances).
- [35] Chen, X., & Wang, L. (2024). “Nanostructured antireflective coatings for monocrystalline silicon solar cells”. *Journal of Photovoltaics*, 14(3), 89-96.
- [36] Ameer, A., Berrada, A., Bouaichi, A., & Loudiyi, K. (2022). « Long-term performance and degradation analysis of different PV modules under temperate climate ». *Renewable Energy*, 188, 37-51.
- [37] Pulli, E., Rozzi, E., & Bella, F. (2020). “Transparent photovoltaic technologies: Current trends towards upscaling”. *Energy Conversion and Management*, 219, 112982.
- [38] Azani, M. R., Hassanpour, A., & Torres, T. (2020). « Benefits, problems, and solutions of silver nanowire transparent conductive electrodes in indium tin oxide (ITO)- free flexible solar cells ». *Advanced Energy Materials*, 10(48), 2002536.
- [39] Jain, N., Gupta, E., & Kanu, N. J. (2022). “Plethora of carbon nanotubes applications in various fields—A state-of-the-art review”. *Smart Science*, 10(1), 1-24.
- [40] Zhang, X., Lu, W., Zhou, G., & Li, Q. (2020). « Understanding the mechanical and conductive properties of carbon nanotube fibers for smart electronics ». *Advanced Materials*, 32(5), 1902028.
- [41] Sugianto, S. (2020). “Comparative analysis of solar cell efficiency between monocrystalline and polycrystalline”. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 7(2), 92-100.
- [42] Anctil, A., Lee, E., & Lunt, R. R. (2020). “Net energy and cost benefit of transparent organic solar cells in building integrated applications”. *Applied Energy*, 261, 114429.
- [43] Chandrasekaran, A. R., Punnoose, J. A., Zhou, L., Dey, P., Dey, B. K., & Halvorsen, K. (2019). “DNA nanotechnology approaches for microRNA detection and diagnosis”. *Nucleic acids research*, 47(20), 10489-10505.
- [44] Ministère de l'Énergie et des Mines Algérie. (2025). « Perspectives des énergies renouvelables en Algérie ». (Données préliminaires estimées).