

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Frères Mentouri Constantine 1
Département de Génie Climatique

N° d'ordre : 01/Clim/2022

N° de série : 41/DS/2022

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Génie Climatique

Spécialité : Génie Climatique

Présentée par :

AMEUR MENAD Chawki

Directeur de thèse : Pr. GOMRI Rabah

Thème

**Utilisation des énergies renouvelables pour la
production de l'hydrogène**

Thèse soutenue le : 26/06/2022

Devant le jury composé de :

M. KABI Abdenacer	Professeur,	Université Frères Mentouri Constantine 1	Président
M. GOMRI Rabah	Professeur,	Université Frères Mentouri Constantine 1	Rapporteur/Encadreur
M. ZID Said	Professeur,	Université Frères Mentouri Constantine 1	Examineur
M. BOUGRIOU Cherif	Professeur,	Université Mostefa Ben Boulaid Batna 2	Examineur
M. BENMACHICHE Abdelmoumen Hakim	Professeur,	Université Mohamed Khider Biskra	Examineur

POUR MA FAMILLE

Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à ma famille bien-aimée pour le grand soutien lors de la préparation de ce travail

Je suis extrêmement redevable à Monsieur **GOMRI Rabah**, professeur au département de Génie Climatique, Université Frères Mentouri Constantine 1, pour m'avoir confié ce sujet et d'avoir accepté de diriger ce travail. Je le remercie également pour sa contribution à ce travail, notamment pour son soutien, son encouragement et les innombrables heures passées au profit de ce travail.

Je voudrais remercier :

- Monsieur **KABI Abdenacer**, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, pour son accord de présider le jury.
- Monsieur **ZId Said**, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, pour son accord d'examiner cette thèse.
- Monsieur **BOUGRIOU Cherif**, Professeur à l'Université de Batna 2, pour son accord d'examiner cette thèse.
- Monsieur **BENMACHICHE Abdelmoumen Hakim**, Professeur à l'Université de Biskra, pour son accord d'examiner cette thèse.

Je voudrais également remercier tout spécialement M. M JEN pour ses conseils utiles dans mes études de doctorat.

Je voudrais aussi remercier toutes les personnes qui m'ont donné de leur temps si généreusement.

Sommaire

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Sommaire.....	iii
Liste des figures	vii
Liste des tableaux.....	xi
Nomenclature.....	xii
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène	3
1. Introduction.....	3
2. Energie solaire.....	3
2.1 Rayonnement solaire hors atmosphère terrestre.....	3
2.2 Rayonnement solaire.....	3
2.3 Effets atmosphériques.....	4
2.4 Masse d'air.....	5
2.5 Les calculs d'intensité basée sur la masse d'air.....	5
2.6 Angle de déclinaison	6
2.7 Angle azimuthal	6
2.8 Energie de Photon.....	6
3. Les semi-conducteurs dans les systèmes d'énergie solaire.....	7
3.1 Concentration porteur de silicium Intrinsèque en fonction de la température	8
3.2 Concentration porteur d'équilibre	8
3.3 Coefficient d'absorption.....	8
3.4 Taux de production.....	8
3.5 Longueur de diffusion	9
4. Les systèmes d'énergie solaire.....	9
4.1 Les systèmes photovoltaïques.....	10
4.1.1 Cellules solaires photovoltaïques cristallines Mono cristallines.....	11
4.1.2 Cellules solaires photovoltaïques multi cristallines.....	12
4.1.3 Cellules solaires en Polymères	13

4.1.4 La technologie du film mince.....	13
4.1.5 Nanomatériaux pour l'énergie solaire.....	15
5. Systèmes d'énergie solaire thermique.....	16
5.1 Technologies solaires thermiques pour la production d'hydrogène	17
6. L'énergie éolienne.....	17
6.1 Distribution de Weibull pour les installations éoliennes.....	18
6.2 Extrapolation de la vitesse du vent.....	18
6.3 Estimation du facteur de capacité.....	18
7. L'énergie géothermique.....	19
7.1 extrait de l'énergie à partir de ressources géothermiques.....	20
8. L'hydrogène comme future source énergétique.....	20
8.1 La production d'hydrogène.....	20
8.1.1 Reformage des vapeurs.....	20
8.1.2 Électrolyse alcaline.....	20
8.1.3 Production d'hydrogène à partir de la biomasse.....	21
8.1.4 Production d'hydrogène par dissociation thermo-chimique de la vapeur d'eau.....	21
9. Conclusion	21
Chapitre 2 : La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables	22
1. Introduction	22
2. Production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire utilisant les cycles thermo-chimiques comme une solution d'avenir.....	23
3. Étude de cas	23
3.1 Technique basée sur les panneaux photovoltaïques.....	23
3.2 Description du cas étudié.....	23
3.3 protection contre les surintensités dans le système de panneau solaire.....	23
3.4.1 La partie électrique.....	25
3.4.2 La partie thermique.....	25
4. La production de l'hydrogène basé sur les Techniques de l'énergie solaire thermique : Étude de cas.....	26
4.1 Mesure des facteurs climatiques nécessaires dans la ville de Ghardaïa.....	26
4.3 Technologies solaires thermiques pour la production d'hydrogène.....	28

5. Cycle CH ₄ à travers le collecteur solaire parabolique rainuré (700°C à 1000°C)	30
5.1 Analyse thermique.....	32
5.2 Résultats.....	34
5.2.1 Diamètre de tuyau équivalent de 0.01m	34
5.2.2 Diamètre de tuyau équivalent de 0.02m.....	37
5.2.3 Diamètre de tuyau équivalent de 0.03m	39
5.2.4 Diamètre de tuyau équivalent de 0.04m	41
5.2.5 Diamètre de tuyau équivalent de 0.05m.....	43
5.2.6 Diamètre de tuyau équivalent de 0.1m.....	45
5.2.7 Simulation de la production de l'hydrogène.....	47
5.2.8 Discussions des résultats obtenus	47
6. Le système Cu-Cl pour la production d'hydrogène.....	48
6.1 Calcul mathématique	50
6.1.1 Études d'analyse	50
6.1.2 Radiation solaire directe normale	51
6.1.3 Le gain de chaleur par collecteurs cylindro-paraboliques.....	51
6.2 Discussion du cas étudié	51
7. Conclusions	52
8. Validation des résultats obtenus	53

Chapitre 3 : Amélioration du rendement des panneaux solaires par l'utilisation de la nanotechnologie.....	54
1. Introduction.....	54
2. La nanotechnologie dans les cellules solaires photovoltaïques pour la production d'hydrogène	54
2.1 Méthodes expérimentales	54
2.2 Simulation informatique et modélisation.....	54
2.3 Cellules solaires et nanotechnologies.....	55
2.4 Description des nano-fils de silicium dans les cellules solaires.....	55
3. La microtechnologie dans la technologie solaire thermique pour la production d'hydrogène.....	55
3.1 Cas étudiés	55
3.1.1 Premier cas étudié	56

Description du cas étudié.....	57
Résultats et discussion	59
3.1.2 Deuxième cas étudié.....	63
Description du processus de production d'hydrogène à partir du modèle étudié.....	65
Calcul mathématique	66
Résultats et discussions	68
4. Conclusions	70
Conclusion générale.....	72
Références bibliographiques.....	73

Annexe A

Annexe B

Liste des Figures

Figure 1.1: Spectre solaire à divers endroits.....	4
Figure 1.2: Absorption du ciel clair typique et la diffusion de la lumière solaire incidente	5
Figure 1.3: Vue d'ensemble de constantes de réseau et les largeurs de bande pour les cristaux III-V sélectionné comprenant Si et Ge.....	7
Figure 1.4: Cellule solaire à base de Si 1 ^{ère} génération	10
Figure 1.5: Cellule solaire à base de film mince 2 ^{ème} génération.....	11
Figure 1.6: Cellule solaire organique 3 ^{ème} génération.....	11
Figure 1.7: Cellule solaire photovoltaïque monocristalline.....	11
Figure 1.8: Cellule solaire photovoltaïque multi cristallines.....	12
Figure 1.9: Cellule solaire Polymère.....	12
Figure 1.10: Différents métaux en film mince industrie solaire.....	13
Figure 1.11: Coefficient d'absorption de l'alliage $In_xGa_{1-x}N$ en fonction du paramètre stœchiométrique x.....	15
Figure 1.12: ZnO nano-fils SnO ₂ :F nano-fils assemblés dans la cellule solaire.....	16
Figure 1.13: Système de capteur solaire cylindro-parabolique dans la ville de Ghardaïa	16
Figure 1.14: Centrale météorologique dans la ville de Ghardaïa	17
Figure 1.15: Ressource énergétique géothermique dans la ville de Guelma	19
Figure 2.1 : Origine de l'hydrogène produit actuellement dans le monde entier	22
Figure 2.2 : Le couplage entre l'énergie solaire et l'énergie géothermique pour la production de l'hydrogène.....	23
Figure 2.3 : Test d'Étude des intensités dans le panneau PV solaire.....	24
Figure 2.4 : Centrale météorologique dans la ville de Ghardaïa [Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables dans la ville de Ghardaïa].....	27
Figure 2.5 : Rayonnement solaire dans la ville de Ghardaïa (Algérie).....	27
Figure 2.6 : Variation de l'humidité dans la ville de Ghardaïa Centrale météorologique dans la ville de Ghardaïa pour mesurer les paramètres climatiques. (Algérie).....	28
Figure 2.7 : Variation de température dans la ville de Ghardaïa (Algérie)	28
Figure 2.8 : Système de collecteur solaire cylindro-parabolique [Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables : l'unité de recherche en énergie renouvelable appliquée dans la ville de Ghardaïa].....	29

Figure 2.9 : système de la tour solaire [Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables : unité de recherche appliquée dans les énergies renouvelables dans la ville de Ghardaïa].....	29
Figure 2.10 : Cycle CH ₄ par Auge Collecteur Parabolique.....	31
Figure 2.11 : Géométrie créée pour le cas d étudié.....	32
Figure 2.12 : Maillage considéré pour le premier modèle	33
Figure 2.13 : Variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m. Pa.....	35
Figure 2.14 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m.....	35
Figure 2.15 : Température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m.....	36
Figure 2.16 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m.....	36
Figure 2.17 : Variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.	37
Figure 2.18 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.....	37
Figure 2.19 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m	38
Figure 2.20 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.	38
Figure 2.21 : Variation de la perte de pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m	39
Figure 2.22 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.....	39
Figure 2.23 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.....	40
Figure 2.24 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.....	40
Figure 2.25 : Variation de la perte de pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.....	41

Figure 2.26 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.....	41
Figure 2.27 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.....	42
Figure 2.28 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.....	42
Figure 2.29 : la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.....	43
Figure 2.30 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.....	43
Figure 2.31 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.	44
Figure 2.32 : Variation de vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.....	44
Figure 2.33 : Variation de la perte de pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m.....	45
Figure 2.34 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.	45
Figure 2.35 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m.....	46
Figure 2.36 : Variation de la vitesse m/s en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m	46
Figure 2.37 : Potentiel de l’hydrogène produit par SMR (Steam Methane Reforming).....	48
Figure 2.38 : Le cycle Cu–Cl pour la production d’hydrogène dans une installation solaire thermique	49
Figure 2. 39 : Caractéristiques énergétiques pour le système« POWER TOWER ».....	52
Figure 3.1 : Développement schématique de la forme de gouttelettes et le fil dans la Phase initiale de croissance du fil VLS.....	55
Figure 3.2 : Description de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à la vapeur en utilisant du nano-cathode tubulaire en silicium.....	57
Figure 3.3 : Panneau photovoltaïque hybride pour la production d'hydrogène.....	58
Figure 3.4 : Double couche électrique à un condensateur électrique à cathode nano-tube de silicone.....	58

Figure 3.5 : Production d'hydrogène à partir d'eau de vapeur dans le tube cathodique nano-silicone.....	59
Figure 3.6 : Électricité produite (Pu) par le panneau solaire photovoltaïque proposé.....	60
Fig.3.7 : Impact de la température sur l'électricité produite par le panneau solaire photovoltaïque proposé.....	61
Figure 3.8 : Impact de l'humidité sur l'électricité produite par le panneau solaire PV proposé.....	62
Figure 3.9 : Hydrogène produit par électro-osmose et EDL à partir du panneau solaire photovoltaïque proposé.....	63
Figure 3.10 : Formes géométriques des micro-canaux intégrées dans le panneau solaire thermique.....	64
Figure 3.11 : Processus de production d'hydrogène à partir d'un panneau solaire thermique micro	65
Figure 3.12 : Hydrogène produit par les micros panneaux solaires thermiques.....	68
Figure 3.13 : Puissance absorbée (électrolyseur alcalin).....	69
Figure 3.14 : Énergie produite par le modèle étudié (%).....	69
Figure 3.15 : Efficacité du modèle étudié (%).....	70

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Technologies solaires thermiques et efficacité de production d'hydrogène..	17
Tableau 2.1 : La productivité d'hydrogène des cycles thermochimiques solaire.....	30
Tableau 2.2 : La productivité de l'hydrogène à partir de l'énergie solaire thermique et des cycles thermochimiques.....	30
Tableau 2.3 : Vitesses de fluide considérées.	34
Tableau 2.4 : Simulation de la production d'hydrogène via ASPEN HYSYS	47

Nomenclature

A : Section équivalente	m ²
A : Coefficient d'absorption	cm ⁻¹
A : Angle d'azimut solaire	°C
AM : Masse d'air	g
c : Vitesse de la lumière	m/s
C : Facteur scalaire	m/s
C _p : Chaleur spécifique	J/kg.K
C _{pf} : Capacité calorifique volumique de fluide de travail	kJ/m ³ K
D : Diffusivité	m ² /s
D : Diamètre équivalent	m ²
nd : Jour de l'année	sans unité
EEGS: Energie extraite par an	kWh
E_{EL} : Énergie nécessaire pour l'électrolyseur	kWh
E_{EGS} : Énergie extraite par an source géothermique	kWh
f : facteur de friction	Sans unité
I : Tension du courant de la cellule solaire photovoltaïque idéale	V
I_0 : Intensité lumineuse à la surface supérieure.	Lux
I_D : Intensité dans un plan perpendiculaire aux rayons du soleil	kW/m ²
I_G : Rayonnement diffus	W/m ²
I_{ph} : Courant de photons dans la cellule solaire	A
$I_s(t)$: Courant de saturation de la cellule	A
I_s : Courant de saturation inverse de la diode	A
I_a : Angle d'incidence du faisceau solaire	
deg	
I_{ba} : Rayonnement solaire direct normal	W/m ²
I_{bn} : Rayonnement du faisceau	W/m ²
I_0 : Rayonnement solaire extra-terrestre, en dehors de l'atmosphère terrestre	W/m ²
g : Accélération	m/s ²
G : rayonnement solaire	W/m ²
h : Flux de chaleur par convection absorbée par le panneau solaire thermique	W/m ²
H _n : Recul net	m

H _b : Baisse brut	m
H : Densité de puissance de rayonnement en dehors de l'atmosphère de la terre	W/m ²
H _{constant} : Valeur de la constante solaire	W/m ²
h : Constante de Planck	sans unité
H _n : Chute nette	m
H _b : Représentent respectivement la chute brute	m
HL : Célérité la plus haute	m/s
H : Transfert de chaleur par convection	W/m ²
h : Coefficient de transfert de chaleur du panneau solaire micro thermique	W/m ²
k : Conductivité thermique	W/m.K
k _B : Constante de Boltzmann	sans unité
K _i : Coefficient de température du courant de court-circuit de la cellule	A
K : Facteur de forme	J/m ²
K : Modificateur d'angle d'incidence	
k : Conductivité thermique	W/m.K
L : Longueur de micro-canal	m
L _{HVH2} : Hydrogène produit	Kg
L : Longueur de diffusion en	m
L : Longueur des micro-canaux	m
m : Débit	Kg/m ³
M _{H2} : Quantité d'hydrogène produit	Kg
N ₀ : Flux de photons à la surface	W/m ²
n ₀ : Concentrations de porteuse d'équilibre d'électrons	%
N _A : Concentration des atomes accepteurs.	%
N _D : Concentration d'atomes donneurs	%
n _i : Concentration de porteurs intrinsèques	%
n _g : Efficacité du générateur (générateur de mini-turbine).	%
n _t : Efficacité de la mini turbine	%
p ₀ : Concentrations de porteuse d'équilibre de trous	%
Pr : Nombre de Prandtl	sans unité
Pu : Quantité d'énergie produite	W
Pr : Puissance électrique de sortie nominale du générateur	W
Pu : Quantité d'énergie produite	W
q : Flux de chaleur de la paroi	W/m ²

Q_{m-t} : Energie produite par mini-turbine généré par le panneau solaire thermique	W
Q_s : Flux absorbé par le panneau solaire thermique	W/m ²
Q_t : Débit de la mini-turbine	m ³ /s
Q_v : Débit volumique	m ³ /s
Q : Énergie thermique absorbée par le canal rectangulaire	W
Q_s : Flux généré par le panneau solaire thermique	W/m ²
Q_{m-t} : Énergie produite par la mini-turbine générée par le panneau solaire thermique	W
Q : Flux de chaleur de paroi	W/m ²
R : Constante des gaz	J /mol.K
Re : Nombre de Reynolds.	Sans unité
S : Section	m ²
T : Température	K
T_c : Température de sortie du canal	°C
T_f : Température d'entrée au canal	°C
T_s : Température du fluide adjacent	K
T_w : Température de la paroi (micro-canal).	K
t_f : Nombre d'heures de fonctionnement équivalent	h
ΔT : Différence de température entre le CO ₂ injecté et la température initiale du réservoir	°C
t_n : Température nominale	K
T_e : Température d'entrée	°C
V : Vitesse du vent	m/s
V_1 : Vitesse du vent réel à une hauteur de Z_1	m/s
V_2 : Vitesse du vent à la hauteur requise Z_2	m/s
V_t : Tension thermique	V
w_c : Energie totale reçue par le catalyseur	W
X : Distance dans le matériau au cours du quelle le calcul de l'intensité lumineuse	m
ANGUILLE : énergie nécessaire pour l'électrolyseur	W

Symboles

α : Coefficient de la loi de puissance de la vitesse du vent	m
α : Elévation	m
α : Coefficient d'absorption	cm ⁻¹
α : Angle d'altitude solaire	deg

β_{T1} : Coefficient de saut de température du premier ordre	K
γ : Rapport des capacités thermiques spécifiques	J /K .kg
λ_{libre} : Parcours moléculaire moyen	m
λ : Longueur d'onde	m
θ : Angle du vertical (angle zénithal).	°
τ : Durée de vie en quelques secondes.	s
τb : Facteur de transmission de l'atmosphère du rayonnement du faisceau.	% :
σt : Coefficient d'accommodation thermique	sans unité
ρ : Masse volumique	kg/m ³
u_x : Vitesse d'écoulement	m/s
μ : Viscosité dynamique.	Pa.s
ν : Fréquence	Hz

Introduction Générale

Introduction générale

Les énergies renouvelables appliquées pour améliorer la qualité de vie ont pris la majeure partie de la recherche moderne. La production d'hydrogène à partir de différentes sources d'énergies renouvelables a donné de bons résultats et une meilleure amélioration de l'environnement au cours des dernières décennies.

Cette thèse se concentre sur la production d'hydrogène par l'application des ressources énergétiques renouvelables. La première partie concerne l'étude de la production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables. L'énergie solaire thermique a été exploitée, dans la deuxième partie de cette étude, pour décrire le rôle de la nanotechnologie, et la micro-technologie pour augmenter l'efficacité énergétique des systèmes solaires.

Le transfert de chaleur dans les micro-panneaux solaires thermiques utilisés pour la production d'hydrogène a été proposé. Un nouveau modèle qui est reliée à un électrolyseur alcalin est fabriqué à partir de panneaux solaires thermiques avec des micro-canaux rectangulaires. Les phénomènes d'électro-osmose et la Double Couche Electrique en nanotube de silicone ont été impliqués dans l'étude analytique pour la production d'hydrogène. Le fluide caloporteur circulant dans un micro-panneau solaire thermique transforme le micro-fluidique à l'électricité, à travers les phénomènes de double couche électrique, puis à l'hydrogène à partir d'un électrolyseur.

Jusqu'à aujourd'hui, la combinaison des cycles thermochimiques avec de l'énergie solaire sont une des voies dominantes dans le monde pour la production d'hydrogène. Une nouvelle méthodologie a été développée dans cette étude qui est basée sur la micro-technologie et de la technologie solaire thermique pour améliorer l'efficacité énergétique et la productivité de l'hydrogène.

La collecte de données du site de l'expérience a été faite pour réaliser le calcul analytique et de comprendre l'impact des conditions climatiques sur le potentiel de production d'hydrogène à partir de systèmes d'énergie solaire, d'énergie éolienne et des ressources géothermiques.

L'objectif principal de ce travail est :

- L'intégration de nanotechnologie et micro-technologies dans les systèmes d'énergie solaire ;
- La production d'hydrogène à partir de la combinaison de l'énergie solaire thermique et les ressources énergétiques géothermiques ;

- La conception de nouveaux systèmes de capteurs cylindro-paraboliques solaires ;
- L'étude de l'électro-osmose et les panneaux solaires thermiques à double couche électrique pour la production d'hydrogène à travers un électrolyseur ;
- Le contrôle de la protection contre les surintensités dans les panneaux solaires photovoltaïques pour assurer la poursuite de la production d'hydrogène à partir de sources d'énergies renouvelables ;
- La production d'hydrogène à partir des énergies renouvelables ;
- La protection de l'environnement ;
- La couverture des besoins en énergie à partir des ressources d'énergies renouvelables et l'hydrogène ;
- L'amélioration de l'économie en remplaçant les énergies fossiles par la production d'hydrogène ;
- Le développement de nouvelles nanotechnologies dans le domaine de l'énergie solaire.

Afin d'atteindre ces objectifs, la thèse est organisée en trois chapitres complétée par une introduction générale et une conclusion générale.

Après **l'introduction générale**, une recherche bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène est présentée dans **le premier chapitre**. La production d'hydrogène à partir de sources d'énergies renouvelables ont fait l'objet du **deuxième chapitre**. Dans le **troisième chapitre**, l'application de la micro technologie et de la nanotechnologie ont été étudiés pour augmenter l'efficacité énergétique des systèmes solaires. Une **conclusion générale** résume les principaux résultats obtenus.

Chapitre 1

**Étude bibliographique sur les énergies
renouvelables et sur la production de
l'hydrogène**

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

1. Introduction

La comparaison des sources d'énergie fossile et d'énergie renouvelable est considérée comme le moyen le plus efficace de préserver l'environnement d'un côté, et de couvrir les besoins en énergie de l'autre côté. Les ressources énergétiques renouvelables ont été scindées en plus de 55 ressources. En revanche, dans les applications pratiques peu de ressources sont utilisables. Jusqu'à aujourd'hui, l'énergie solaire a pris la partie la plus considérable dans la recherche et les applications pratiques. L'énergie éolienne vient en deuxième position. L'énergie géothermique est considérée comme une troisième meilleure solution.

2. Energie solaire

2.1 Rayonnement solaire hors atmosphère terrestre

Le rayonnement solaire entre le soleil et la terre n'est pas stable au cours de l'année. Une équation a été développée pour décrire la fluctuation du rayonnement solaire est donnée par [1] :

$$\frac{H}{H_{constant}} = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{360(n-2)}{365} \right] \quad (1.1)$$

Où :

H : la densité de puissance de rayonnement en dehors de l'atmosphère de la terre (W/m^2) ;

$H_{constant}$: la valeur de la constante solaire ($1353 \text{ W}/\text{m}^2$) ;

n : le jour de l'année ;

2.2 Rayonnement solaire

Le soleil est considéré comme un corps noir qui envoie des radiations avec une température de $5762 \pm 50 \text{ K}$ [2], où par la loi de rayonnement de Planck [3] a été décrit l'irradiation de la surface du soleil :

$$I_\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \left[\frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1} \right] \quad (1.2)$$

Où :

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

k_B : la constante de Boltzmann ;

h : la constante de Planck ;

c : la vitesse de la lumière ;

λ : la longueur d'onde ;

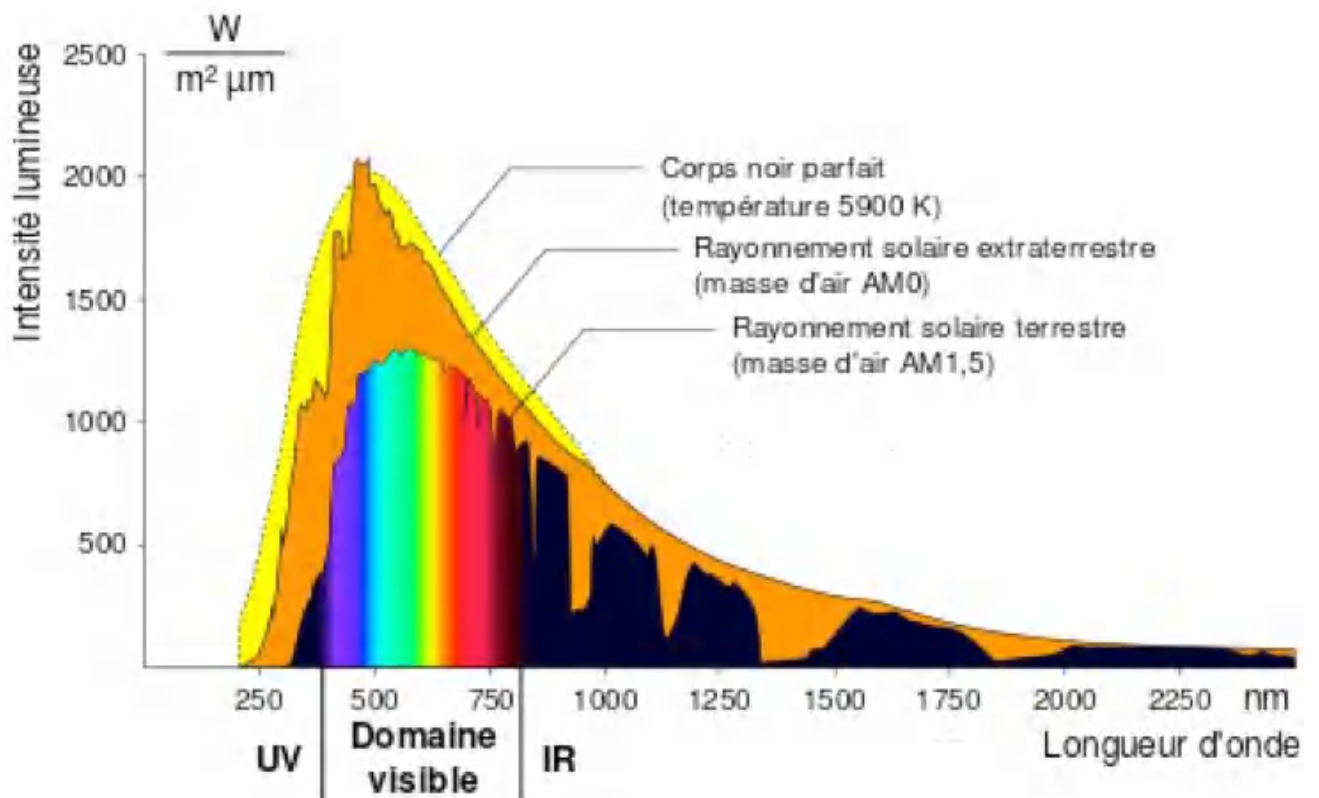
T : la température.

La puissance est livrée en photons qui ont l'énergie :

$$E_{ph} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.3)$$

Où ν est la fréquence.

La Figure 1.1 représente le **spectre** d'absorption solaire.



CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

2.3 Effets atmosphériques

Les altérations des conditions climatiques ont une forte influence sur le rayonnement solaire à la surface de la terre. Les facteurs d'effet prépondérant pour les applications de panneaux solaires sont représentés dans la Figure 1.2.

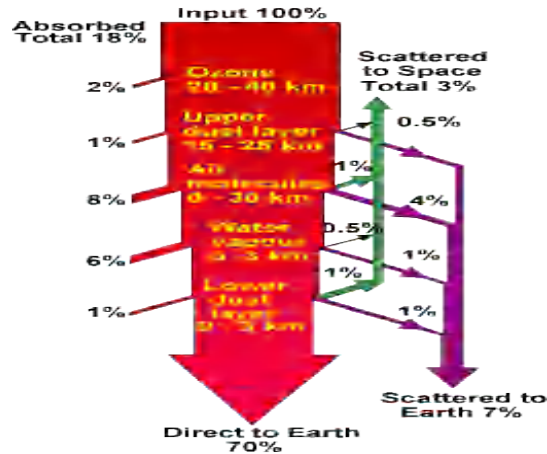


Figure 1.2 : Absorption du ciel clair typique et la diffusion de la lumière solaire incidente [5].

2.4 Masse d'air

Le calcul de la masse d'air est fondé sur la compréhension de la fluctuation de la puissance de réduction de la lumière via l'atmosphère qui a été absorbée par l'air et la poussière. La masse d'air est défini comme suit [6]:

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (1.4)$$

Où θ est l'angle du vertical (angle zénithal).

Une équation qui tient compte de la courbure de la terre a été mis au point :

$$AM = \frac{1}{\cos\theta + 0.50572(96.07995 - \theta)^{-1.6364}} \quad (1.5)$$

2.5 Les calculs d'intensité basés sur la masse d'air

Une équation déterminée expérimentalement [7] est utilisée pour calculer l'intensité de la composante directe de la lumière du soleil :

$$I_D = 1,353 \cdot 0.7^{(AM^{0.678})} \quad (1.6)$$

I_D est l'intensité dans un plan perpendiculaire aux rayons du soleil (kW/m^2)

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

AM est la masse d'air.

Un autre modèle établi sur la distance à quelques kilomètres au-dessus du niveau de la mer a été utilisé à travers l'utilisation empirique des données observées[8] :

$$I_D = 1,353 \cdot [(1 - a \cdot h)0.7^{(AM^{0.678})} + a \cdot h] \quad (1.7)$$

Où, a = 0.14 et h est la hauteur de l'emplacement au-dessus du niveau de la mer en kilomètres.

Le rayonnement diffus est estimé à environ 10% de la composante directe est donnée par :

$$I_G = 1,1 \cdot I_D \quad (1.8)$$

2.6 Angle de déclinaison

L'angle d'inclinaison peut être calculé par l'équation suivante [9]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin. \left[\frac{360 \cdot (d-81)}{365} \right] \quad (1.9)$$

Où d est le jour de l'année, d=1 pour le 1er janvier.

Un autre modèle a été élaboré pour décrire l'angle de déclinaison est donnée par :

$$\delta = \sin^{-1} \left[(23,45) \sin. \left[\frac{360 \cdot (d-81)}{365} \right] \right] \quad (1.10)$$

2.7 Angle azimuthal

L'azimut est calculé par l'équation :

$$Azimuth = \cos^{-1} \cdot \left[\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos(HRA)}{\cos \alpha} \right] \quad (1.11)$$

Où α est l'élévation.

L'équation ci-dessus ne donne que l'azimut correct du matin solaire de sorte que :

Azimuth = Azi, pour LST < 12 ou HRA < 0

Azimuth = 360 ° - Azi, pour LST > 12 ou HRA > 0

2.8 Energie de Photon

La relation entre l'énergie d'un photon (E) et la longueur d'onde de la lumière (λ) est basée sur la théorie inverse qui est donnée par l'équation suivante :

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.12)$$

Où h est la constante de Planck et c 'est la vitesse de la lumière.

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

3. Les semi-conducteurs dans les systèmes d'énergie solaire

L'application de matériaux semi-conducteurs dans l'énergie solaire est considérée comme l'une des voies la plus considérable pour plusieurs raisons. En fait, le choix des bons semi-conducteurs est basé sur la taille de la largeur de bande interdite (que ce soit la bande interdite directe ou indirecte) qui donne les différences entre les matériaux semi-conducteurs. En tant que définition, un semi-conducteur est un matériau a été décrit que dans certaines conditions et conduit le courant dans des conditions différentes est isolant.

Les plus dominants des semi-conducteurs pour des cellules solaires ont été divisés en trois groupes principaux qui sont les suivants :

- Le groupe matériaux composés II-VI tels que le tellure de cadmium CdTe
- Le groupe de matériaux III-V tel que l'arséniure de gallium GaAs
- Le groupe de matériaux IV tels que Si, et Ge.

La Figure 1.3 montre en détail les trois groupes des semi conducteurs.

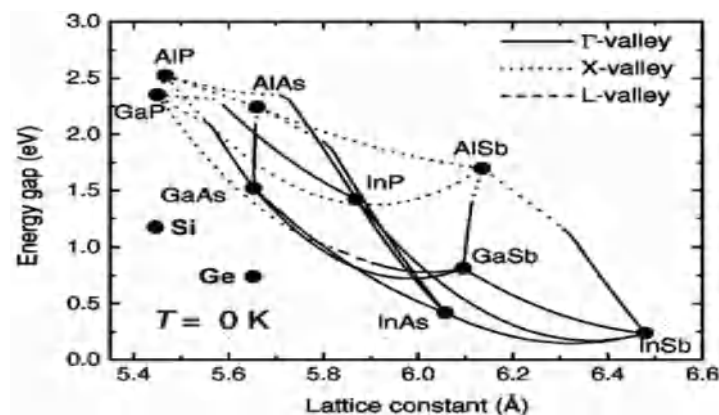


Figure 1.3 : Vue d'ensemble de constantes de réseau et les largeurs de bande pour les cristaux III-V sélectionné comprenant Si et Ge [10]

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

3.1 Concentration porteur de silicium intrinsèque en fonction de la température

Une formule pour la concentration intrinsèque de porteurs dans le silicium en tant que fonction de la température est donnée par Misiakos [11] :

$$n_i(T) = 5,29 \cdot 10^{19} \left(\frac{T}{300}\right) \cdot 2,54 \cdot \exp\left(\frac{-6726}{T}\right) \quad (1.13)$$

3.2 Concentration porteur d'équilibre

La loi d'action de masse est en mesure de décrire l'expression mathématique pour la concentration porteuse d'équilibre, où le produit de la concentration dominante et porteuse minoritaires est constant.

$$n_o p_o = n_i^2 \quad (1.14)$$

Où n_i est la concentration de porteurs intrinsèques

n_o , p_o sont les concentrations de porteuse d'équilibre électrons et de trous.

En utilisant l'équation précédente (la loi d'action de masse), les concentrations majoritaires et porteuses minoritaires sont données par les équations suivantes :

$$\text{n-type: } n_o = N_D, p_o = \frac{n_i^2}{N_D} \quad (1.15)$$

$$\text{p-type: } p_o = N_A, n_o = \frac{n_i^2}{N_A} \quad (1.16)$$

Où N_D est la concentration d'atomes donneurs

N_A est la concentration des atomes accepteurs.

3.3 Coefficient d'absorption

Le coefficient d'absorption α , représente la relation entre le coefficient d'extinction k et la longueur d'onde λ est donnée par la formule suivante :

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (1.17)$$

Où λ est la longueur d'onde.

3.4 Taux de production

Le taux de génération explique la relation entre le nombre d'électrons circulant en un point quelconque du panneau solaire photovoltaïque en raison de l'absorption des photons. En fait,

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

le calcul de l'intensité de la lumière absorbée en chaque point est donné par l'équation suivante :

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1.18)$$

Où :

α : le coefficient d'absorption en (cm^{-1}) ;

X : la distance dans le matériau au cours du quelle le calcul de l'intensité lumineuse ;

I_0 : l'intensité lumineuse à la surface supérieure.

L'équation précédente (1.18) a été utilisée pour connaître le nombre de paires électron-trou dans une cellule solaire :

$$G = \alpha N_0 e^{-\alpha x} \quad (1.19)$$

Où :

N_0 : flux de photons à la surface (photons / unité de surface / sec).

A : coefficient d'absorption ;

X : distance dans le matériau.

3.5 Longueur de diffusion

L'équation suivante décrit le lien de la relation entre la durée de vie du porteur et la diffusivité que l'on utilise pour décrire la longueur de diffusion.

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (1.20)$$

Où :

L : la longueur de diffusion en (m) ;

D : la diffusivité en (m^2/s) ;

τ : la durée de vie en quelques secondes.

4. Les systèmes d'énergies solaires

En effet, les chercheurs ont scindé les systèmes d'énergies solaires en deux parties majeures qui sont :

- Systèmes solaires photovoltaïques
- Systèmes solaires thermiques

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

Le premier type est fondé sur l'étude et le développement de matériaux tels que les semi-conducteurs, pour transférer les photons à l'électricité. Le deuxième type est utilisé pour les mêmes raisons, avec le transfert de la lumière à la chaleur, puis à l'électricité où l'efficacité énergétique est supérieure à la technologie des systèmes photovoltaïques, et la technologie est disponible.

Une installation solaire thermique fonctionne en principe comme un tuyau d'arrosage exposé au soleil : Le soleil chauffe par le capteur solaire un fluide qui y circule. Cette chaleur est ensuite injectée dans le système de production de l'hydrogène.

Les systèmes photovoltaïques produisent de l'électricité. Les cellules de silicium produisent de l'électricité en courant continu lors de leur exposition à la lumière. Cette électricité est ensuite transformée en courant alternatif par l'onduleur afin d'alimenter le réseau domestique. Bien que les deux systèmes soient alimentés par le rayonnement solaire, il existe plusieurs types d'énergie qui sont l'électricité et l'énergie thermique.

4.1 Les systèmes photovoltaïques

La technologie disponible a justifié la possibilité de fournir de l'électricité par le biais de la lumière du soleil en s'appuyant sur trois voies différentes, avec de bons intérêts qui sont :

- Le rendement de conversion de puissance élevée (Ili Si 25% I Ili Si 20 4% de Si cristallin ~ poly cristalline de Si ~ 20,4%, Si amorphe ~ 10,1%)
- Stabilité à long terme

Les Figures 1.4, 1.5 et 1.6 montrent les différentes générations actuelles de panneaux solaires photovoltaïques.

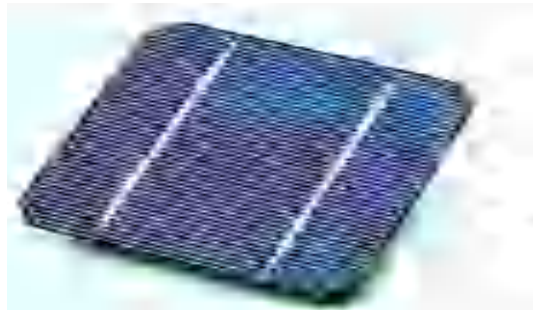


Figure 1.4 : Cellule solaire à base de Si - 1^{ère} génération [12].

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène



Figure 1.5 : Cellule solaire à Film mince - 2^{ème} génération [13].



Figure 1.6 : Cellule solaire organique - 3^{ème} génération [14].

4.1.1 Cellules solaires photovoltaïques Mono cristallines

Cette technologie est considérée comme la première génération. Les **panneaux monocristallins** offrent les **rendements** les plus élevés : 14% à 19% (pour simplifier il s'agit du pourcentage d'énergie électrique produite par rapport à l'énergie **solaire** reçue). La Figure 1.7 montre un modèle de cellules solaires photovoltaïques monocristalline [15].



Figure 1.7 : Cellules solaires photovoltaïques Monocristalline [15].

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

4.1.2 Cellules solaires photovoltaïques multi-cristallines

Ce modèle a été élaboré à partir du modèle précédent, afin d'accroître l'efficacité énergétique d'un côté, et de réduire le prix de la cellule solaire d'un autre côté. Ce qui suit montre le cas abordé.

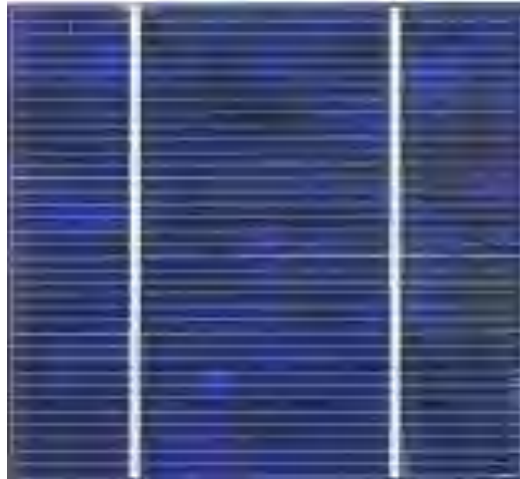


Figure 1.8 : Cellules solaires photovoltaïques multi- cristallines [16].

4.1.3 Cellules solaires Polymères

L'application de la nanotechnologie dans le secteur de l'énergie a absolument changé la direction et la structure des cellules solaires photovoltaïques, en raison de l'efficacité, la flexibilité et la puissance des nanosciences. La Figure 1.9 montre le nouveau modèle de cellule solaire photovoltaïque qui est basée sur le développement de l'industrie de la nanotechnologie [17].



Figure 1.9 : Cellule solaire polymère [17]

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

4.1.4 La technologie du film mince

Cette génération de cellules solaires a remplacé les générations précédentes en conséquence de la flexibilité et l'efficacité des systèmes solaires. L'expérience montre que cette technologie rajoute une puissance positive à l'énergie renouvelable pour couvrir les besoins en énergie pour les générations futures. L'avantage de ce type de cellules solaires est en mesure d'amplifier l'efficacité énergétique théorique à 48% pour les raisons suivantes :

- Coefficient d'absorption élevé
- Substrat à faible coût (bande Cu)

En revanche, cette voie présente quelques désavantages qui sont

- La contamination du processus de fabrication
- Les métaux rares (Si, Cd Te, etc.)

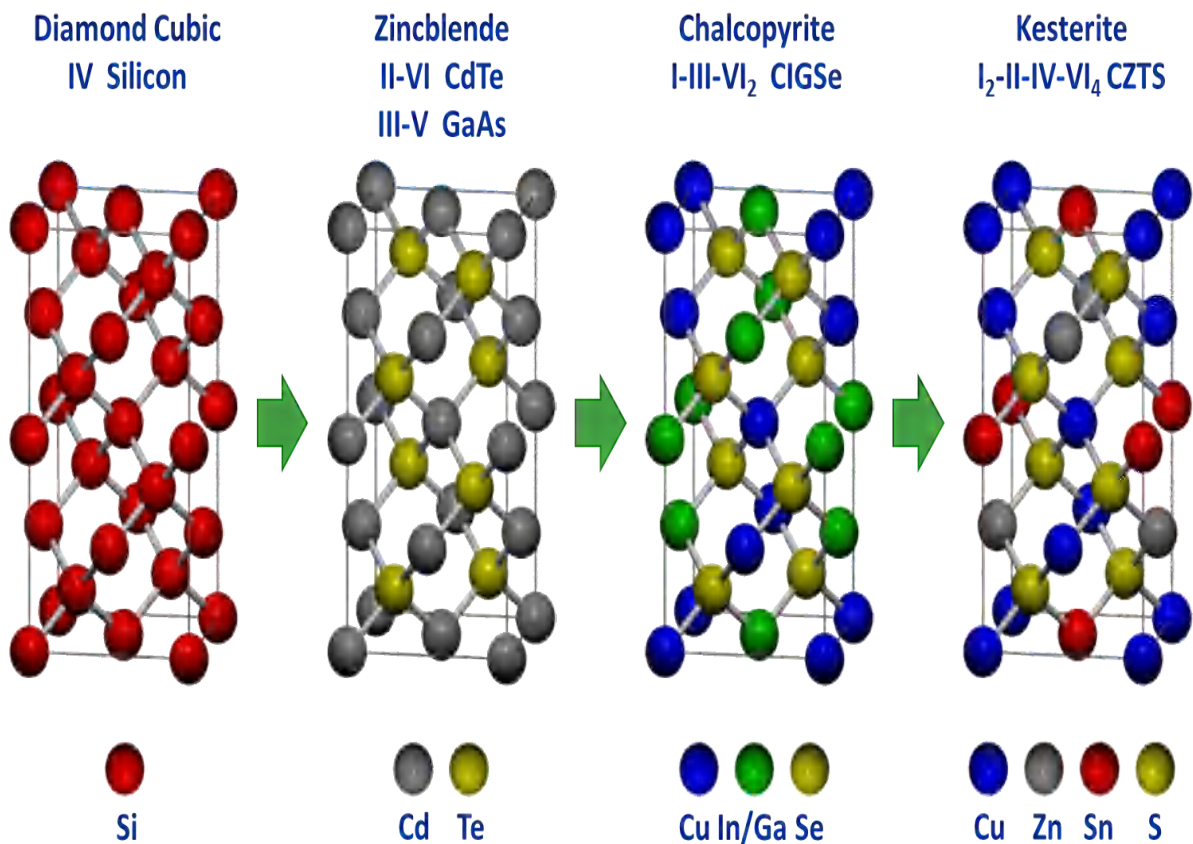


Figure 1.10 : Différents métaux en film mince dans l'industrie solaire [18].

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

Améliorer essentiellement les inconvénients de cette technologie avait mené la recherche à proposer une combinaison de métaux existants. Certains exemples qui étudient avec plus d'avantages étaient basés sur des couches d'alliages InGaN et SiGe. Cette méthode est utilisée pour les avantages suivants :

- **Coefficient d'absorption augmenté** : les couches déposées sont caractérisées par un faible coefficient de transmission, par un indice de réfraction et un coefficient d'absorption élevés.
- **Sous vide à vide ou non-procession** : un film mince est considéré comme une couche sur une surface dont l'épaisseur varie de quelques fractions de nanomètre (10^{-9} mètres) à quelques micromètres (10^{-6} mètres). Il existe deux méthodes principales utilisées pour le revêtement de films minces sous vide. La première est le PVD ou dépôt physique en phase vapeur et la seconde est le CVD ou dépôt chimique en phase vapeur. Le PVD implique le mouvement physique des particules, tandis que le CVD implique une réaction chimique.
- **Réduction des coûts par rapport au Si sur la base des cellules solaires photovoltaïques** : Les cellules solaires en couches minces intégrant le tellurure de cadmium (CdTe) et le Sulfure de Cadmium (CdS) suscitent un intérêt croissant de la part des scientifiques et industriels motivés par la réduction des coûts de fabrication.

Les résultats obtenus expliquent l'influence des coefficients d'absorption sur la longueur d'onde. La Figure 1.11 montre la puissance de la méthode proposée.

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

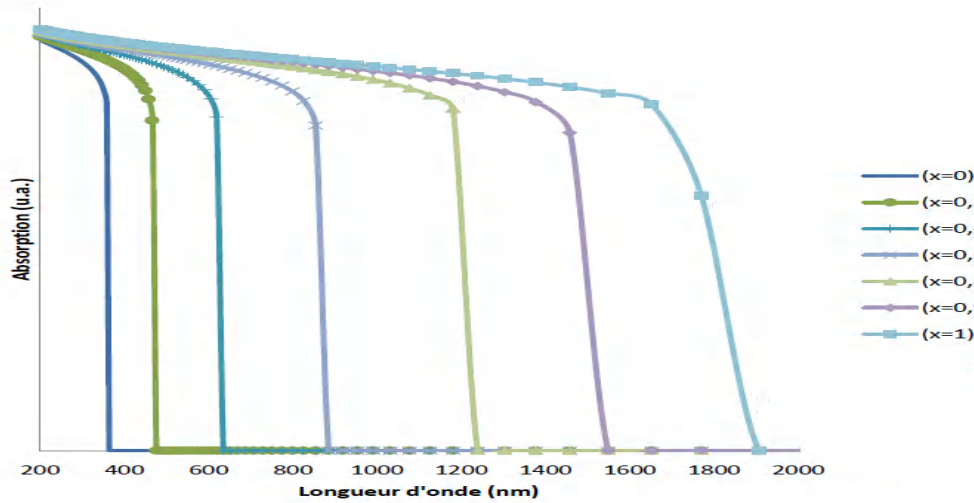


Figure 1.11 : Coefficient d'absorption de l'alliage $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ en fonction du paramètre stœchiométrique x [19]

4.1.5 Les nanomatériaux pour l'énergie solaire

Jusqu'à aujourd'hui, plusieurs technologies de pointe ont été testées dans le domaine de l'énergie solaire, une de ces méthodes est fondée sur la technologie nanostructure où les couches de cellules solaires se relient par l'intermédiaire des fils de nano-semi-conducteurs qui sont assemblées, et le composant à partir de la même, ou composite semi-conducteur. Cette technologie est envisagée comme étant l'avenir des panneaux photovoltaïques de l'énergie solaire, et il présente de nombreux avantages qui sont :

1. **Grande surface :** De plus en plus, les nanomatériaux apparaissent comme le point de convergence entre la microélectronique et l'électronique grande surface.
2. **Une forte réactivité :** Les nanomatériaux offrent de très fortes proportions d'atomes de surface par rapport aux atomes intérieurs qui leur donne une forte réactivité de surface. Ils sont en outre sujets à des changements considérables de propriétés selon leur taille et forme.
3. **Réduction des coûts :** Cette technologie offre la possibilité d'utiliser une grande variété de substrats peu coûteux comme le verre ainsi que des substrats flexibles.

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

La Figure 1.12 montre une cellule solaire photovoltaïque à base sur le ZnO nano fils, SnO₂:F nano fils assemblés dans la cellule solaire [20].

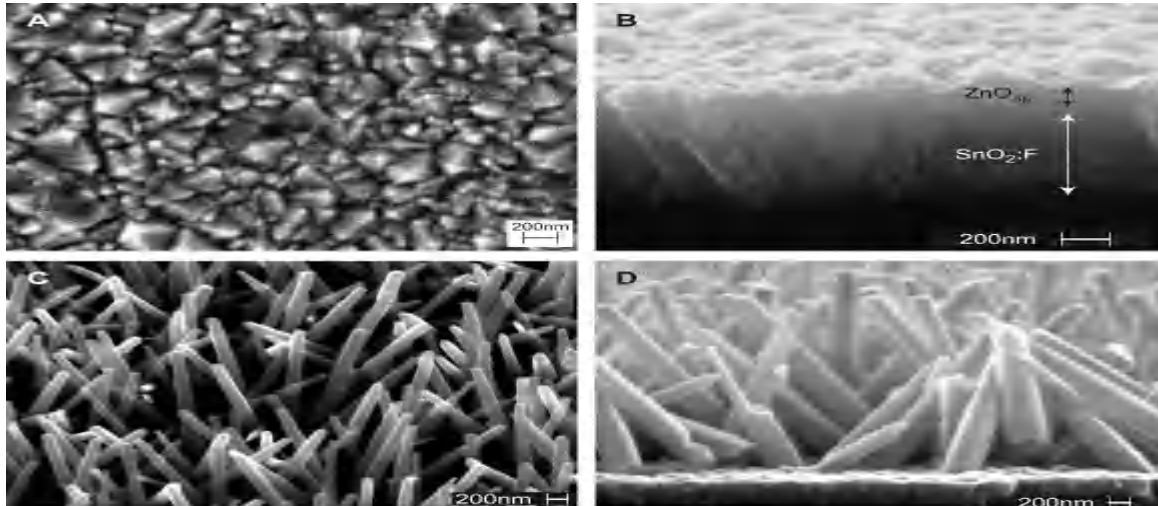


Figure 1. 12 : ZnO nano fils, SnO₂:F nano fils assemblés dans la cellule solaire [20]

5. Systèmes d'énergies solaires thermiques

Cette partie est basée sur la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique par la méthode de transfert de chaleur et de l'électricité en exploitant différentes technologies telles que les turbines. Les Figures 1.13 et 1.14 révèlent des installations solaires thermiques, et le poste solaire météorologique, qui a été utilisé pour mesurer le facteur nécessaire comme le rayonnement solaire, la température ...



Figure 1.13 : Système de capteur solaire cylindro-parabolique dans la ville de Ghardaïa [21]

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène



Figure 1.14 : Centrale météorologique dans la ville de Ghardaïa [22].

5.1 Technologies solaires thermiques pour la production d'hydrogène

Grands projets de recherche ont été mis au point pour relier les études expérimentales et les applications d'énergie solaire thermique pour engendrer de nouvelles voies pour la production d'électricité et d'autres ressources propres comme l'hydrogène. Le tableau suivant présente les plus importantes des technologies solaires thermiques et de l'efficacité de la production d'hydrogène.

Tableau 1.1 : Technologies solaires thermiques et l'efficacité de production d'hydrogène

Technologie solaire thermique pour la production d'hydrogène	Efficacité (%)	Température (°C)
Collecteur parabolique de Trough [23]	75%	> 826,85 °C
Parabole [24]	70-80%	450 °C
Power Tower [25]	63.9%	515°C
Linear Fresnel [26]	50%	200° C

6. L'énergie éolienne

Le vent est considéré comme la deuxième puissante source d'énergie renouvelable dans le monde, où il est possible de couvrir les besoins en énergie pour la production future. Dans notre pays (Algérie), l'énergie éolienne n'est pas dominante et de nombreuses recherches approfondies ont été mis au point pour la production de l'électricité dans quelques régions au sud, c'est donc une proposition positive pour le reste du pays.

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

6.1 Distribution de Weibull pour les installations éoliennes

La fonction de distribution cumulative $F(v)$ et la distribution de Weibull $f(V)$ sont données par [27-28] :

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (1.21)$$

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (1.22)$$

k est le facteur de forme,

c est le facteur scalaire, (m/s)

V est la vitesse du vent, (m/s)

6.2 Extrapolation de la vitesse du vent

La vitesse à une hauteur quelconque peut être calculée en utilisant l'équation suivante [29-30]

$$V_2 = V_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^\alpha \quad (1.23)$$

Où, V_1 (m/s) est la vitesse du vent réel à une hauteur de Z_1 (m).

V_2 (m/s) est la vitesse du vent à la hauteur requise Z_2 (m)

α est le coefficient de la loi de puissance de la vitesse du vent définie par [30, 31] :

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(V_1)}{1 - 0.088 \ln(Z_1/10)} \quad (1.24)$$

6.3 Estimation du facteur de capacité

La puissance électrique de sortie moyenne P du générateur peut être calculée par l'intégrale suivante [32]:

$$P = \int_{V_{cin}}^{V_r} (a + bV^k) f(V) dV + P_r \int_{V_r}^{V_{cout}} f(V) dV \quad (1.25)$$

P_r (W) est la puissance électrique de sortie nominale du générateur ;

a et b sont donnés par :

$$a = \frac{P_r V_{cin}}{V_{cin}^k - V_r^k} \quad ; \quad b = \frac{P_r}{V_r^k - V_{cin}^k} \quad (1.26)$$

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

Le facteur de capacité est défini comme étant le rapport entre la puissance moyenne et la puissance de sortie nominale du générateur [32, 33] et est donnée par :

$$W = CF.P_r.(8760)(Wh/an) \quad (1.27)$$

En fait, la production annuelle d'énergie de cette turbine est donnée par :

$$W = CF.P_r.(8760) (Wh/an) \quad (1.28)$$

7. Energie géothermique

L'énergie géothermique est considérée comme la troisième plus importante source d'énergie renouvelable dominante, en raison de sa disponibilité dans différentes régions du pays. La source géothermique dans la ville de Guelma est la meilleure, là où la température arrive jusqu'à 95 ° C en été. La figure 1.15 montre la source dominante dans le pays.



Figure 1.15 : Ressource énergétique géothermique dans la ville de Guelma.

CHAPITRE 1

Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

7.1 Extraction de l'énergie à partir de ressources géothermiques

L'équation d'écoulement est utilisée pour calculer l'énergie totale étant extraite par an [34] :

$$E_{EGS} = Q_V \cdot t_f \cdot \Delta T \cdot C_{pf} \quad (1.29)$$

Où,

EEGS: l'énergie extraite par an, (kWh)

Q_V : le débit volumique, (m^3/h)

t_f : le nombre d'heures de fonctionnement équivalent, (h)

ΔT : la différence de température entre le dioxyde carbone injecté et la température initiale du réservoir ($^{\circ}C$).

C_{pf} : la capacité calorifique volumique de fluide de travail, (kJ/m^3K).

8. L'Hydrogène comme future source énergétique

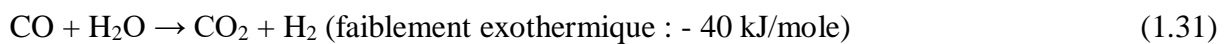
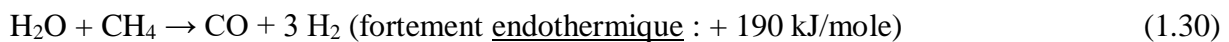
L'hydrogène est considéré en tant que future vecteur énergétique parce qu'il est caractérisé par :

- La plus grande densité massique d'énergie, 1 kg d'hydrogène contient autant d'énergie qu'environ 3 kg de pétrole ;
- Une combustion très énergétique dans l'oxygène avec production d'eau pure ;
- Une dualité profonde avec l'électricité, avec une capacité de transformation réciproque directe par électrolyse ou pile à combustible.

8.1 La production d'hydrogène

8.1.1 Reformage des vapeurs

Cette technique de production de l'hydrogène se fait à haute température (entre $700^{\circ}C$ et $1\ 000^{\circ}C$) où les liaisons de l'hydrogène sont rompues :



8.1.2 Électrolyse alcaline

L'électrolyse alcaline est une technologie prouvée. Cette technique de production d'hydrogène se fait selon les deux équations suivantes :

CHAPITRE 1

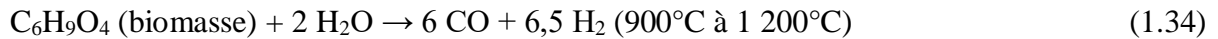
Étude bibliographique sur les énergies renouvelables et sur la production de l'hydrogène

À l'anode réductrice se dégage de l'oxygène : $2 \text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-$ (1.32)

À la cathode oxydante se dégage de l'hydrogène : $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ (1.33)

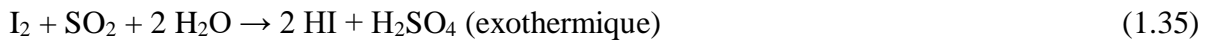
8.1.3 Production d'hydrogène à partir de la biomasse

L'équation suivante est une explication réelle de la production de l'hydrogène à partir de la biomasse :



8.1.4 Production d'hydrogène par dissociation thermochimique de la vapeur d'eau

Parmi les multiples cycles thermochimiques proposés, le cycle Iode-Soufre (I-S) a été le plus étudié. Il consiste à produire d'abord deux acides (HI et H₂SO₄), par la réaction dite de Bunsen :



SO₂ ayant été produit en amont par décomposition de H₂SO₂, HI étant décomposé en aval en hydrogène et iode ($2 \text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$) et l'iode I₂ étant réinjecté dans la réaction et H₂SO₄ en amont pour redonner SO₂.

9. Conclusion

- L'utilisation des énergies renouvelables pour la production de l'hydrogène est un facteur primordial pour améliorer la puissance économique de notre pays (Algérie) d'une part et de couvrir les besoins énergétiques d'autre part.
- Jusqu'à maintenant la source géothermique est considérée comme une source considérable mais on a besoins d'autres études approfondies pour mieux l'utiliser.
- En réalité la source éolienne est aussi une voie intéressante pour la production de l'hydrogène en Algérie.

Chapitre 2

**La production de l'hydrogène et de l'électricité
par l'utilisation des énergies renouvelables**

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

1. Introduction

Le remplacement des sources fossiles de l'énergie par l'hydrogène est considéré comme l'une des meilleures solutions pour réduire les émissions de CO₂ d'une part, et améliorer l'économie d'autre part. La production d'hydrogène à partir des énergies renouvelables est une voie intéressante pour les futures générations pour combler les besoins en énergie. En fait, l'utilisation des énergies renouvelables occupe une place importante dans la recherche pour la production d'hydrogène. L'exploitation de ces ressources est devenue le débat principal dans le secteur énergétique, en particulier après la crise du pétrole au cours des trois dernières années. De nombreux chercheurs ont utilisé les énergies renouvelables pour la production de l'électricité. Cependant, la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire est considérée comme le futur plan pour l'amélioration du secteur de l'énergie. Principalement, la production d'hydrogène est le résultat du couplage entre l'énergie solaire qui est la voie dominante et efficace grâce à l'énergie solaire thermique, avec des cycles thermochimiques. En outre, en utilisant un panneau solaire photovoltaïque hybride, avec un électrolyseur, on obtient une solution efficace pour la production d'hydrogène.

2. Production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire et les cycles thermochimiques comme une solution d'avenir

L'un des avantages de la production d'hydrogène à partir de systèmes d'énergies solaires par le biais de cycles thermiques thermochimiques est la chaleur de combustion à l'oxygène ($14,19 \times 10^4$ kJ/kg), qui est bien meilleure que les combustibles fossiles. La production d'hydrogène à partir de l'énergie thermique est envisagée comme solution positive pour les générations futures pour couvrir les besoins en énergie. La Figure 2.1 montre l'origine de l'hydrogène produit actuellement dans le monde entier [35].

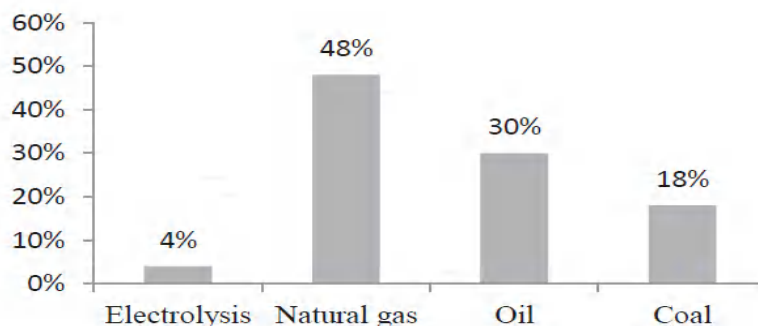


Figure 2.1 : Origine de l'hydrogène produit actuellement dans le monde [35]

CHAPITRE 2

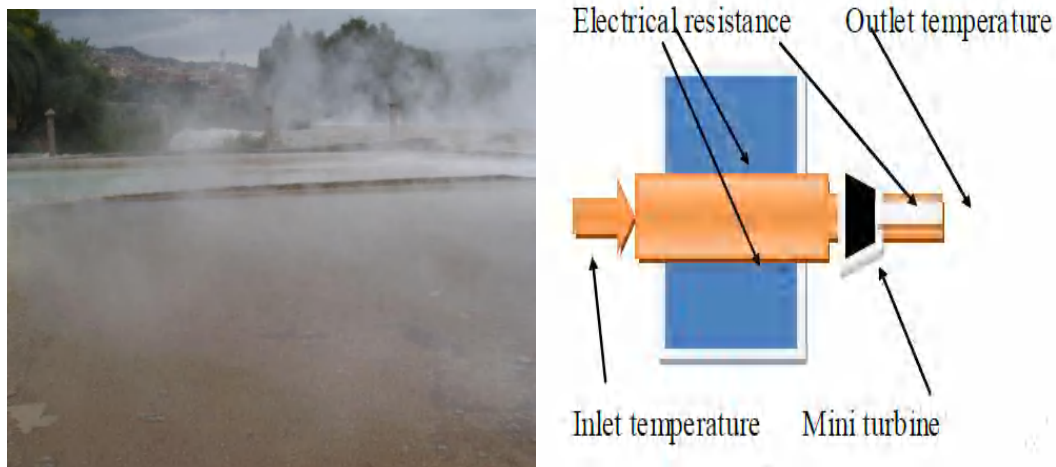
La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

3. Étude de cas

3.1 Technique basée sur les panneaux solaires photovoltaïques

3.2 Description du cas étudié

La combinaison entre les trois sources différentes d'énergie, qui sont les cellules solaires en silicium, la mini-turbine et la source d'énergie géothermique, a été développée dans la ville de Ghardaïa. Le cas étudié consiste à modéliser deux parties différentes. La première partie est consacrée à la modélisation des cellules photovoltaïques ; la deuxième partie comprend une partie thermique qui combine l'énergie géothermique et le système mini-mécanique (mini-turbine). Le couplage entre les deux parties nous donne la puissance totale produite par le panneau solaire hybride. Le but de l'étude du cas proposé avec une mini-turbine est d'obtenir plus de quantité d'électricité et de l'augmentation de la température de l'eau en phase vapeur pour la production de l'électricité et de l'hydrogène. La Figure 2.2 montre le cas étudié.



3.3 Protection contre les surintensités dans les systèmes à panneaux solaires

Cette partie se compose de différentes étapes qu'il dépend de l'équipement nécessaire utilisé dans l'expérience du relais numérique pour la protection de l'installation électrique durant la production de l'hydrogène.

- Le relais numérique sur les intensités doit être testé avant son installation dans la zone à protéger.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- Le test d'un relais numérique pour protéger le panneau solaire contre les dommages, et d'assurer la poursuite de la production d'hydrogène. Ainsi, le passage de la première partie (la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables) vers la deuxième partie (la production d'hydrogène) doit passer ce test pratique.
- Le relais en cours de test est connecté à un ordinateur par l'intermédiaire d'un connecteur optique placé à l'avant de l'IHM. L'unité de base et l'IHM du relais sont alimentés en courant continu de 100 V et 48 V, respectivement, et sont reliés aux autres équipements électriques et solaires (panneaux photovoltaïques) à l'aide du connecteur standard « Physical-Interface RS485 ».
- Le CMC356 avec 220 V AC a été liée à l'équipement en utilisant les câbles qui sortent de ses trois sorties de tension et de courant de phase et allant vers le module d'entrée analogique de l'unité de base du relais.
- Cette connexion permet au CT et au VT situés à l'intérieur duMC356 de détecter et de mesurer les tensions et les courants avant de les envoyer au relais.
- La communication entre le CMC356 et le PC où le « Test universel » a été effectué à l'aide d'un câble Ethernet.
- Le CMC356 et le relais sont allumés, le relais a été remis à zéro et ainsi, prêt à tester

La Figure 2.3 montre le signe plus du REF452 et du CMC356 reliés entre eux dans le laboratoire pour les tests.

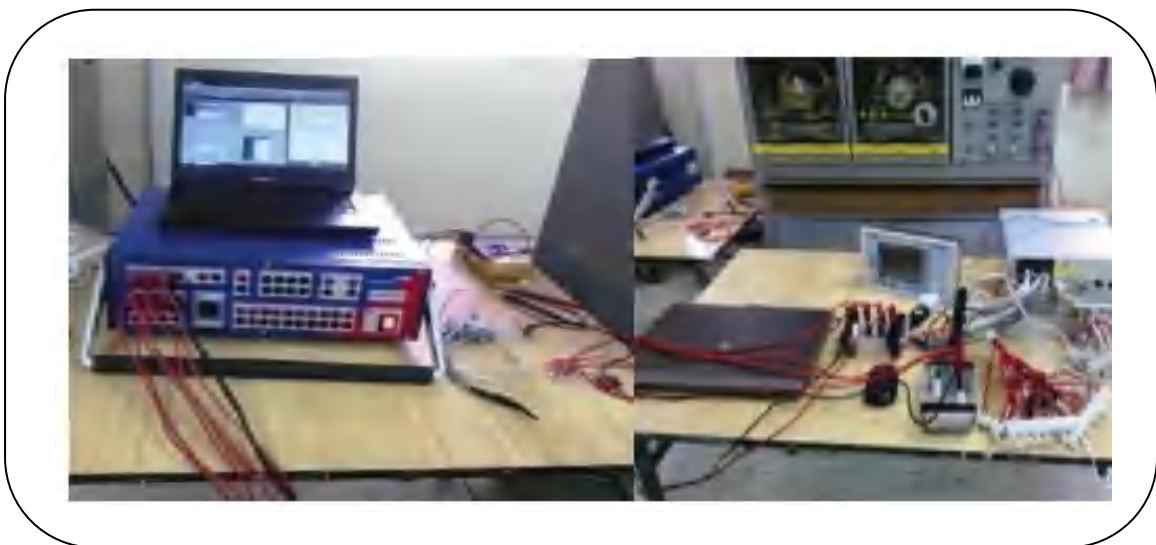


Figure 2.3 : Test d'étude des intensités dans le panneau PV solaire [modèle étudié]

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

3.4.1 Le cas électrique idéal des panneaux photovoltaïques :

Dans ce cas, l'équation de la tension du courant de la cellule solaire photovoltaïque idéale est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot v}{n \cdot k \cdot T}\right) \right] \quad (2.1)$$

Lorsque le courant de photons dans la cellule solaire est idéal :

$$I_{ph} = [I_S + K_i(T - T_n)] \frac{G}{G_n} \quad (2.2)$$

Où $K_i = 0,0017 \text{ A}/^\circ\text{C}$ est le coefficient de température du courant de court-circuit de la cellule et G est le rayonnement solaire (W/m^2).

Le courant de saturation de la cellule varie avec la température :

$$I_S(t) = I_S \cdot \left(\frac{t}{t_n}\right)^3 \cdot \exp\left(\frac{E_g(t - t_n)}{V_t(t_n - 1)}\right) \quad (2.3)$$

Où I_S est le courant de saturation inverse de la diode, et t_n est la température nominale, par $\exp\left(\frac{E_g(t - t_n)}{V_t(t_n - 1)}\right)$ est l'énergie de la bande interdite du semi-conducteur, V_t est la tension thermique donnée par :

$$V_t = \frac{k \cdot T}{q} = \frac{T}{11600} \quad (2.4)$$

La sortie de courant du module PV est :

$$I = N_p \cdot I_p - N_p I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot v}{n \cdot k \cdot T}\right) \right] \quad (2.5)$$

3.4.2 La partie thermique

La puissance électrique produite par la mini-turbine est représentée par l'équation suivante :

$$P_u = 0,97 \cdot 9,81 \cdot n_t \cdot n_g \cdot Q_t \cdot h_n \quad (2.6)$$

Où ; P_u , Q_t , H_n , n_t , n_g représentent respectivement la quantité d'énergie produite (W), le débit de la mini-turbine (m^3/s), la chute nette (m), l'efficacité de la mini-turbine, l'efficacité du générateur (générateur de la mini-turbine).

L'équation suivante montre la baisse nette :

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

$$H_n = H_b - H_L - \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right] \quad (2.7)$$

Lorsque, H_b , H_L , v , g , représentent respectivement la chute brute, la célérité la plus haute, l'accélération de la pesanteur (H_L représente environ 10% à 15% de H_b). La température de sortie est décrite dans l'équation suivante :

$$T_s = T_e + (P_u/m \cdot C_p) \quad (2.8)$$

T_s , T_e , m , C_p , P_u sont respectivement la température de sortie, la température d'entrée, la chaleur spécifique, la puissance électrique de l'eau en phase vapeur entre le point d'entrée et de sortie de chaque canal connecté sur le panneau solaire.

En ce qui concerne la production d'hydrogène à partir du panneau solaire sélectionné, le cycle à H_2SO_4 a été sélectionné pour étudier l'impact de la surintensité sur les systèmes étudiés.



La Productivité d'hydrogène à partir du H_2SO_4 est 295.5MJ/kg H_2 .

4. la production de l'hydrogène basée sur les Techniques de l'énergie solaire thermique : Étude de cas

4.1 Mesure des facteurs climatiques nécessaires dans la ville de Ghardaïa.

Le champ d'expérience est la ville de Ghardaïa qui est située dans le sud de l'Algérie, où les facteurs climatiques nécessaires ont été mesurés par la station météorologique Figure 2.6. Les Figure2.7, 2.8 et 2.9 montrent la variation de l'irradiation globale, l'humidité relative et la température en janvier 2017. Les mesures ont été prises toutes les 10 minutes.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables



Figure 2.4 : Centrale météorologique dans la ville de Ghardaïa pour mesurer les paramètres climatiques [Modèle étudié]

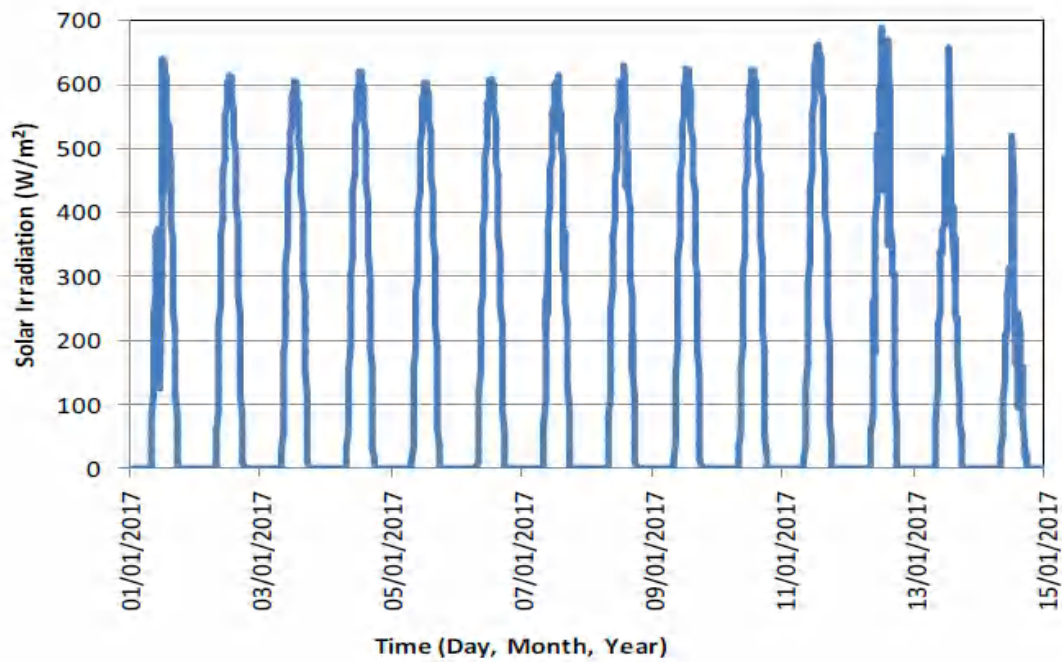


Figure 2.5 : Rayonnement solaire dans la ville de Ghardaïa (Algérie).

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

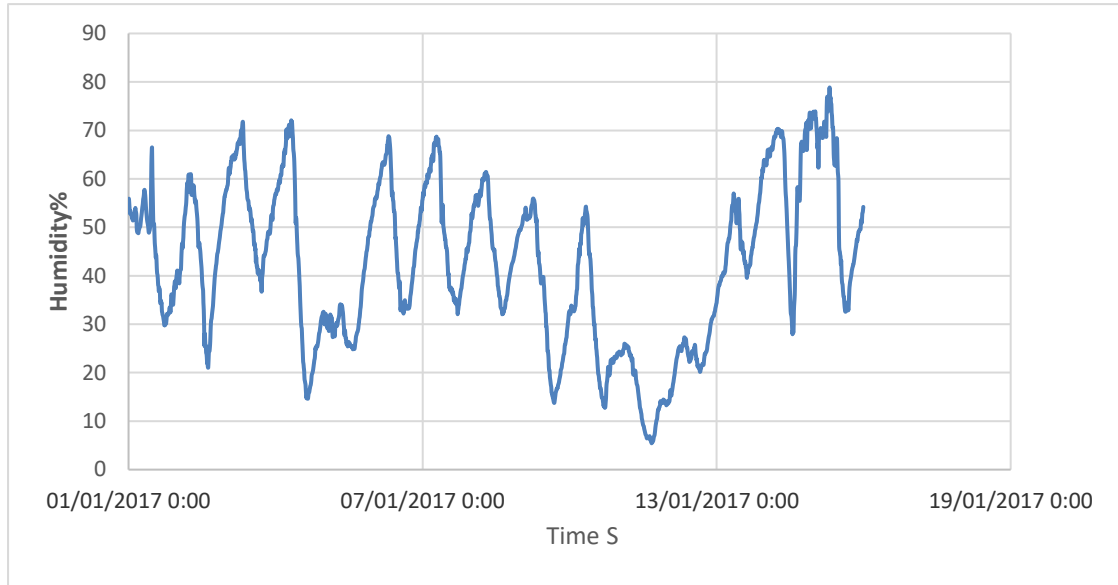


Figure 2.6 : Variation de l'humidité relative dans la ville de Ghardaïa (Algérie).

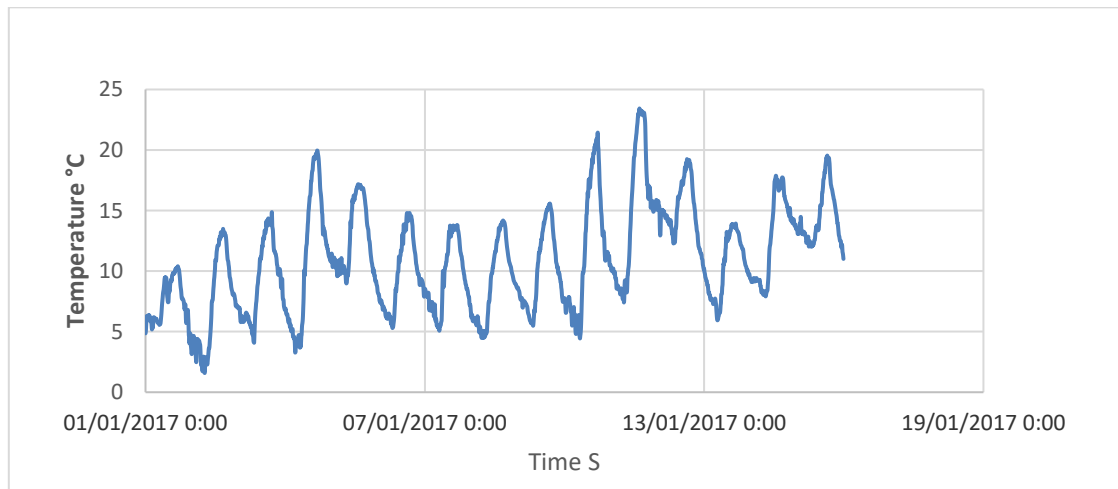


Figure 2.7 : Variation de la température dans la ville de Ghardaïa (Algérie).

4.3 Technologies solaires thermiques pour la production d'hydrogène

Beaucoup de travaux de recherches ont été mis au point pour relier les études expérimentales et les applications d'énergie solaire thermique pour générer de nouvelles voies pour la production d'électricité d'une part et d'autres ressources propres comme l'hydrogène d'autre part (voir le tableau 1.1 chapitre 1).

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

Concernant le cas étudié, on a sélectionné les systèmes thermiques donnés par les Figures 2.8 et 2.9) qui sont déjà installés à la ville de Ghardaïa.

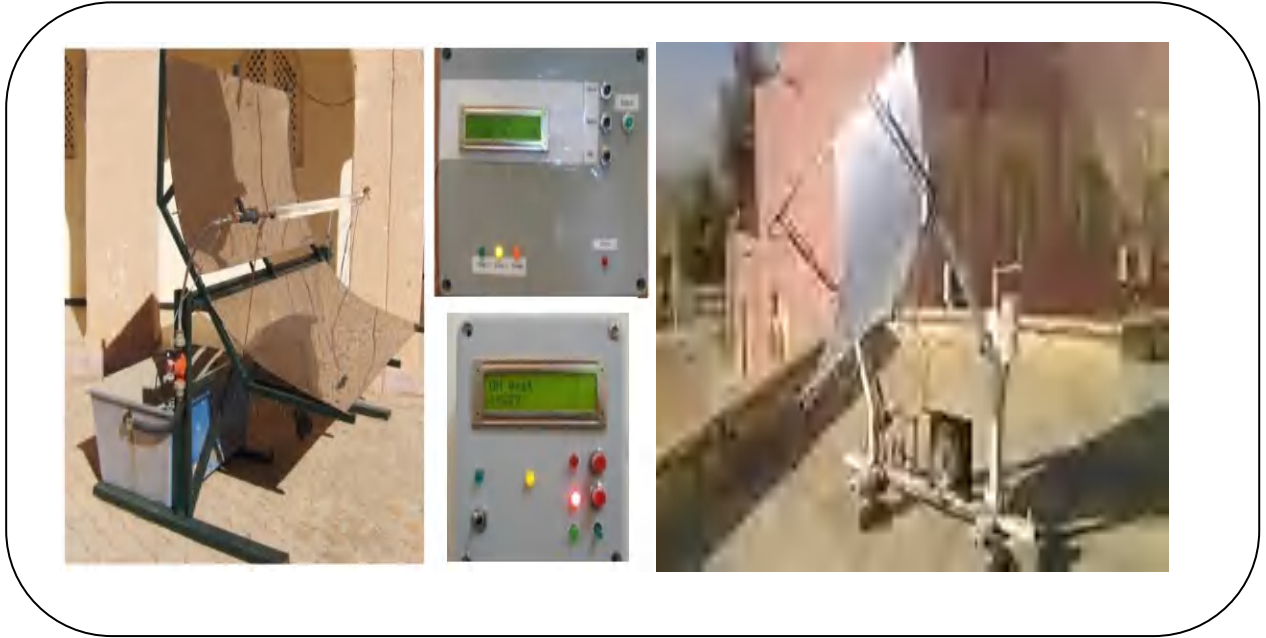


Figure 2.8 : Système de collecteur solaire cylindro-parabolique

[Unité de Recherche appliquée en énergies renouvelables : l'unité de recherche en énergie renouvelable appliquée dans la ville de Ghardaïa] [21]



Figure 2.9 : Système de la tour solaire

[Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables : unité de recherche appliquée dans les énergies renouvelables dans la ville de Ghardaïa] [22]

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

La production d'hydrogène par le système d'énergie solaire thermique est une voie efficace pour augmenter la productivité des cycles thermochimiques d'un côté, et de minimiser les émissions de CO₂ dans l'autre côté. Le Tableau 2.1 montre la productivité de l'hydrogène à partir de différents cycles thermochimiques. Le cycle de production de l'hydrogène à CH₄ est le meilleur cycle vu sa faible énergie utilisée pour obtenir 1KgH₂.

Tableau 2.1 : La productivité d'hydrogène des cycles thermochimiques solaires

Cycle de production de l'hydrogène	La productivité de l'hydrogène MJ/kgH ₂
1/ZnO/Zn [36]	1255.754 MJ/kgH ₂ [36]
2/Fe ₃ O ₄ /Fe _o [36]	1498.239 MJ/kgH ₂ [36]
3/Fe ₂ O ₃ /Fe ₃ O ₄ [36]	2 798 894 MJ/kgH ₂ . [36]
4/CH ₄ (700 ° C-1000 ° C) [37]	165 MJ/kgH ₂ . [37]
5/CeO ₂ [38]	662 MJ/kgH ₂ . [38]
6/H ₂ SO ₄ [39]	295 500 MJ/kgH ₂ [39]
7/Cu-Cl [40]	195,7 MJ/kgH ₂ [40]

L'utilisation de deux systèmes d'énergies solaires thermiques pour la production d'hydrogène entre deux modèles différents qui sont basés sur le cycle de CH₄ à une température entre 700°C à 1000°C d'une part, et le cycle Cu-Cl à une température comprise entre 25°C et 500°C d'autre part ont fait l'objet de ce chapitre. Le Tableau 2.2 montre la productivité d'hydrogène du cycle CH₄ et le cycle Cu-Cl couplé au système solaire approprié.

Tableau 2.2 : la productivité de l'hydrogène à partir de l'énergie solaire thermique et des cycles thermochimiques

Cycle de production de l'hydrogène	La productivité de l'hydrogène MJ/kgH ₂	Système solaire thermique
CH ₄ (700°C à 1000°C)	165 MJ/kgH ₂ . [37]	Système de capteur cylindro-parabolique solaire) [41]
Cu-Cl (2°C à 500°C)	195,7 MJ/kgH ₂ [40]	Système solaire tour de puissance [25]

5. Cycle de CH₄ à travers le collecteur solaire parabolique rainuré (700°C à 1000°C)

La conception du modèle proposé est basée sur :

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- Dans le domaine solaire : le fluide caloporteur qui circule dans le système de collecteur solaire cylindro-parabolique est de l'hélium pour obtenir la température nécessaire (700°C à 1000°C) pour produire de l'hydrogène à partir du cycle CH₄.
- L'hélium est utilisé dans le système de capteur cylindro-parabolique solaire parce que a une capacité d'augmenter la température jusqu'à 1000°C.
- Le modèle proposé montre qu'il existe une voie prometteuse pour la production d'hydrogène à travers le cycle CH₄.
- Le cycle CH₄ pour la production d'hydrogène est donné par :
 - méthane de reformage à la vapeur : $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ (2.12)
 - Déplacement du gaz à l'eau : $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ (2.13)

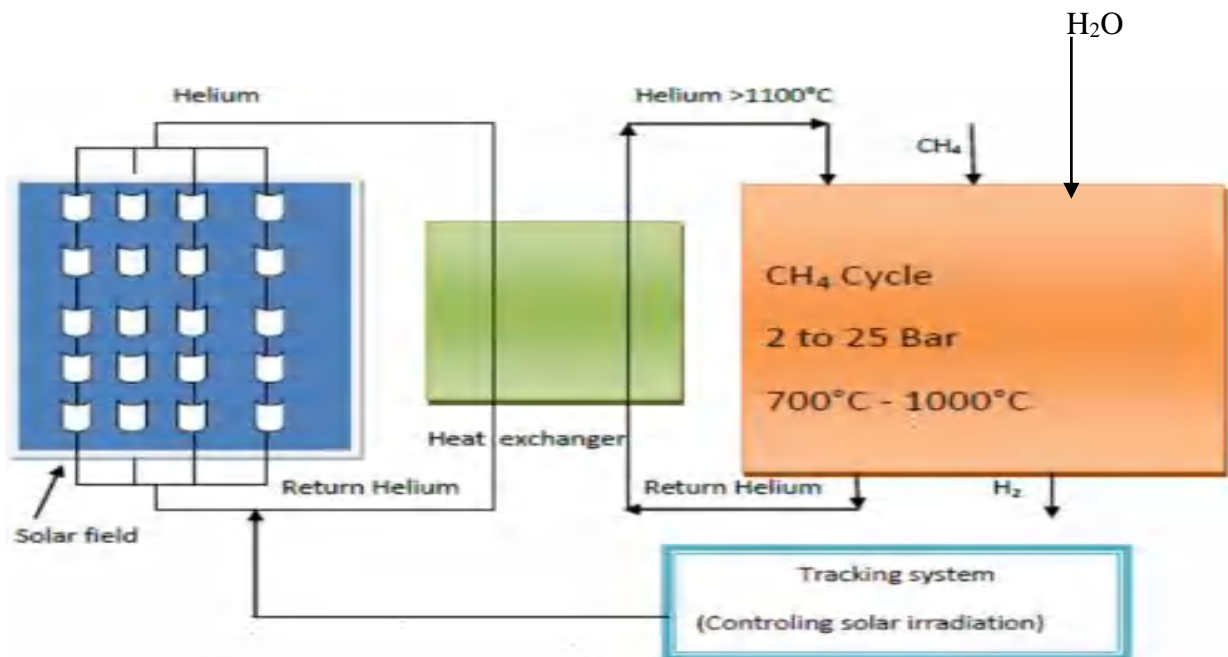


Figure 2.10 : Le cycle CH₄ pour la production d'hydrogène (le premier cas étudié)

Dans cette partie, deux modèles différents décrivant une nouvelle conception de systèmes de capteurs solaires cylindro-paraboliques pour augmenter l'efficacité énergétique et l'optimisation du système solaire pour la production d'hydrogène ont été mis au point. Le tube dans lequel le fluide thermique circule est rectangulaire pour augmenter le contact avec l'environnement et absorber le rayonnement solaire élevé pendant une courte période. L'orientation des modèles proposés devrait être orientée vers la direction sud-ouest.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.1 Analyse thermique du tube d'absorption

Il est nécessaire d'analyser les performances thermiques et hydrauliques d'un tube d'absorption de 6m de longueur lorsqu'il fonctionne avec le fluide caloporteur qui est l'hélium. Les températures d'entrée et de sortie du fluide sont entre 10°C et 1200°C, et une irradiation solaire maximum de 638 W/m² sera considérée. La section du tube est de forme carrée et son côté est calculé en fonction des diamètres équivalents fournis. A cet effet, la section équivalente, A , est calculée à partir du diamètre équivalent, D :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (2.14)$$

Par conséquent, le côté, S , de la section carrée, est obtenu comme suit :

$$S = \sqrt{A} = \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \sqrt{\frac{\pi}{4}} \cdot D \quad (2.15)$$

L'analyse a été effectuée pour six (6) diamètres équivalents différents, soit 0,01 m, 0,02 m, 0,03 m, 0,04 m, 0,05 m et 0,1 m. Cela a donné lieu à 6 simulations différentes. Les géométries ont été créées à l'aide d'ANSYS Design Modeler, en créant des esquisses au carré et en utilisant l'opération d'extrusion. La Figure 2.11 illustre la géométrie créée pour le cas étudié.

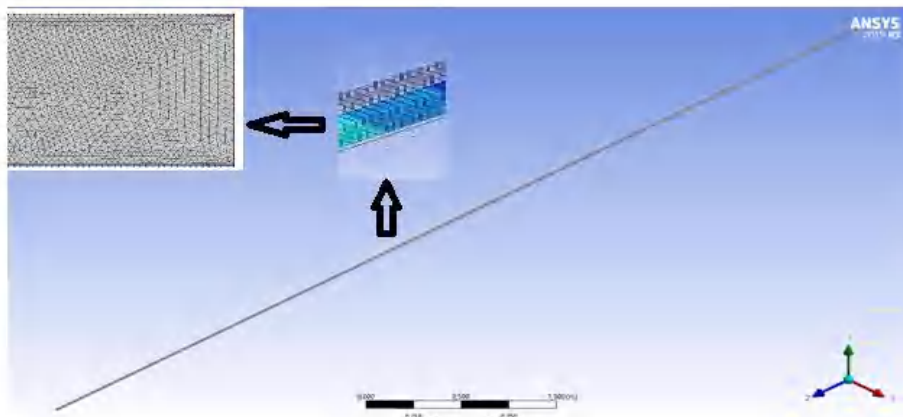


Figure 2.11 : Géométrie créée pour le cas étudié.

Par conséquent, le maillage de calcul a été créé en discrétisant le modèle précédemment créé en petits éléments. Ceci a été réalisé en fixant le nombre total d'éléments à 1 mm pour le

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

premier cas. Pour tous les cas évalués, un nombre total d'environ 600 000 nœuds et 500 000 éléments ont été employés. Le maillage résultant pour le premier cas évalué est présenté dans la Figure 2.12

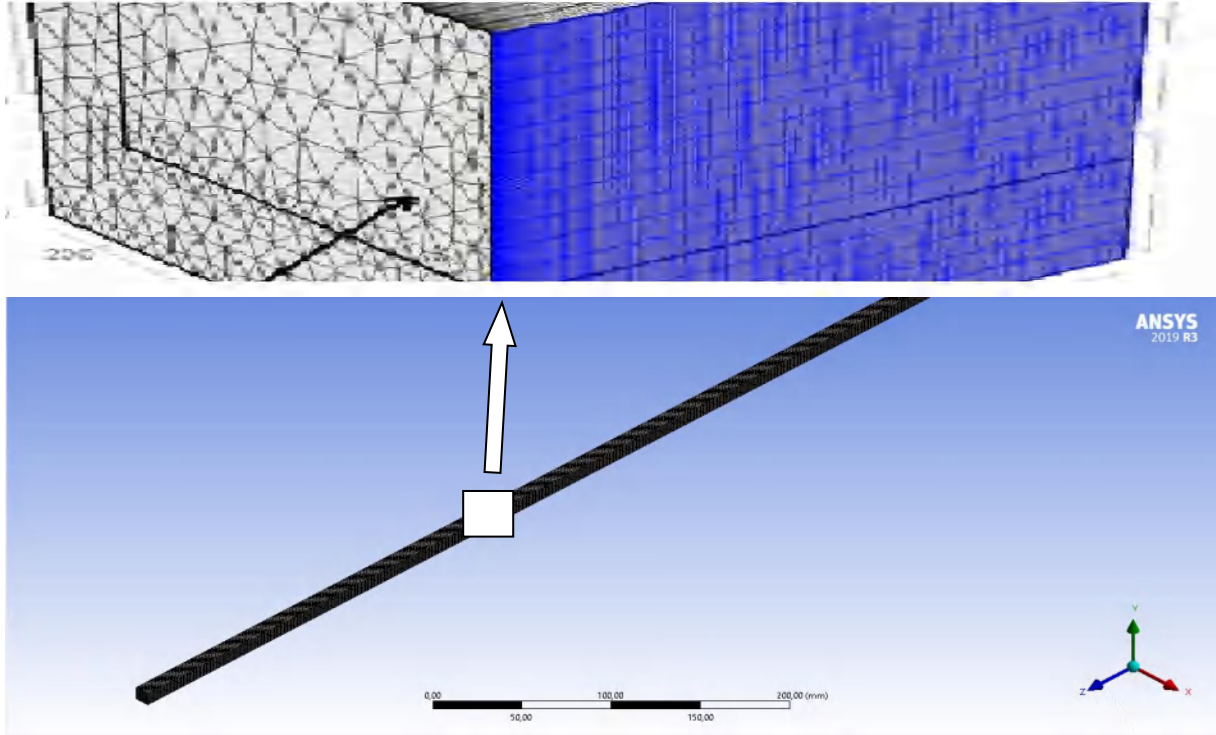


Figure 2.12 : Maillage considéré pour le premier modèle.

L'entrée et la sortie ont reçu leurs sélections nommées correspondantes dans la section de maille, ainsi que les surfaces du tube qui vont être soumises à une irradiation solaire uniforme. Le fluide de travail a été considéré comme un gaz parfait, à densité variable en fonction de la température, de la pression et de la vitesse de fonctionnement. En outre, la vitesse d'entrée a été modifiée jusqu'à ce qu'une température de sortie de 1100°C (1373K) soit atteinte, et la pression manométrique de sortie a été fixée à 0 Pascal, équivalent à la pression atmosphérique (101 325 Pa). Les vitesses d'entrées utilisées pour l'hélium, pour tous les diamètres de tuyaux évalués, sont résumées dans le tableau 2.4. Comme on peut le voir, on a utilisé des vitesses de fluide significativement faibles, correspondant dans tous les cas à des régimes d'écoulement laminaire, et pour cette raison, le modèle visqueux « Laminaire » disponible dans le logiciel fluent a été sélectionné. De plus, le schéma « Couplé » a été pris en compte pour le couplage de la pression et de la vitesse et l'option « Deuxième ordre en amont » a été sélectionnée pour

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

la discrétisation spatiale de la pression, de la densité, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Par ailleurs, un critère de convergence de 1×10^{-6} a été utilisé pour les résidus correspondant aux équations de vitesse, de continuité et d'énergie X, Y et Z.

Tableau 2.3. Vitesses du fluide considéré.

Diamètre équivalent du tuyau (m)	Vitesse de l'hélium (m/s)
0,01	0,4429
0,02	0,2215
0,03	0,1476
0,04	0,1107
0,05	0,0886
0,1	0,0443

5.2 Résultats

Une fois toutes les simulations réalisées, les résultats ont été extraits sous forme de graphiques qui présentent la variation de variables importantes telles que la température, la pression, la vitesse et la densité du fluide en fonction de la longueur du tube, pour tous les cas évalués.

5.2.1 Diamètre de tuyau équivalent = 0,01 m

- La Figure 2.13 représente la variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m. On remarque que la perte de pression de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

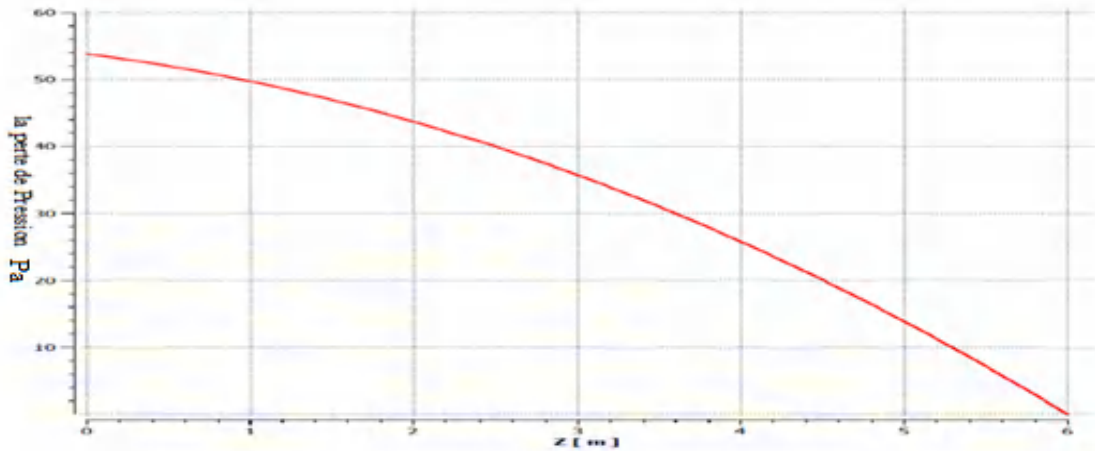


Figure 2.13 : Variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m. Pa

- La figure 2.14 représente la variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m. On remarque que la masse volumique de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

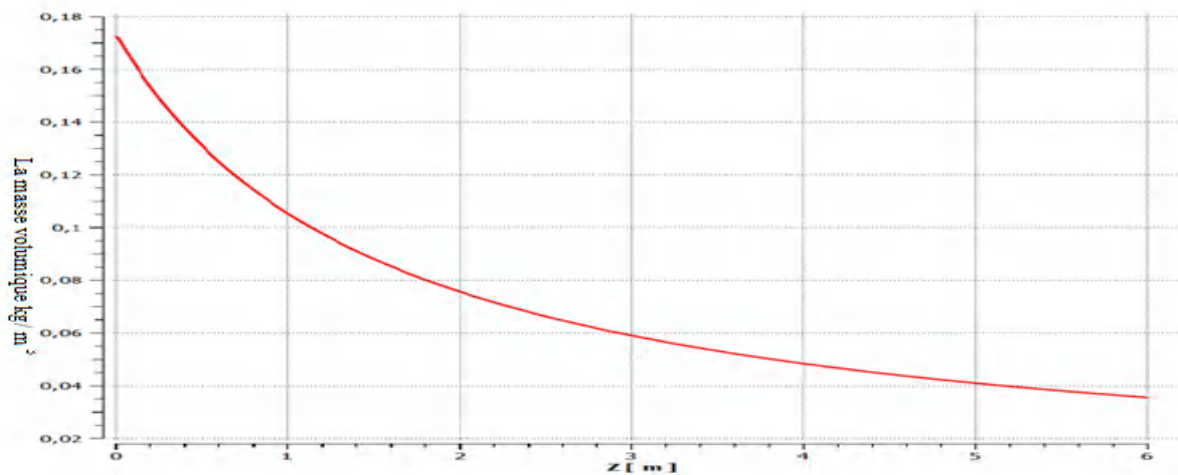


Figure 2.14 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- La Figure 2.15 représente la variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m. On remarque que la température de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

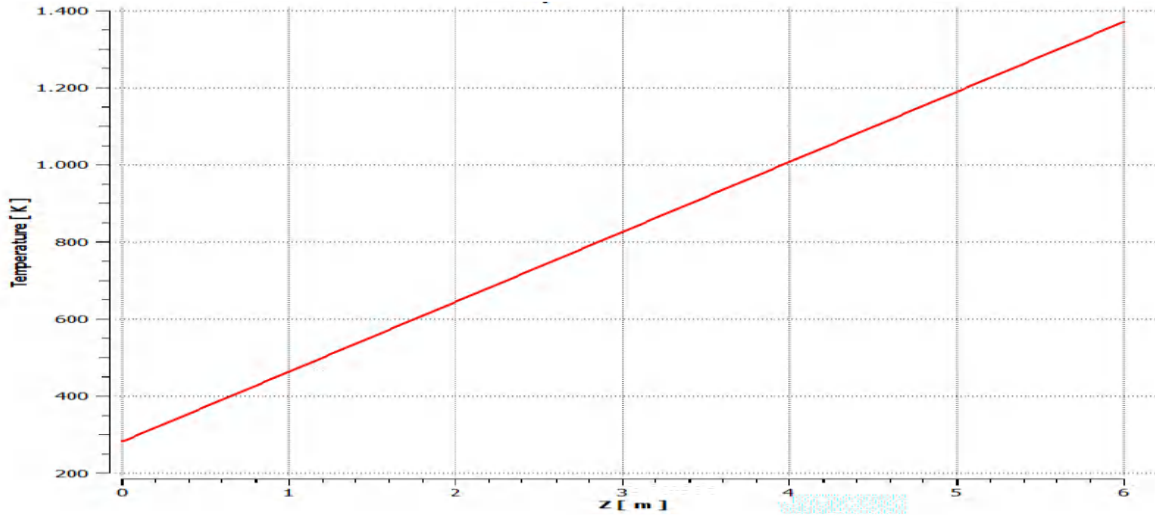


Figure 2.15 : Température en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m.

- La Figure 2.16 représente la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m. on remarque que la vitesse de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

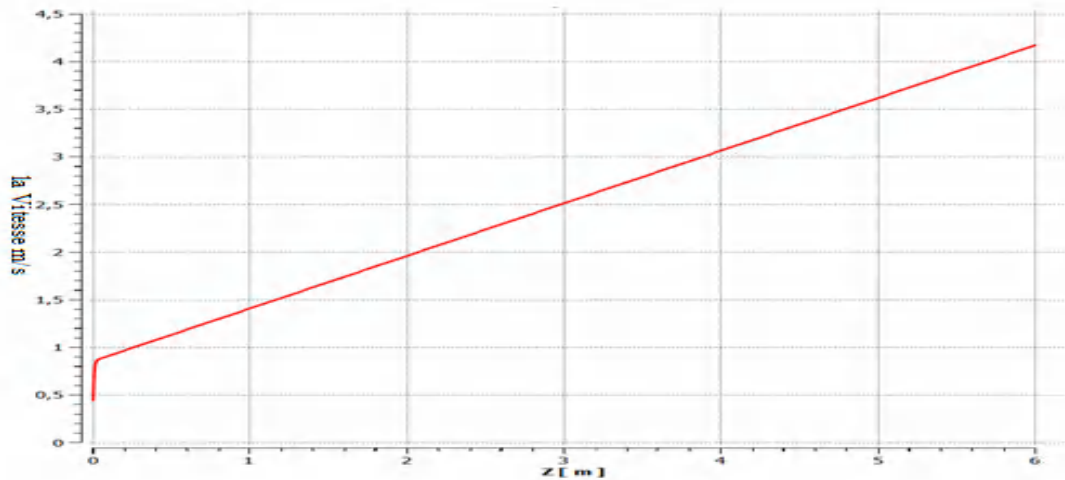


Figure 2.16 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,01 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.2.2 Diamètre de tuyau équivalent = 0,02 m

- La Figure 2.17 représente la variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m. on remarque que la perte de pression de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube

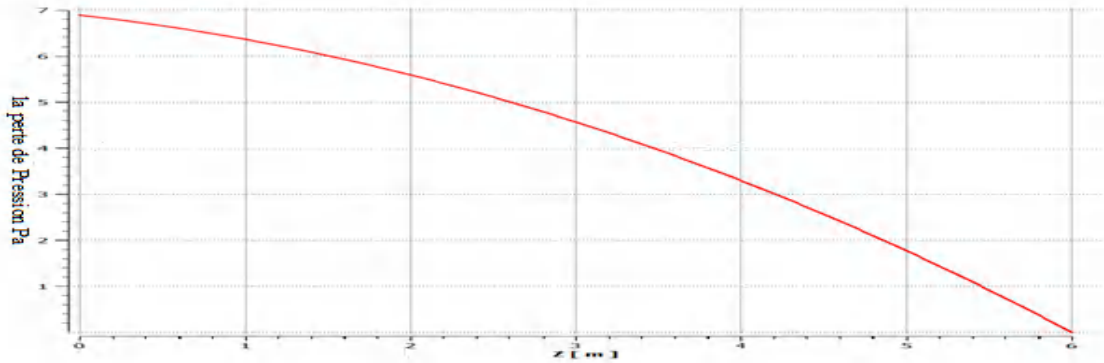


Figure 2.17 : Variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.

- La Figure 2.18 représente la variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m. on remarque que la masse volumique de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

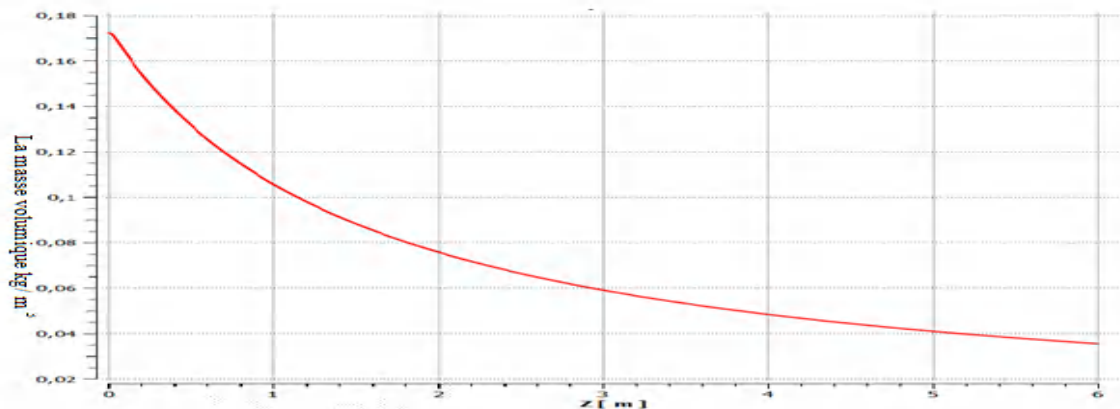


Figure 2.18 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- La Figure 2.19 représente la variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m. On remarque que la température de l'Hélium augmente avec l'augmentation du tube

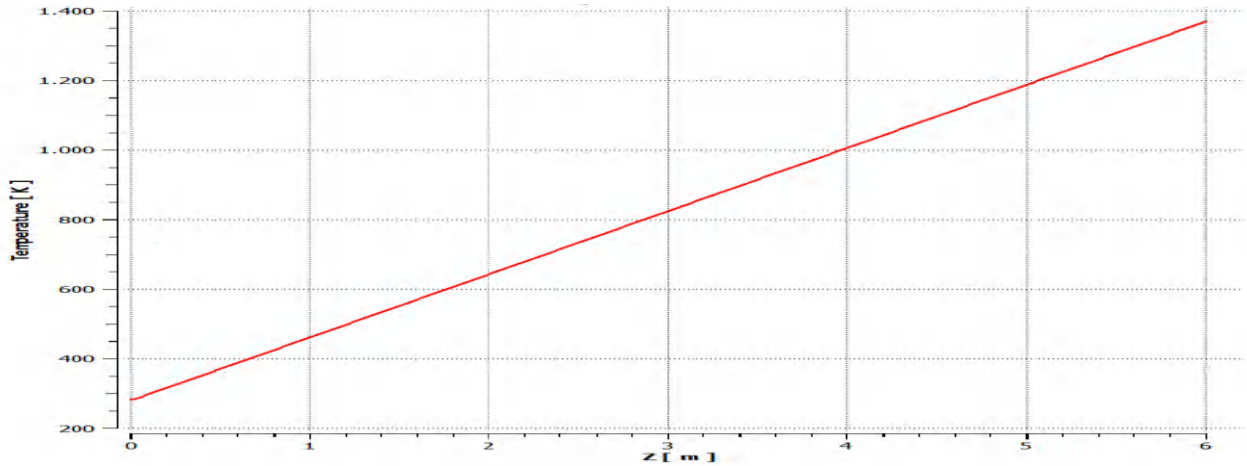


Figure 2.19 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.

- La Figure 2.20 représente la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m. on remarque que la vitesse de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

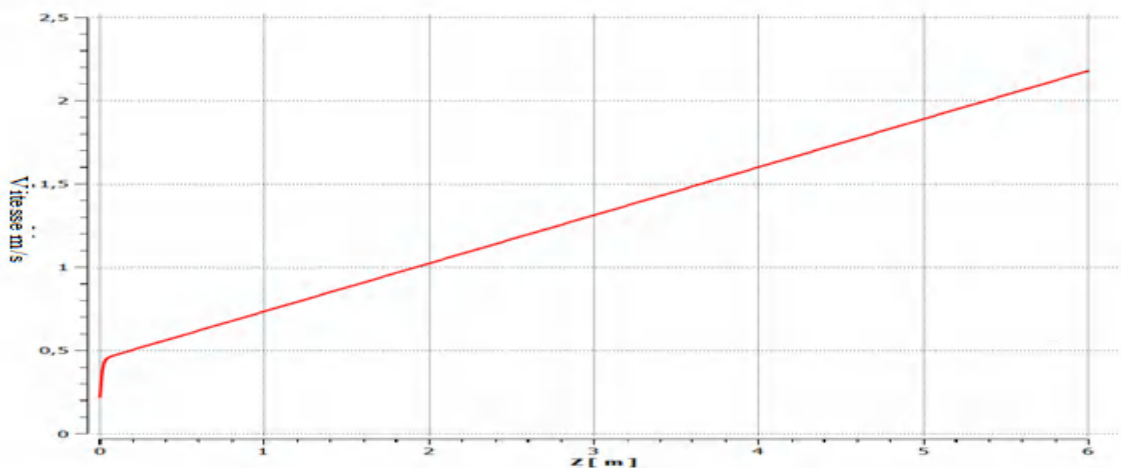


Figure 2.20 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,02 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.2.3 Diamètre de tuyau équivalent = 0,03 m

- La Figure 2.21 représente la variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m. on remarque que la perte de pression de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube

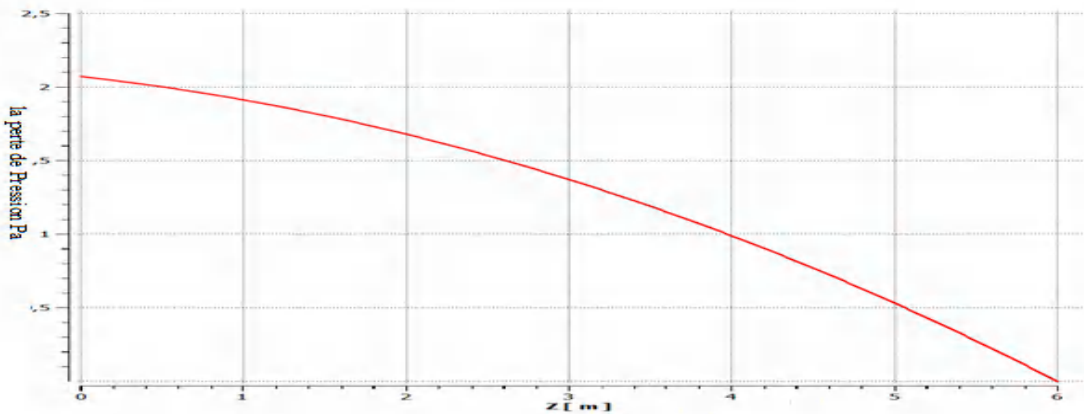


Figure 2.21 : Variation de la perte de pression en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.

- La Figure 2.22 représente la variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m. on remarque que la masse volumique de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

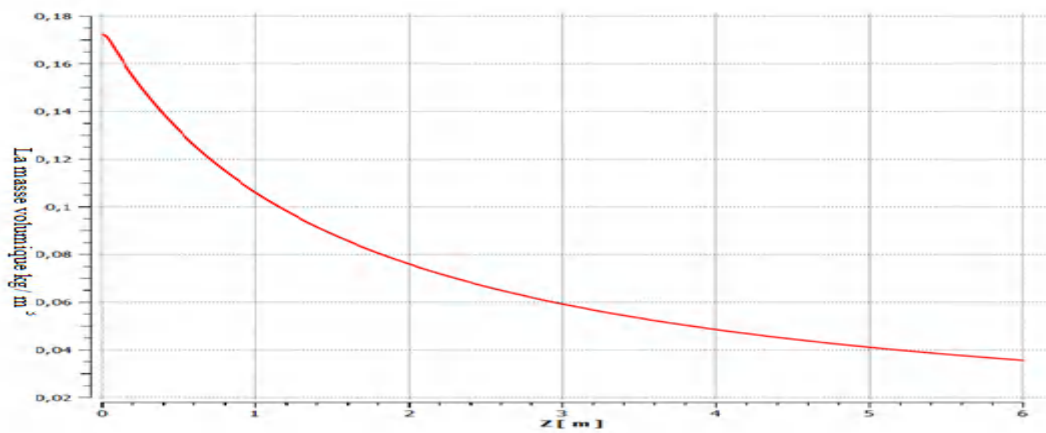


Figure 2.22 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- La Figure 2.23 représente la variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m. On remarque que la température de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

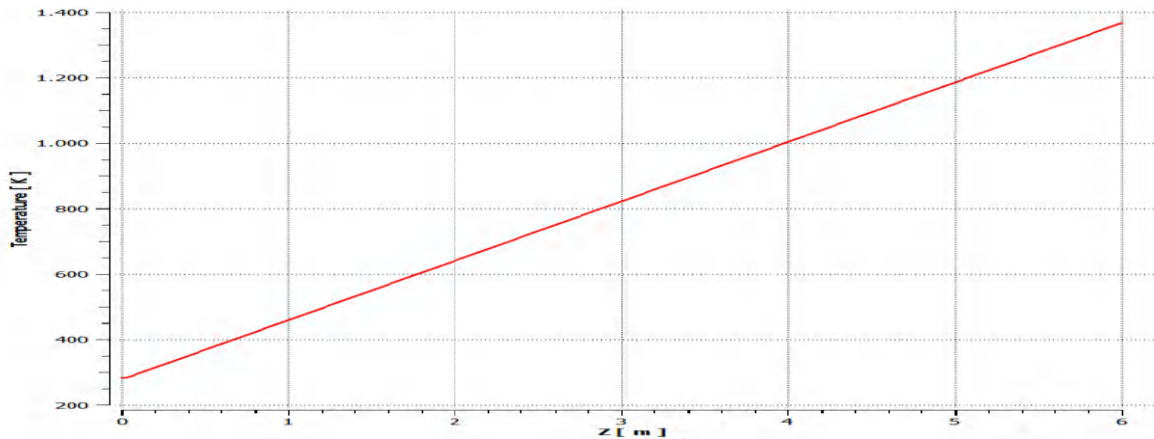


Figure 2.23 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.

- La Figure 2.24 représente la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m. on remarque que la vitesse de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

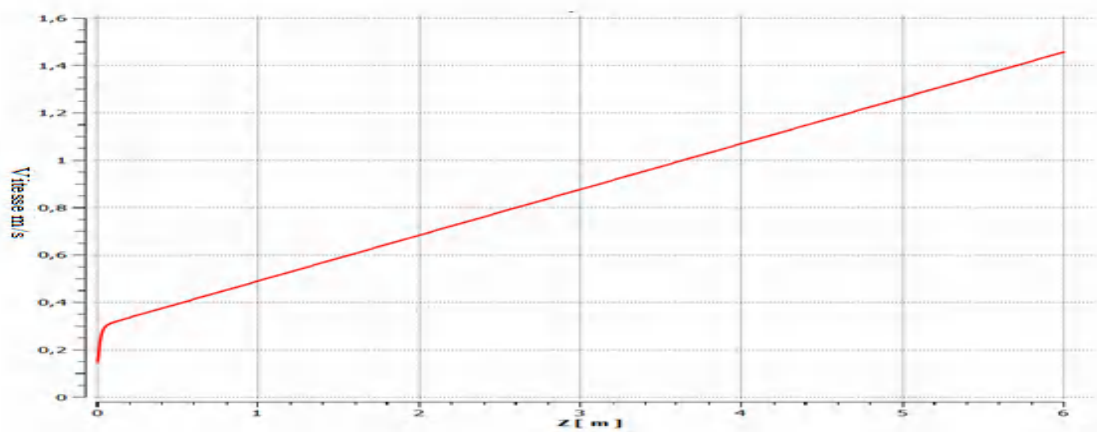


Figure 2.24 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,03 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.2.4 Diamètre de tuyau équivalent = 0,04 m

- La Figure 2.25 représente la variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m. on remarque que la perte de pression de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube

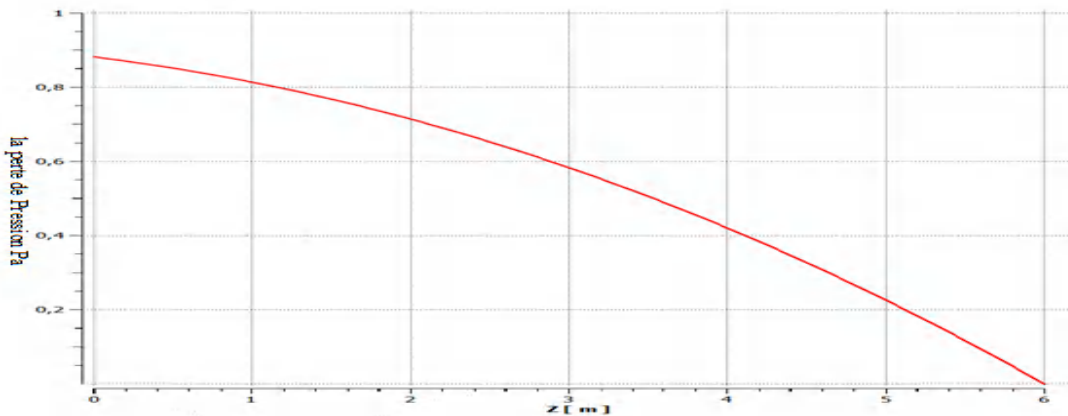


Figure 2.25 : Variation de la perte de pression en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.

- La Figure 2.26 représente la variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m. on remarque que la masse volumique de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

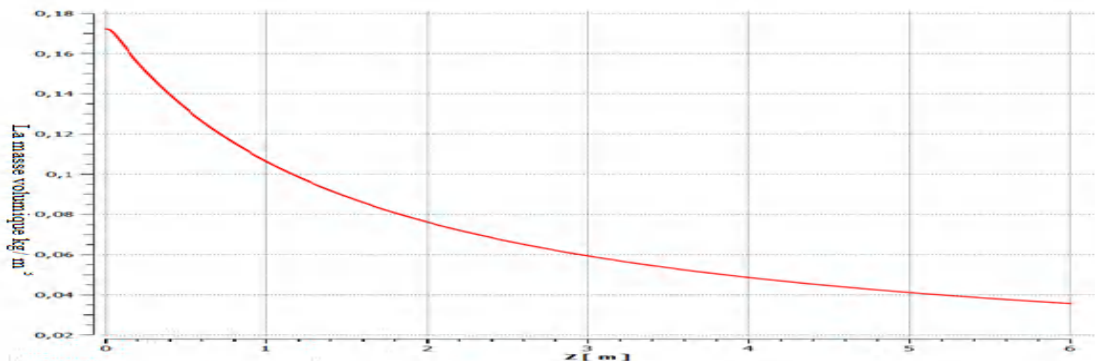


Figure 2.26 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- La Figure 2.27 représente la variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m. On remarque que la température de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

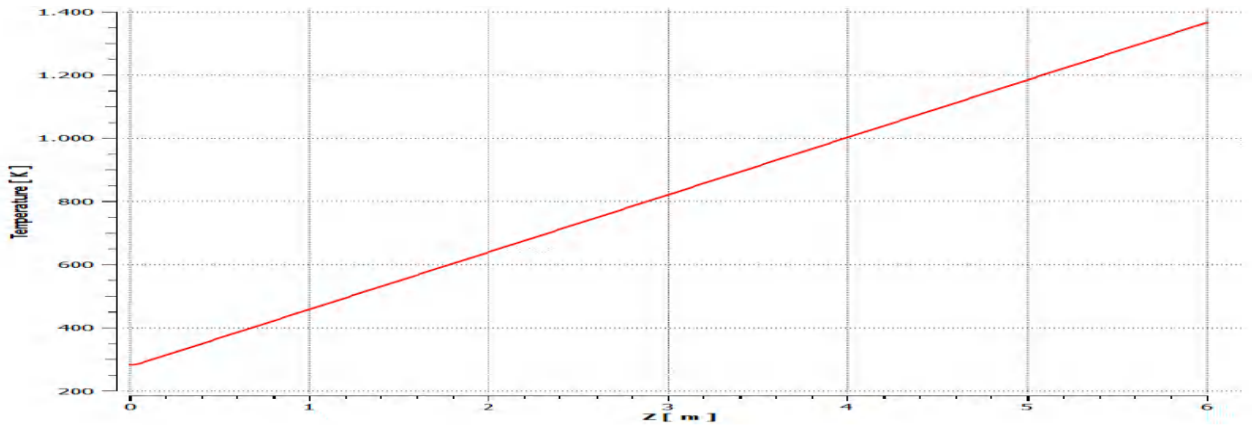


Figure 2.27 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.

- La Figure 2.28 représente la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m. on remarque que la vitesse de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

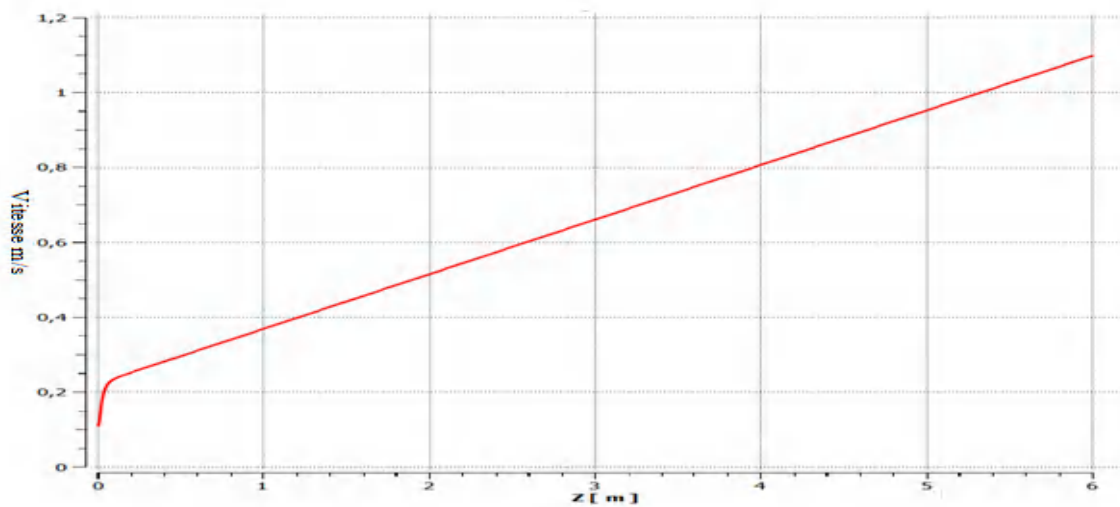


Figure 2.28 : Variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,04 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.2.5 Diamètre de tuyau équivalent = 0,05 m

- La Figure 2.29 représente la variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m. on remarque que la perte de pression de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube

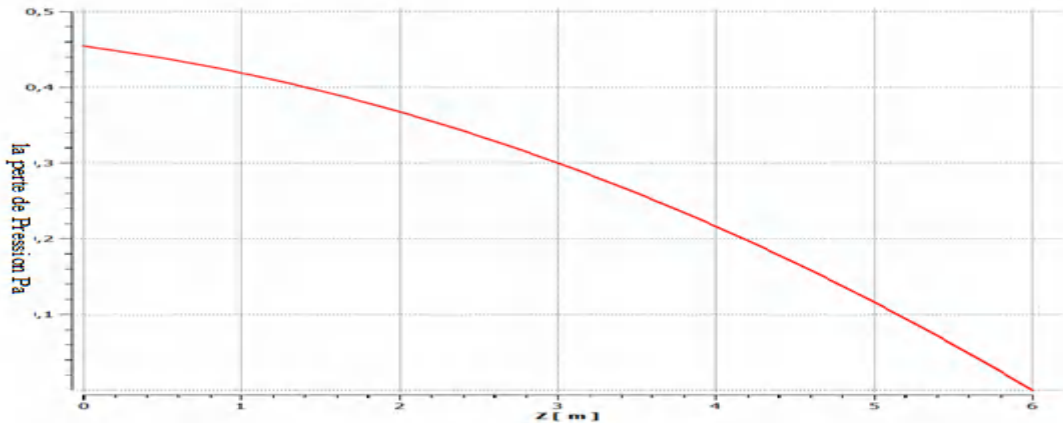


Figure 2.29 : la perte de Pression en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.

- La Figure 2.30 représente la variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m. on remarque que la masse volumique de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

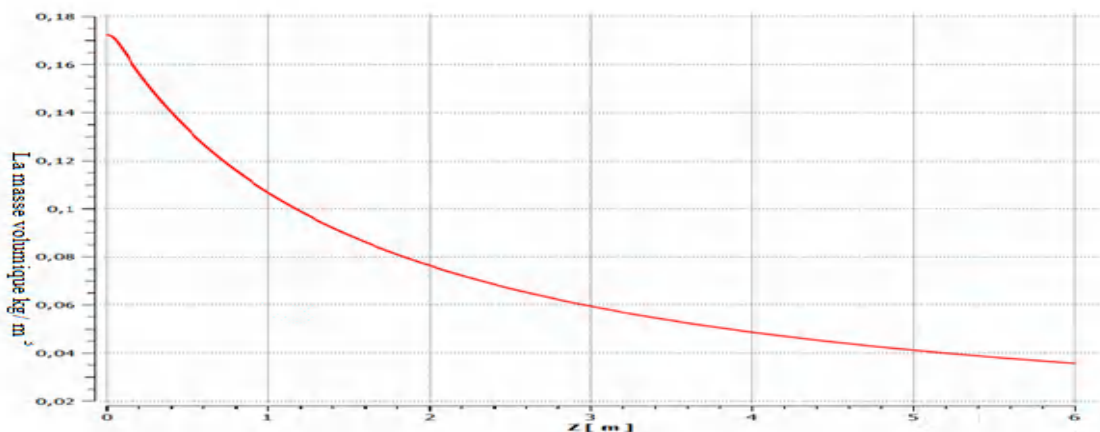


Figure 2.30 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- La Figure 2.31 représente la variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m. On remarque que la température de l'Hélium augmente avec l'augmentation de longueur du tube.

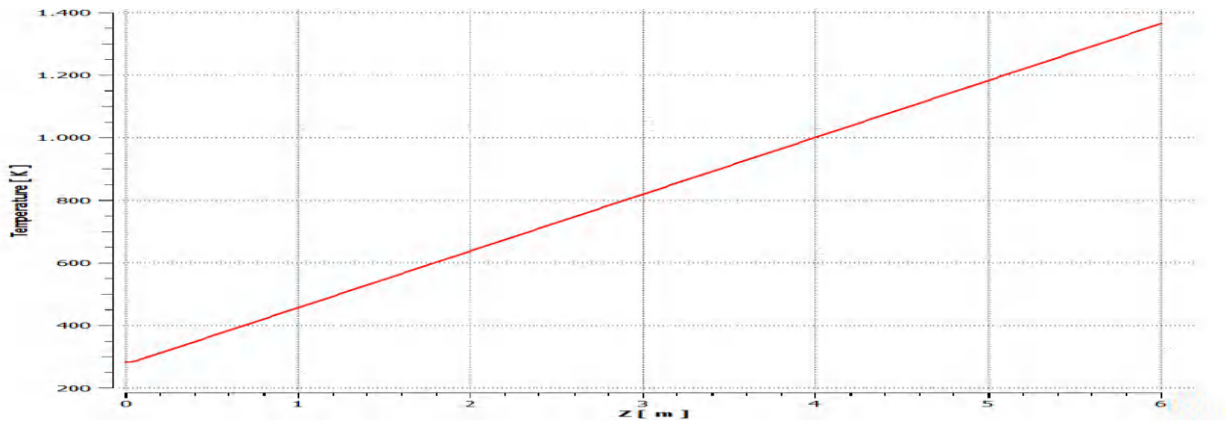


Figure 2.31 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.

- La Figure 2.32 représente la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m. on remarque que la vitesse de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

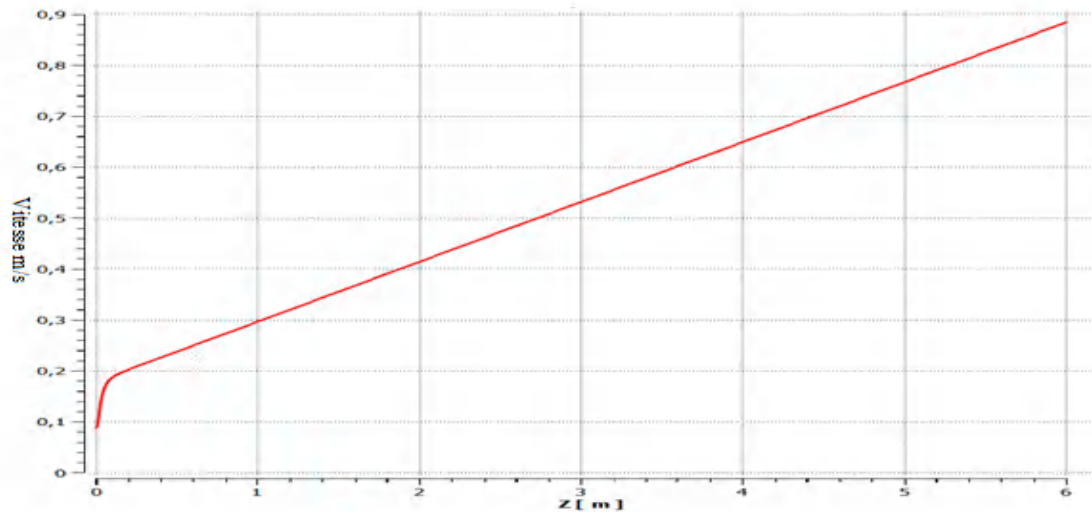


Figure 2.32 : Variation de vitesse en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,05 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.2.6 Diamètre de tuyau équivalent = 0,1 m

- La Figure 2.33 représente la variation de la perte de Pression en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m. on remarque que la perte de pression de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube

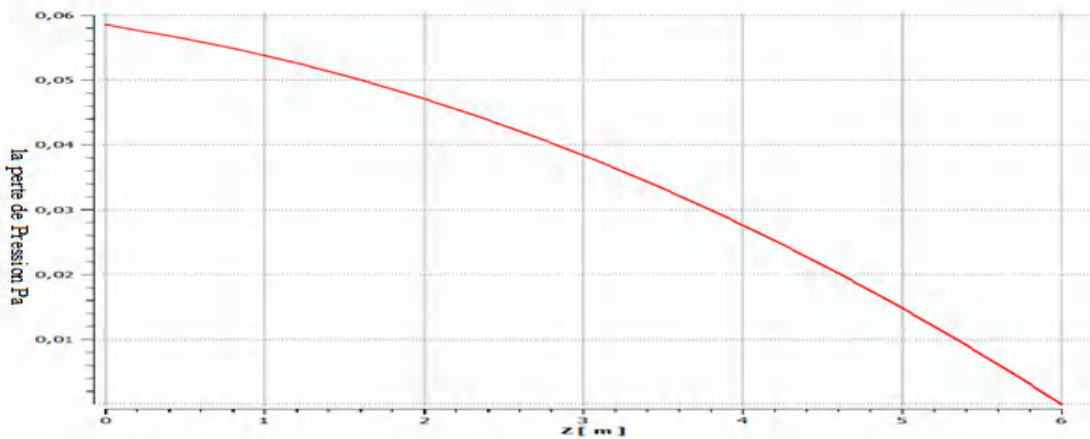


Figure 2.33 : Variation de la perte de pression en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m.

- La Figure 2.34 représente la variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m. on remarque que la masse volumique de l'Hélium diminue avec l'augmentation de la longueur du tube.

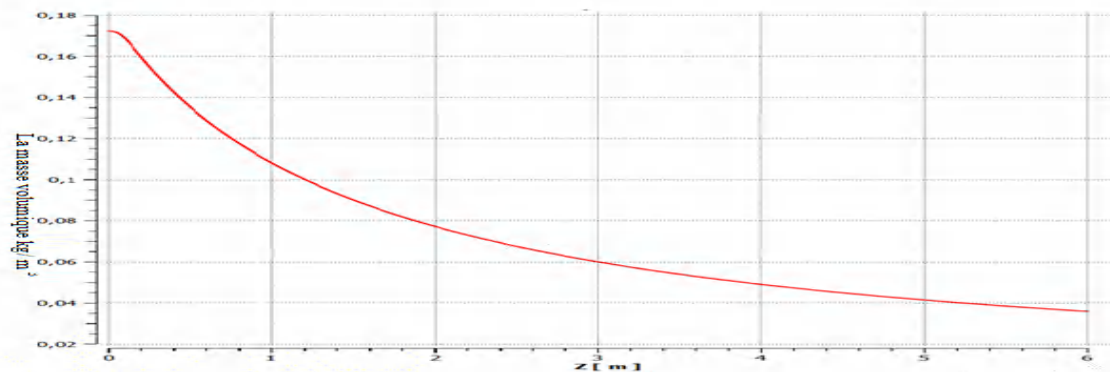


Figure 2.34 : Variation de la masse volumique en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- La Figure 2.35 représente la variation de la température en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m. On remarque que la température de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

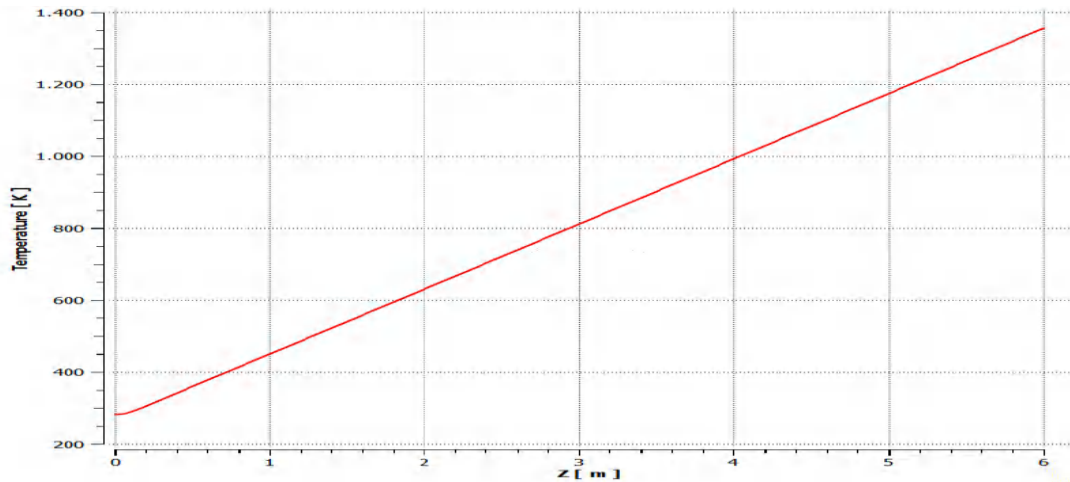


Figure 2.35 : Variation de la température en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m.

- La Figure 2.36 représente la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tube. Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m. on remarque que la vitesse de l'Hélium augmente avec l'augmentation de la longueur du tube

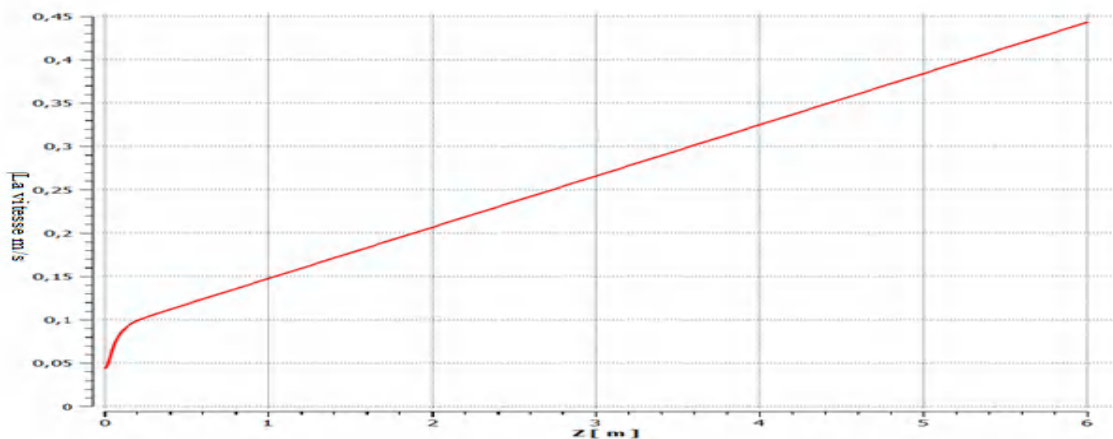


Figure 2.36 : Variation de la vitesse m/s en fonction de la longueur du tube.

Cas : Hélium, diamètre du tuyau 0,1 m

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

5.2.7 Simulation de la production de l'hydrogène

La simulation précédente par l'utilisation du Logiciel FLUENT a confirmé que les températures obtenues ou l'hélium et le fluide caloporteur dépassent les 1000°C.

Un autre modèle de simulation ASPEN HYSYS pour la production de l'hydrogène a été utilisé. Le tableau 2.4 montre les caractéristiques thermiques.

Tableau 2.4 : Simulation de la production d'hydrogène utilisant le logiciel ASPEN HYSYS

Results - Material Stream		
Object	MSTR-001	
Temperature	700.85	C
Pressure	0.0657	bar
Mass Flow	329.7788	kg/h
Molar Flow	36054.30464	mol/h
Volumetric Flow	44439.05739	m3/h

5.2.8 Discussion des résultats obtenus

La Figure 2.37 présente le potentiel de l'hydrogène produit par SMR (Steam Methane Reforming). Puisque le fluide caloporteur (l'hélium) est considéré comme un gaz parfait, sa densité varie à la fois avec la pression et la température du fluide. En conséquence, le processus de chauffage du fluide de travail a entraîné une réduction de leur densité, ce qui a conduit à une augmentation de la vitesse du fluide afin de satisfaire le principe de conservation de la masse. D'autre part, la perte de charge présente un comportement parabolique lié au caractère variable de la densité du fluide. De plus, il a été observé que, pour tous les cas, la température du fluide atteignait une valeur moyenne de 1100°C à la sortie du tube.

Comme conclusion et afin de maintenir une température de 1100°C à la sortie du tube d'absorption, recevant une irradiation constante de 638 W/m² pour différents diamètres de tuyau, la vitesse de l'hélium doit diminuer à mesure que la taille du tube augmente afin d'éviter une réduction de l'échange d'énergie thermique qui pourrait entraîner des températures de sortie inférieures à 1100°C.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

Étant donné que l'hélium a des propriétés spécifiques, il a été sélectionné, afin de maintenir une température de sortie de 1100°C pour l'hélium circulant dans un tuyau recevant une chaleur constante de 638 W/m² pour tous les diamètres de tuyau, la vitesse du fluide requise était supérieure, ce qui est bien pour accélérer le processus de la production de l'hydrogène.

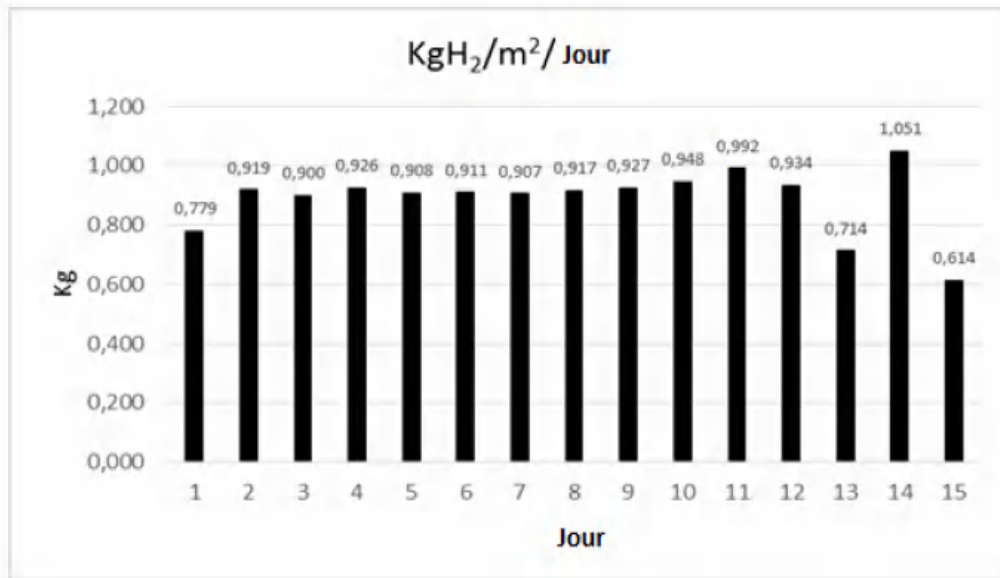


Figure 2.37 : Potentiel de l'hydrogène produit par SMR (Steam Methane Reforming).

6. Le système Cu-Cl pour la production d'hydrogène

Dans cette section, le système de « POWER TOWER » proposé est utilisé pour produire de l'hydrogène à travers le cycle Cu Cl. Le système principal étudié est divisé en trois parties qui sont : le champ solaire, le domaine de la production d'hydrogène, et le système de suivi de piste pour attraper plus d'énergie.

- Le champ solaire décrit la conception du nouveau système de « POWER TOWER ». Le fluide caloporteur circulant dans les tubes rectangulaires est le Syltherm 800.
- Système de suivi : l'objectif principal de cette partie est d'optimiser l'absorption du rayonnement solaire dans la zone d'expérience.

La conception du modèle proposé est fondée sur :

- Dans le domaine solaire : Le fluide caloporteur qui circule dans le système solaire « POWER TOWER » est syltherm800 pour obtenir la température entre (25°C à 500°C) pour produire de l'hydrogène à partir de du cycle Cu-Cl.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

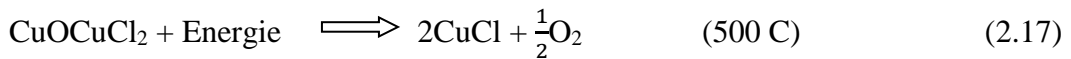
- Syltherm800 est utilisé dans le système solaire « POWER TOWER » en raison de sa capacité à produire de l'hydrogène à partir du cycle Cu-Cl.
- Le modèle proposé mentionne qu'il existe une voie pour la production d'hydrogène à travers le cycle Cu-Cl.

Le cycle de Cu-Cl pour la production d'hydrogène est donné par :

Hydrolyse :



La production d'oxygène :



Séchage :



Production d'hydrogène :

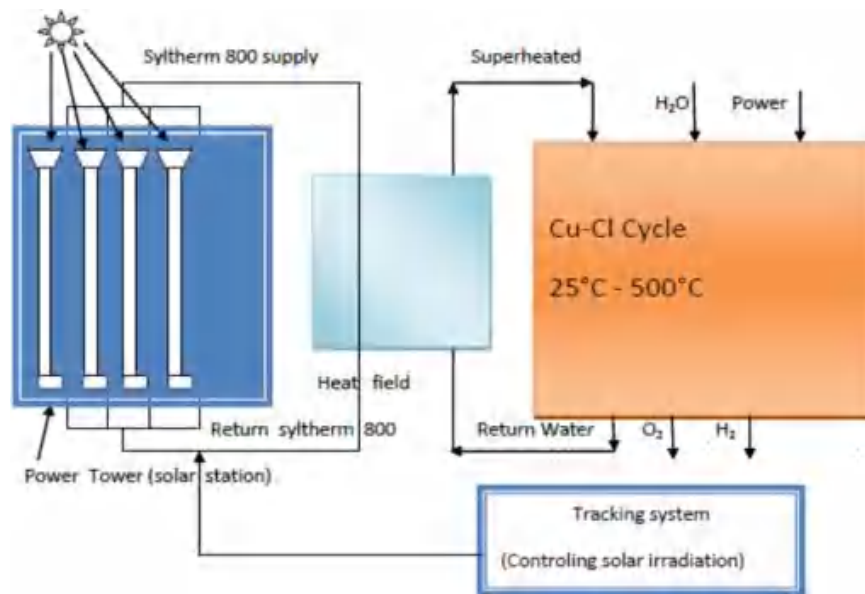
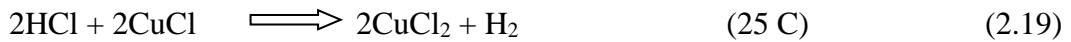


Figure 2.38 : Le cycle Cu-Cl pour la production d'hydrogène dans une installation solaire thermique.

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

6.1 Calcul mathématique

Le calcul mathématique de la production d'hydrogène à partir du cycle Cu-Cl est basé sur

- La mesure du rayonnement solaire dans la ville de Ghardaïa (Algérie).
- Augmentation du rayonnement solaire du système solaire sélectionné
- Comparaison de l'énergie obtenue et la productivité de l'hydrogène (la puissance nécessaire pour produire un kg de H₂) à partir de chaque cycle.

6.1.1 Etude d'analyse :

L'énergie thermique absorbée par le canal rectangulaire est calculée par :

$$Q = h \cdot S \cdot (T_c - T_f) \quad (2.20)$$

Où : h, S, T_c, T_f sont respectivement : le transfert de chaleur par convection, la surface du canal choisie, la température de sortie du canal, la température d'entrée au canal.

$$Q = h \cdot (H \cdot W) \cdot (T_c - T_f) \quad (2.21)$$

H.W = S la surface du canal (m²).

$$h = \left(\frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1+1,27 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(Pr^{\frac{2}{3}}-1\right)} \right)^{\frac{L}{K}} \quad (2.22)$$

Pr, Re, f sont respectivement : le nombre Prandtl, le nombre Reynolds, le facteur de friction.

Le coefficient de friction f est calculé par :

$$e^{\left(\frac{1}{\sqrt{f}}+0,8\right)} - Re\sqrt{f} = 0 \quad (2.23)$$

Ainsi, la température de sortie est donnée par :

$$T_f = T_c + \frac{Q}{\left(\frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1+1,27 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(Pr^{\frac{2}{3}}-1\right)} \right)^{\frac{L}{K}} \cdot (H \cdot W)} \quad (2.24)$$

K : Modificateur d'angle d'incidence

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

6.1.2 Radiation solaire directe normale

Il est important de calculer le modificateur d'angle d'incidence « K » pour obtenir le rayonnement solaire direct normal.

$$K = [\cos(I_a) \cdot 0,0003178(I_a)] - [0,00003985(I_a)^2] \quad (2.25)$$

I_a : angle d'incidence du faisceau solaire, en degrés.

On calcule le rayonnement solaire direct normal dans le modèle proposé par :

$$I_{ba} = I_{bn} \cos(K) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(A) \quad (2.26)$$

Où [42] :

$$I_{bn} = I_0 \cdot \tau b \quad (2.27)$$

I_{ba} : Le rayonnement solaire direct normal

I_{bn} : Le rayonnement du faisceau.

τb Le facteur de transmission de l'atmosphère du rayonnement du faisceau.

I_0 : Le rayonnement solaire extra-terrestre, en dehors de l'atmosphère terrestre, W/m^2 .

α : angle d'altitude solaire, (deg)

A : angle d'azimut solaire, (deg)

6.1.3 Le gain de chaleur par les collecteurs cylindro-paraboliques

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (\Delta T) \quad (2.28)$$

$$\rho = 954 - 0,919T + 4,25 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 1,67 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 \quad (2.29)$$

$$C_p = 0,1031 + 0,003867T \quad (2.30)$$

m, ρ, C_p, T : Le débit, la densité, la chaleur spécifique, la température, respectivement.

6.2 Discussion du cas étudié

La Figure 2. 39 présente les caractéristiques énergétiques pour le système « POWER TOWER ». On peut dire que :

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

- Ces résultats peuvent être utilisés comme référence pour la production d'hydrogène par des systèmes thermochimiques (Cu-Cl)
- Ces données peuvent être utilisées pour supplier les demandes énergétiques dans certaine zone de l'Algérie grâce à la production d'hydrogène.
- Ces données peuvent être utilisées pour décrire la mesure des facteurs climatiques clés dans la ville de Ghardaïa qui est considéré comme l'un des points de référence pour la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire.
- Ces données peuvent être utilisées pour comparer l'efficacité énergétique du système solaire « POWER TOWER ».

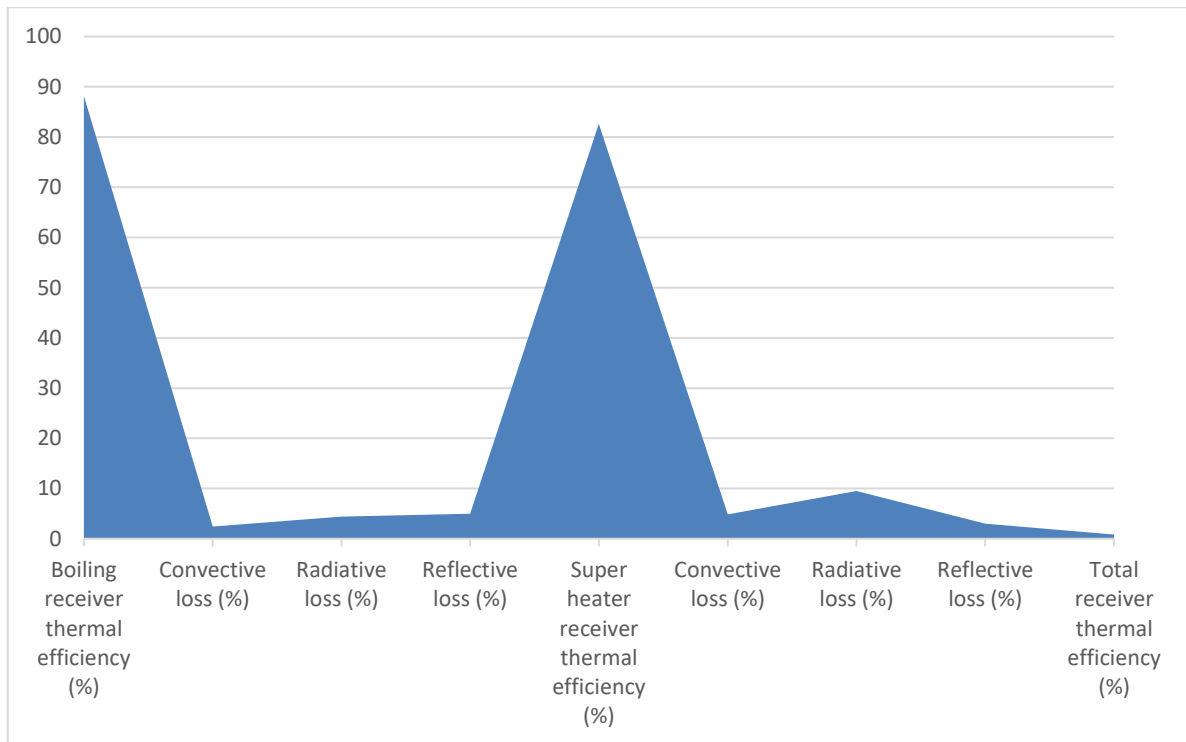


Figure 2. 39 : Caractéristiques énergétiques pour le système« POWER TOWER »

7. Conclusions

Les deux systèmes d'énergie solaire thermique et photovoltaïque ont donné la possibilité de produire de l'hydrogène à travers le cycle thermochimique. Cependant, l'énergie géothermique est considérée comme un facteur clé pour couvrir les charges d'irradiation solaire par temps nuageux. La combinaison entre de nombreuses ressources d'énergies renouvelables pour la production d'hydrogène est la voie future pour couvrir les besoins

CHAPITRE 2

La production de l'hydrogène et de l'électricité par l'utilisation des énergies renouvelables

énergétiques. Sous le climat de l'Algérie. La sélection du cycle thermochimique est plus importante que le choix du système solaire. Le système parabolique est considérée comme étant la meilleure solution pour une température élevée pour produire de l'hydrogène, et le système « POWER TOWER » est le bon choix pour une basse température pour la production d'hydrogène. L'application des panneaux solaires photovoltaïques est une solution intéressante pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau en petites centrales solaires.

8. Validation des résultats obtenus

Les résultats obtenus ont été validés avec les résultats de Malika [42] qui montrent une valeur annuelle de $0.30\text{kg/m}^2/\text{jours}$ à Ghardaïa alors que le résultat obtenu dans le modèle proposé est de $1.051\text{kg/m}^2/\text{jour}$ au mois de janvier dans la ville de Ghardaïa, ce qui montre que le modèle proposé est intéressant pour améliorer la production de l'hydrogène dans la ville de Ghardaïa.

Chapitre 3

**Amélioration du rendement des panneaux solaires
photovoltaïques par l'utilisation de la nano-
technologie**

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

1 Introduction

L'application de la science nanométrique dans la technologie des énergies renouvelables est considérée comme l'avenir des panneaux solaires photovoltaïques. Les propriétés physiques et chimiques des nanomatériaux augmentent de manière significative de celles de la masse moléculaire atomique de la même composition. Le but de l'utilisation de la nanotechnologie dans l'énergie solaire est double : d'un côté une miniaturisation de la taille des panneaux solaires, et de l'autre côté augmenter l'efficacité énergétique des systèmes solaires.

2 La nanotechnologie dans les cellules solaires photovoltaïques pour la production d'hydrogène

L'utilisation des nanomatériaux est une voie intéressante pour absorber une quantité d'énergie d'un côté, et d'augmenter l'efficacité énergétique de l'autre côté. De nombreuses voies ont été développées pour comprendre le comportement des nanotechnologies dans l'énergie solaire, et de fournir des modèles mathématiques.

2.1 Méthodes expérimentales

L'utilisation de la résolution spatiale, ~ 1 nm, le couplage avec la microscopie électronique à haute résolution sont considérés comme les méthodes standard de mesure et de caractérisation pour enquêter sur les nanostructures et donner une image claire des fils de nano silicium à l'intérieur du panneau solaire photovoltaïque où les propriétés de l'étude ont été développées. Les nano systèmes électromécaniques (NEMS) ont été exploitées pour développer la technologie de nanostructure moderne de nano manipulateurs qui est considérée comme l'une des meilleures solutions pour améliorer la qualité des panneaux solaires photovoltaïques.

2.2 Simulation informatique et modélisation

Des programmes et des modèles importants ont été mis au point pour clarifier la simulation des nano matériaux. Les méthodes Hartree-Fock sont considérées comme des références pour l'utilisation de la nanotechnologie pour la production des panneaux photovoltaïques à faible taille, et une grande rentabilité.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

2.3 Cellules solaires et nanotechnologies

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des plus importantes sources d'électricité renouvelable dans les pays chauds comme l'Algérie. Cependant, l'exploitation de cette source dans la production d'hydrogène est la voie la plus efficace qui est en mesure de supplier les besoins énergétiques d'un côté, et de développer l'économie de l'autre côté. La plupart des panneaux solaires photovoltaïques installés sont basés sur des tranches de silicium en vrac et des homo-jonctions, aussi appelées première génération de cellules solaires. En termes de cellules solaires à base de fils de nano-silicium, de nombreuses recherches ont été développées pour fabriquer des panneaux solaires minces, avec une grande flexibilité et un prix pas cher.

2.4 Description des nano-fils de silicium dans les cellules solaires

La Figure 3.1 explique les différentes étapes de la croissance des nano-fils de silicium dans les panneaux solaires photovoltaïques pour augmenter le rendement énergétique et réduire l'épaisseur des panneaux solaires photovoltaïques.

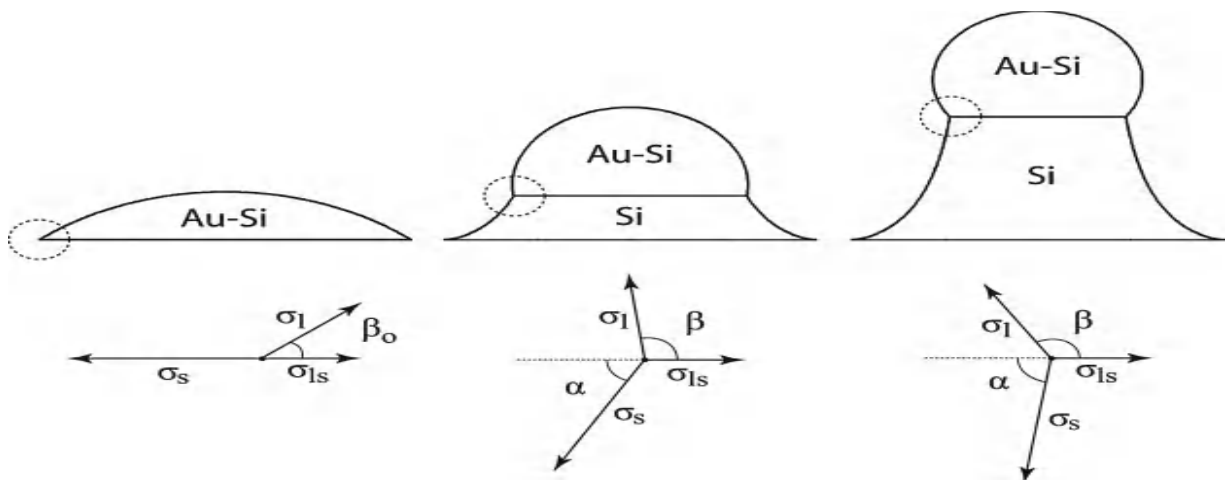


Figure 3.1 : développement schématique de la forme de gouttelettes et le fil dans la Phase initiale de croissance du fil VLS [43]

3. La micro-technologie dans la technologie solaire thermique pour la production d'hydrogène

La Combinaison entre la nanotechnologie avec des micro-technologies dans la technologie solaire pour la production d'hydrogène est divisée en deux parties différentes qui sont :

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

- Nanotechnologie dans les panneaux solaires photovoltaïques à travers les fils de nano-silicium pour améliorer la qualité de la lumière absorbante.
- La compréhension de l'effet de la double couche électrique, et électro-osmose dans le micro canal (micro-technologie) dans les panneaux solaires thermiques est une voie intéressante pour la production de l'hydrogène à partir des ressources énergétiques renouvelables

La possibilité de produire de l'électricité à partir de l'intégration de la nanotechnologie et de la micro-technologie avec des panneaux solaires est considérée comme une solution positive pour l'amélioration de l'efficacité énergétique et pour la protection de l'environnement.

3.1 Cas étudiés

Deux cas ont été étudiés pour décrire le but de la nanotechnologie et la micro-technologie en panneaux solaires thermiques pour la production d'hydrogène

3.1.1 Premier cas étudié

Dans cette partie, le nanotube de silicone circulaire a été utilisé en tant que cathode pour produire de l'électricité pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau.

De nombreuses voies ont été utilisées pour commencer à atteindre les objectifs visés par 2030. L'élaboration d'une nouvelle conception de panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau en utilisant la silicone circulaire intégré sur le système solaire. Cependant, la description du processus de production d'hydrogène est étudiée dans cette partie à partir des données climatiques de la ville de Ghardaïa (Algérie). La Figure 3.2 montre le modèle étudié.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

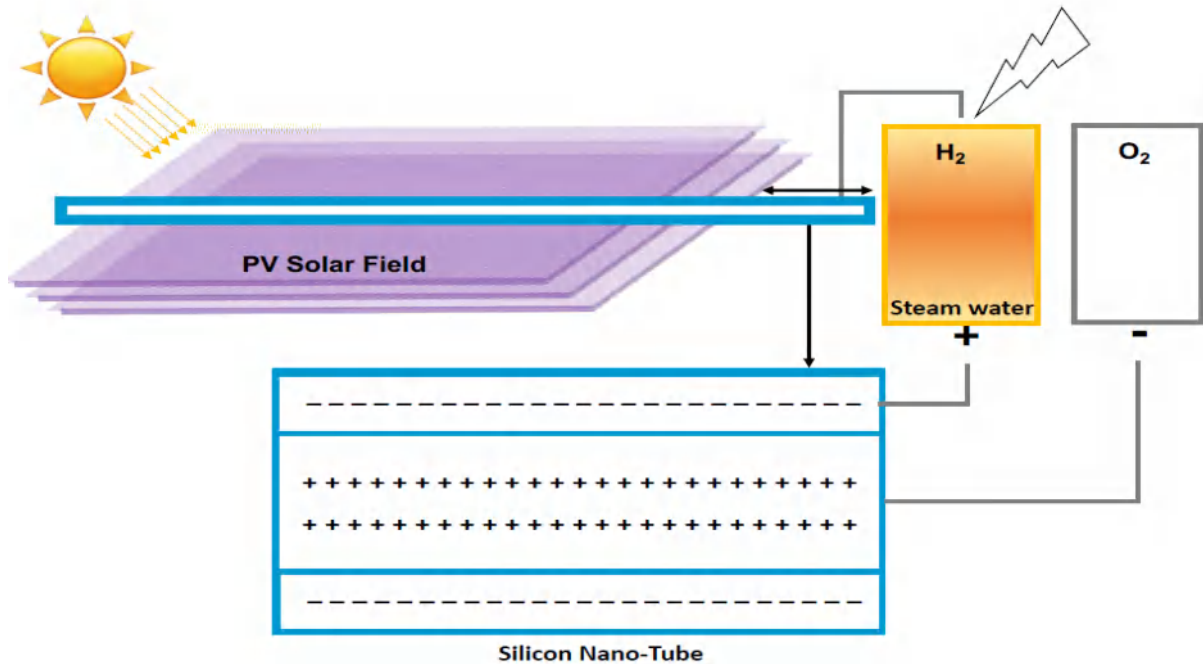


Figure 3.2 : Description de la production d'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau en utilisant de la nano-cathode tubulaire en silicium.

Description du cas étudié

Le modèle de proposée de panneaux solaires photovoltaïques de silicium se compose de trois micro-canaux et un nanotube de silicium pour la production d'hydrogène. La Figure 3.3 décrit bien le cas étudié. Dans les trois premiers micro-canaux, l'électricité a été produite par un macro-générateur due à la rotation du pont durant le passage d'eau. Le dernier cercle qui représente le nanotube de silicium est analysé dans le réservoir d'eau où le rayonnement solaire est concentré pour augmenter la température de l'eau à 100°C. Le nanotube de silicone est considéré comme une cathode en raison de l'électricité produite à partir du rayonnement solaire sur le panneau solaire photovoltaïque. Ainsi, un câble électrique est fixé sur le nanotube de transformation de l'électricité dans le réservoir.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

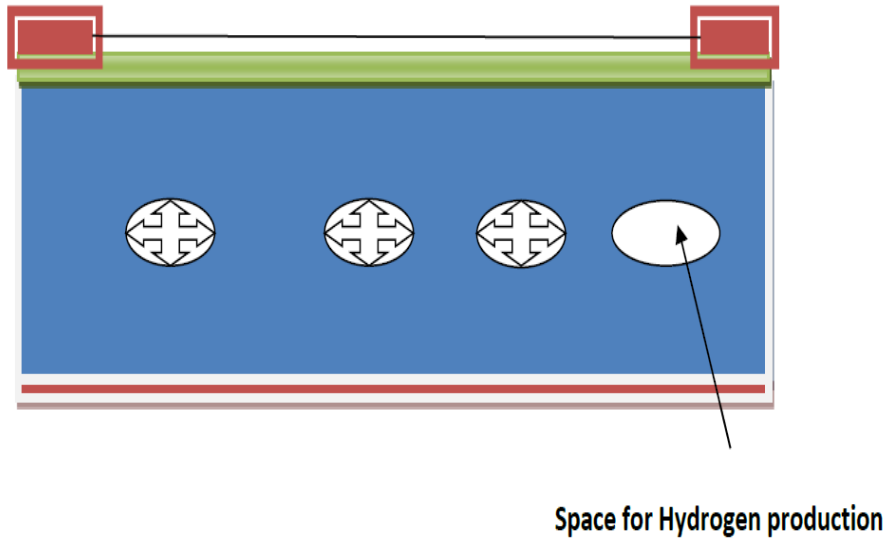


Figure 3.3 : Panneau photovoltaïque hybride pour la production d'hydrogène.

- **L'électro-osmose dans le nanotube en Silicium**

Le débit d'eau dans des tubes de nano silicium provoque l'électro-osmose et l'EDL (Double Couche Electrique), à ce stade, l'EDL nous donne une puissance supplémentaire qui a été utilisée pour la catalyse de la vapeur d'eau. La Figure 3.4 représente la double couche électrique. L'université de Cambridge a publié une explication claire de l'électro-osmose et EDL [44] que nous avons utilisés dans notre étude juste pour montrer ce phénomène physique.

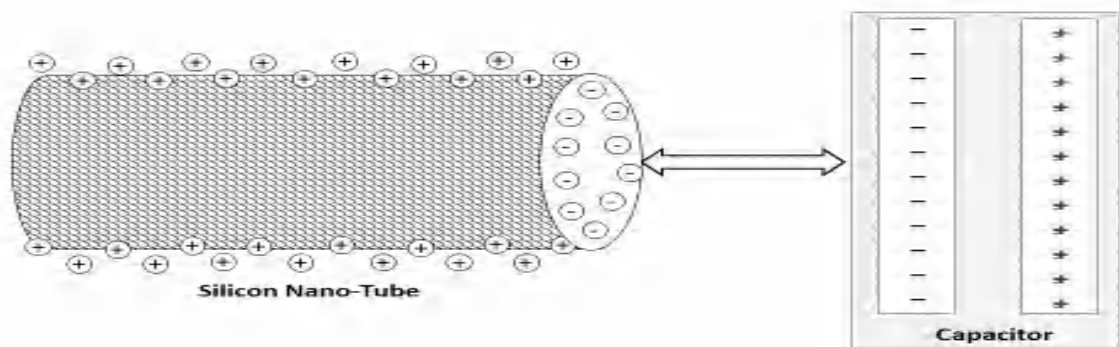


Figure 3.4 : La double couche électrique (EDL) à un condensateur électrique à cathode nanotube de silicone.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

La Figure 3.5 montre les étapes suivies pour la production de l'hydrogène à partir de la vapeur d'eau dans le tube cathodique nano silicium.

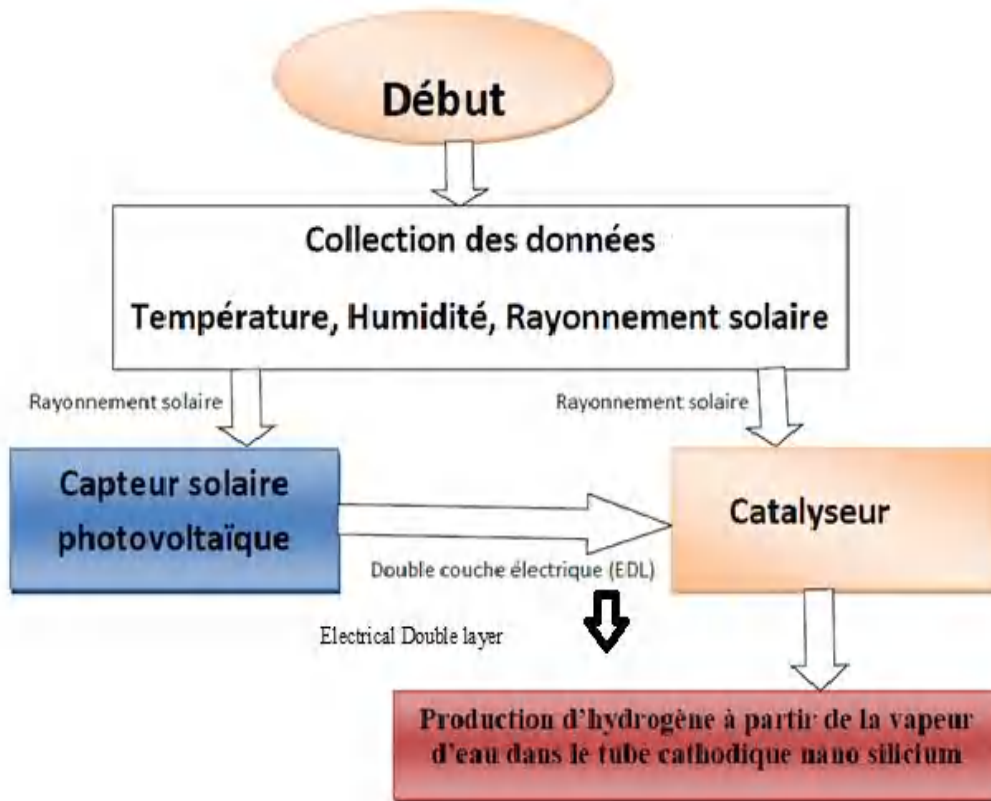


Figure 3.5 : La production de l'hydrogène à partir de la vapeur d'eau dans le tube cathodique nano-silicium

Résultats et discussions

Les résultats obtenus ont montré l'impact des facteurs climatiques clés sur le modèle proposé de panneaux solaires photovoltaïques (PV) pour la production d'hydrogène. La Figure 3.6 explique la quantité d'électricité produite pendant la période de mesure; la meilleure valeur était d'environ 120 W et la valeur la plus faible était d'environ 90W. Par rapport à l'irradiation solaire de la ville de Ghardaïa, l'efficacité énergétique du panneau solaire PV est de 17 %. Cependant, les trois micro-canaux ont produit une quantité considérable grâce au petit générateur. Même si l'irradiation solaire est faible; l'énergie produite est importante et capable de produire de l'hydrogène dans différentes conditions climatiques.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

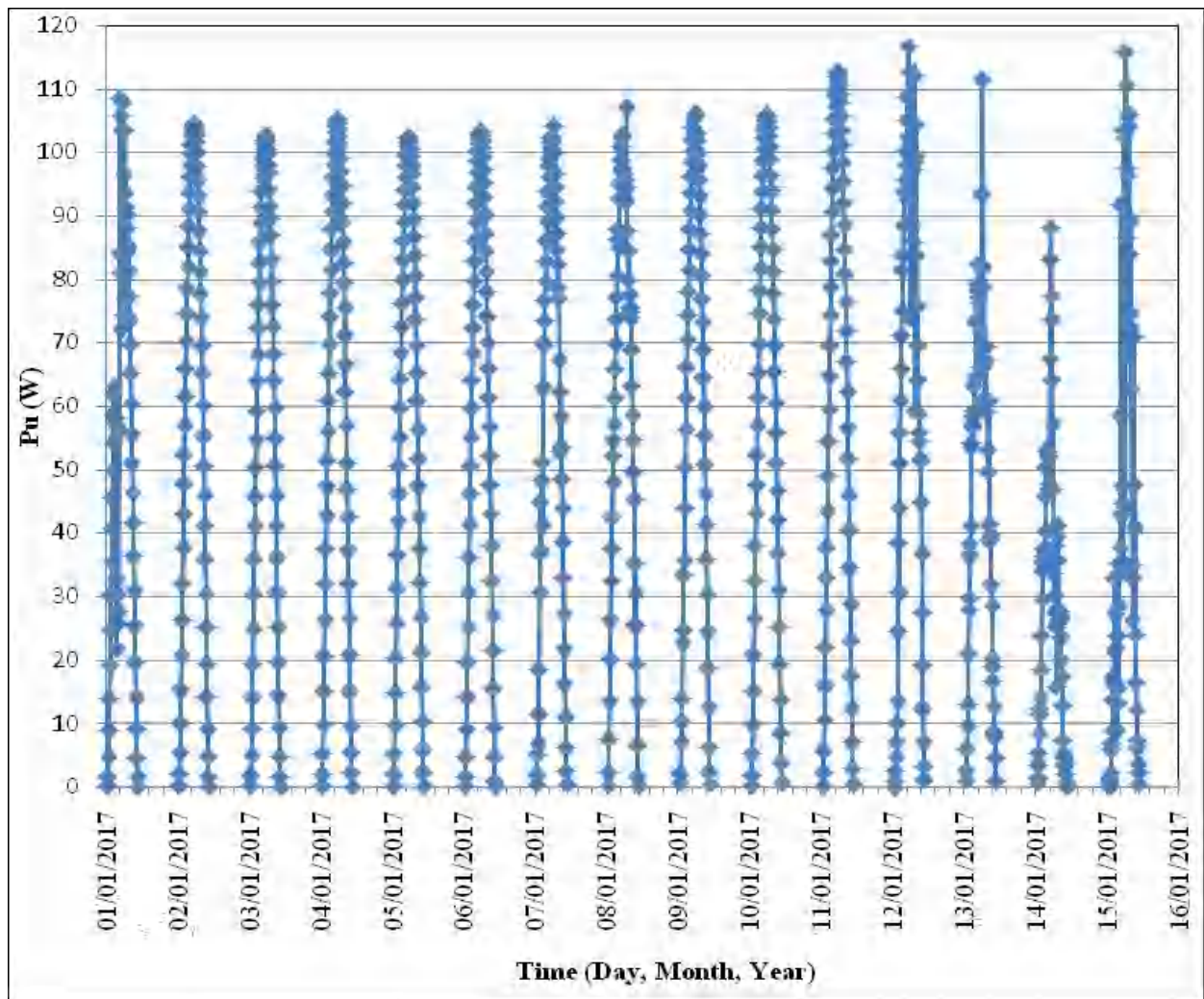


Figure 3.6 : Électricité produite (Pu) par le panneau solaire photovoltaïque proposé

La variation de la température dans la ville de Ghardaïa entre le 01/01/2017 et le 15/01/2017 n'a pas affecté la quantité d'électricité produite. D'après les résultats obtenus à partir de la Figure 3.7, le solaire photovoltaïque proposé est efficace dans la ville de Ghardaïa pour la production de l'hydrogène à partir de la catalyse de la vapeur d'eau.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

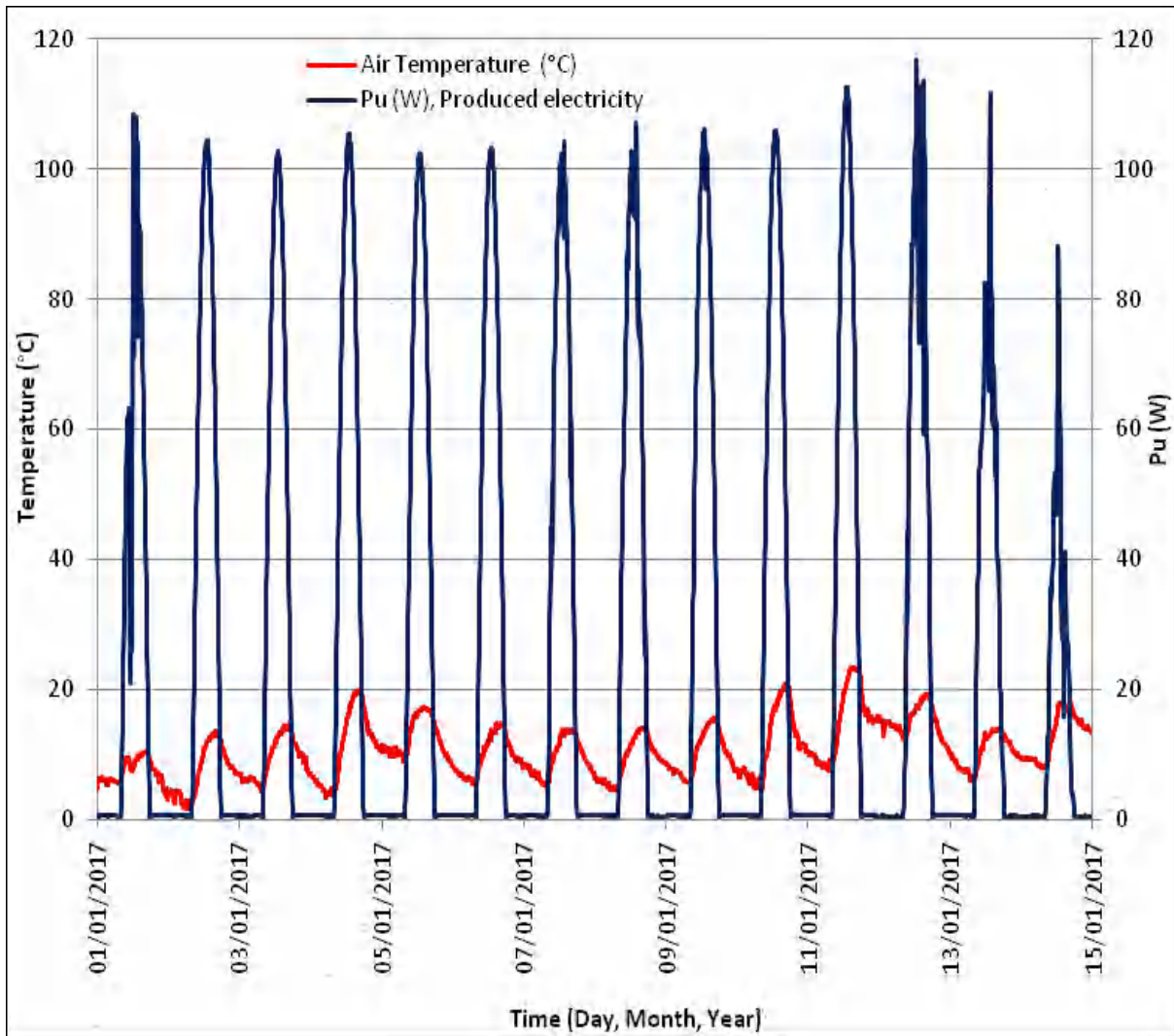


Figure 3.7 : Impact de la température sur l'électricité produite par le panneau solaire photovoltaïque proposé.

La Figure 3.8 représente l'impact de l'humidité sur l'électricité produite par le panneau solaire PV proposé. La variation de l'humidité dans la ville de Ghardaïa entre le 01/01/2017 et le 15/01/2017 n'a pas affecté la quantité de l'électricité produite. D'après les résultats obtenus dans la Figure 3.8, le panneau photovoltaïque proposé est efficace dans la ville de Ghardaïa pour la production de l'hydrogène à partir de la catalyse de la vapeur d'eau.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

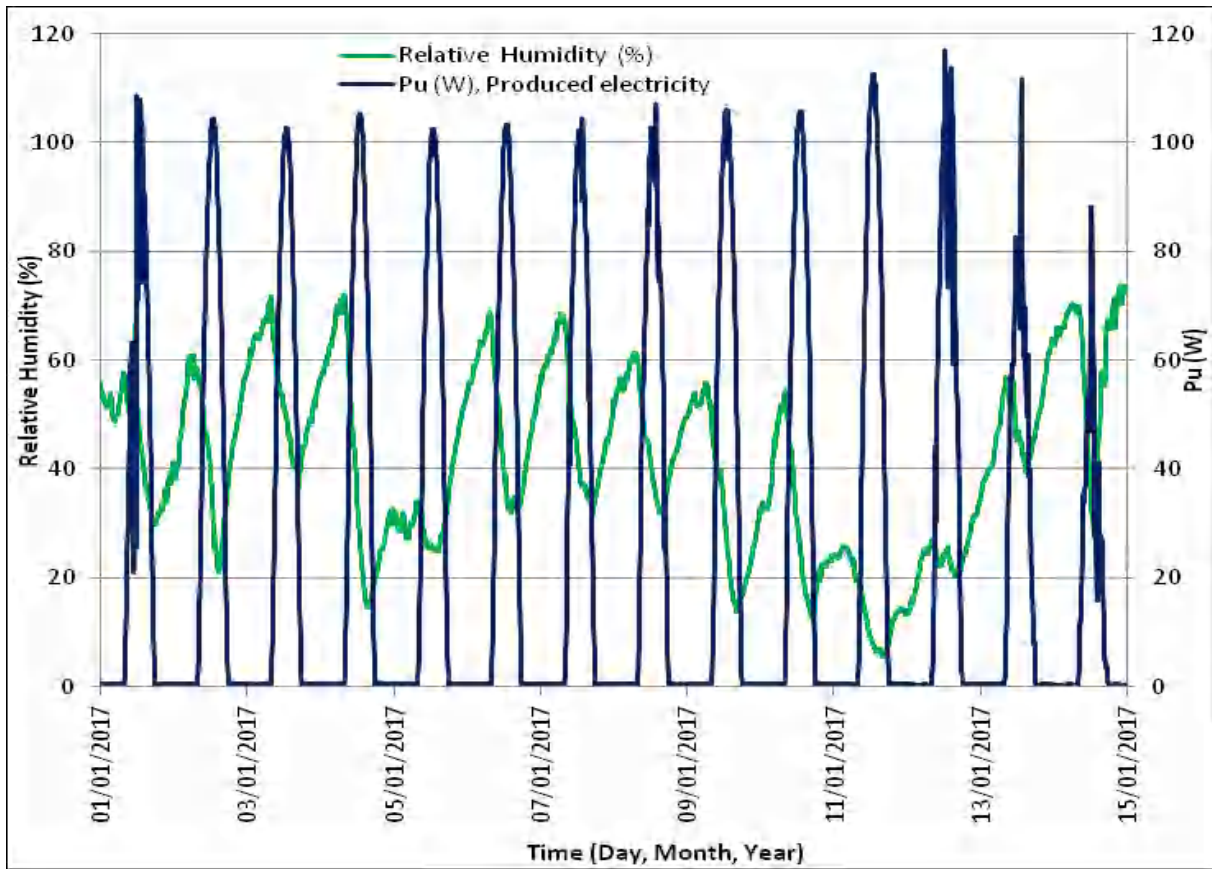


Figure 3.8 : Impact de l'humidité sur l'électricité produite par le panneau solaire PV proposé

La Figure 3.9 représente l'hydrogène produit par catalyse de la vapeur d'eau dans une cathode de nanotube de silicium dans la ville de Ghardaïa et l'impact de l'EDL (Electrical Double Layer) et de l'électro-osmose sur la quantité de H_2 produit. Les résultats obtenus montrent que les phénomènes d'électro-osmose ont un impact important sur la production d'hydrogène par catalyse de la vapeur d'eau ; près de 61 % de l'énergie produite a été transformée en production d'hydrogène. Cependant, le phénomène EDL a transformé environ 9,8 % de l'électricité totale produite à la catalyse de la vapeur d'eau. La cathode à nanotubes de silicium est une solution efficace pour la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

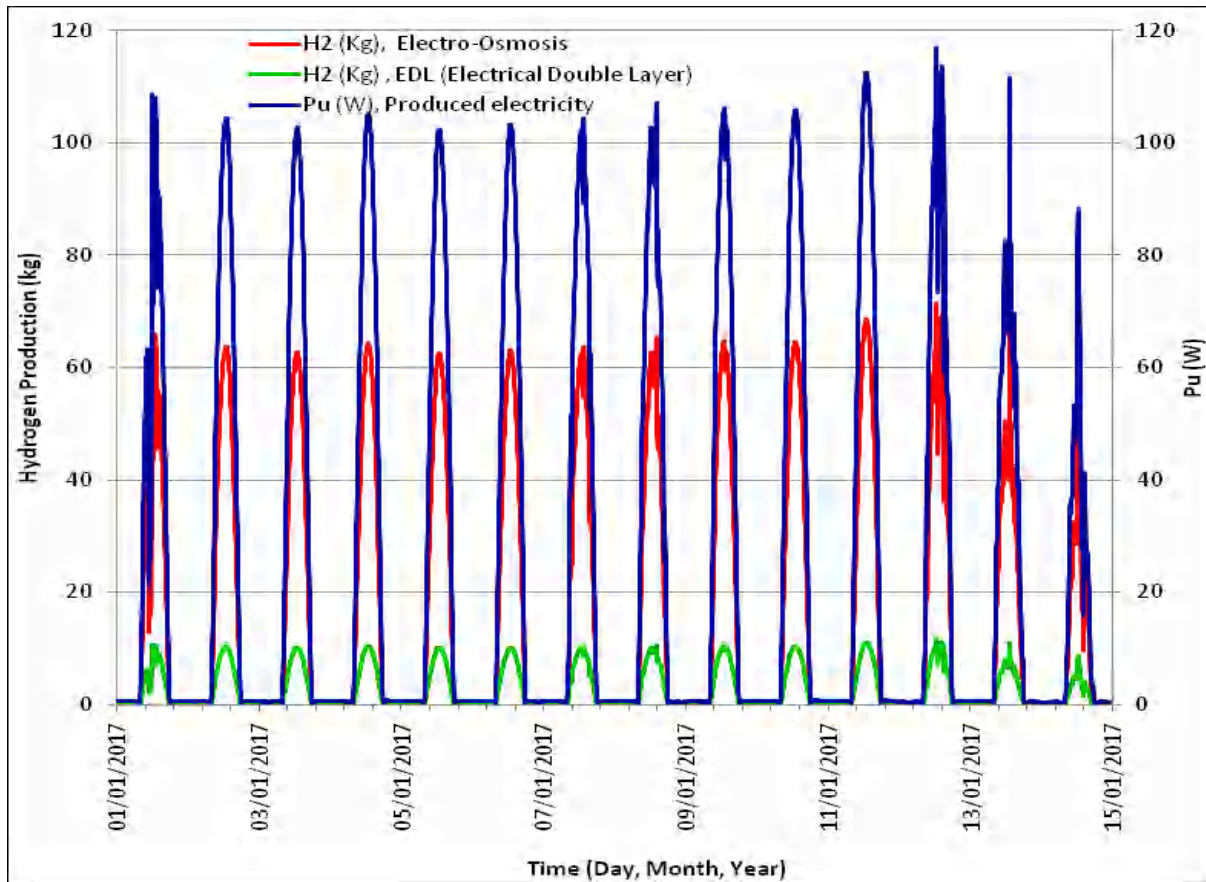


Figure 3.9 : Hydrogène produit par électro-osmose et EDL à partir du panneau solaire photovoltaïque proposé

3.1.2 Deuxième cas étudié

Dans cette partie, un panneau solaire micro-thermique a été développé pour la production d'hydrogène dans la ville de Ghardaïa.

Un nouveau panneau solaire thermique à base de micro-technologie et microstructure a été utilisé pour améliorer l'efficacité énergétique d'un côté, et de produire de l'hydrogène de l'autre cote. La forme géométrique du micro-canal étudié dans ce cas est de forme rectangulaire, et reliée au micro-réseau qui est un lien vers un électrolyseur alcalin pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. Le panneau solaire thermique est un panneau solaire normal, avec des micro-canaux raccordés à un électrolyseur alcalin par micro-réseau intelligent. L'électricité produite à partir du panneau thermique est développée à partir de la double couche électrique pendant la circulation du fluide thermique à haute vitesse à l'intérieur du micro-canal rectangulaire. L'Absorption du rayonnement solaire par micro-canal augmente la température du fluide thermique et la vitesse de circulation pour produire

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

plus d'électricité par l'intermédiaire de la double couche électrique qui est considérée comme une capacité électrique. La compréhension de la micro-fluidique et le transfert de chaleur à panneau solaire micro thermique est nécessaire pour connaître la quantité d'électricité transformée à l'électrolyseur alcalin d'un côté et la production d'hydrogène dans l'autre côté. La Figure 3.10 montre les différents modèles de formes de micro-canaux [45].

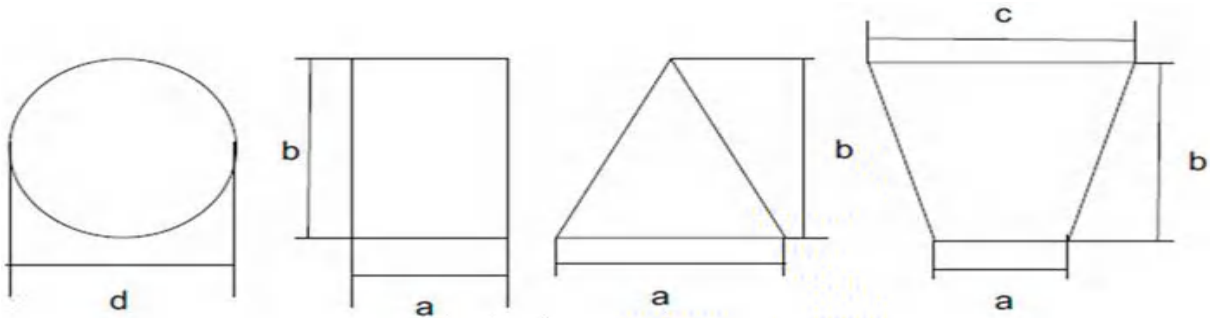


Figure 3.10 : Les formes géométriques des micro-canaux intégrés dans le panneau solaire thermique [45].

Plusieurs travaux de recherches ont été développés sur les microtechnologies. Hubert et Rahmat [46] ont mis au point un modèle d'un faisceau de microcanaux avec des géométries différentes. Ils ont utilisé la méthode des éléments finis pour le transfert thermique dans un microéchangeur en utilisant le logiciel ANSYS CFX 5.7.1. Un autre modèle a été développé par Colin et al. [47] sur l'étude du micro fluidique dans un microsysteme (microéchangeur). Gousarov et. Smourov [48] ont étudié les approximations analytiques de la fonction de distribution de la vitesse dans la couche de Knudsen, pour comprendre l'évaporation dans un micro-canal. Koo et Kleinstreuer [49] ont examinés les observations expérimentales des écoulements liquides dans des microcanaux. Les résultats d'expériences concernant l'entrée du canal, le fluide non newtonien, la rugosité de surface, la dissipation visqueuse et les effets de la turbulence sur le facteur de frottement ont été discutés. Qu et Mudawar [50] ont développé un modèle de transfert de chaleur dans un micro-canal rectangulaire, à l'électro-osmose, et la double couche électrique en microstructure.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

Description du processus de production d'hydrogène à partir du modèle étudié

Le modèle proposé est basé sur l'étude de transfert thermique, et des micro-fluides dans le micro-canal circulaire dans un panneau thermique. Une partie du rayonnement solaire absorbé par le micro-canal est transférée à l'électricité à travers la double couche électrique et le fluide circulant dans les micro-canaux va générer une mini-turbine pour obtenir de l'électricité. La quantité totale d'électricité produite sera produite dans l'électrolyseur alcalin pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. La Figure 3.11 décrit le processus de production d'hydrogène à travers le panneau thermique.

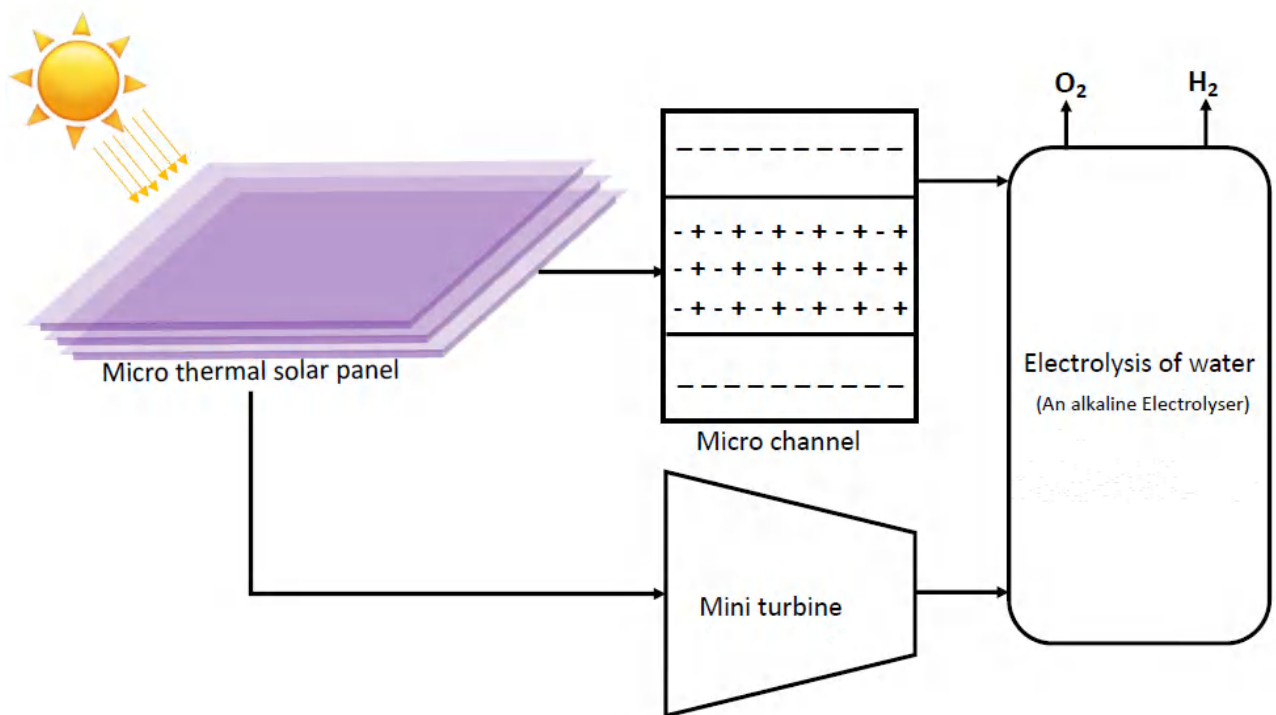


Figure 3.11 : Processus de production d'hydrogène à partir d'un panneau solaire thermique micro.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

Calcul mathématique

Dans cette analyse, un électrolyseur alcalin avec une capacité de puissance de 52,5 kWh/kg est considéré (ce qui équivaut à environ 75 % de l'efficacité) [51].

L'énergie totale reçue par le catalyseur est donnée par :

$$W_c = Q_s + Q_{m-t} \quad (3.1)$$

Q_s, Q_{m-t} , représentent respectivement le flux généré par le panneau solaire thermique et l'énergie produite par la mini-turbine générée par le panneau solaire thermique.

Le flux de chaleur absorbée par le panneau solaire thermique est donné par :

$$Q_s = h \cdot S \cdot (T_w - T_s) \quad (3.2)$$

Le coefficient de transfert de chaleur du panneau solaire micro thermique est développé par Barber et Emerson. [52], Hadjiconstantinou et Simek [53], et Zemel et al. [54]:

$$h = \frac{q \cdot 2 \cdot H}{L \cdot (T_w - \frac{\int_0^S \rho \cdot u_x \cdot T \cdot dS}{\int_0^S \rho \cdot u_x \cdot dS})} \quad (3.3)$$

$S, Q, L, T_w, \rho, u_x, T$ représentent respectivement : la section du microcanal (m^2), le flux de chaleur de paroi (W/m^2), la longueur des micro-canaux (m), la température de la paroi (K), la masse volumique (kg/m^3), la vitesse d'écoulement (m/s), la température (K).

L'échange thermique dans le micro canal (le cas étudié : forme rectangulaire), à une température constante a été développé par Barber et Emerson [52] afin de faire apparaître la différence entre le fluide adjacent au canal micro rectangulaire et la température de la paroi.

$$T_s - T_w = \beta_{T1} \left[\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\lambda^2}{2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] \quad (3.4)$$

β_{T1} : la température du premier ordre coefficient de saut

$$\beta_{T1} = \left(\frac{2 - \sigma_T}{\sigma_T} \right) \left(\frac{2\gamma}{\gamma + 1} \right) \cdot \left(\frac{1}{Pr} \right) \quad (3.5)$$

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

σ_T, γ, P_r : représentent respectivement le coefficient d'hébergement thermique, le rapport des capacités thermiques spécifiques, le nombre de Prandtl.

$$P_r = C_p \frac{\mu}{k} \quad (3.6)$$

C_p, μ, k : représentent respectivement la chaleur spécifique à pression constante, la viscosité dynamique, conductivité thermique.

λ : parcours moyen de la molécule libre [52]

$$\lambda = \frac{\mu}{\left(\rho \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot \frac{T_w}{\pi}}\right)} \quad (3.7)$$

R : constante des gaz

La puissance électrique produite par la mini-turbine est représentée par l'équation suivante :

$$Q_{m-t} = 0,97.9,81. nt. ng. Qt. Hn \quad (3.8)$$

Où P_u, Q_t, H_n, nt, ng représentent respectivement : la quantité d'énergie produite (W), le débit la mini-turbine (m^3/s), la chute nette (m), l'efficacité de la mini-turbine, l'efficacité du générateur (générateur de la mini-turbine). L'équation suivante montre le cas étudié :

$$H_n = H_b - HL - \frac{v^2}{2.g} \quad (3.9)$$

Lorsque, H_b, HL, v, g , représentent respectivement la chute brute, hauteur, la célérité, l'accélération de la pesanteur (HL représente environ 10 % à 15 % de H_b).

La quantité d'hydrogène produit est calculée comme suit :

$$M_{H_2} = \frac{E_{EL}}{LHV_{H_2}} \quad (3.10)$$

E_{EL} est l'énergie nécessaire pour l'électrolyseur:

La chaleur latente de l'hydrogène est égale 33,31 kWh/kg [52].

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

Résultats et discussions

Dans cette partie, nous allons discuter des résultats obtenus à partir de la nanotechnologie et de la micro-technologie pour la production d'hydrogène grâce à la technologie de l'énergie solaire.

La Figure 3.12 montre la quantité d'Hydrogène produite par les micros panneaux solaires thermiques. Il est clair que l'intégration de la microstructure à la technologie solaire thermique a ouvert une nouvelle voie pour produire de l'hydrogène via un électrolyseur alcalin. D'après les résultats obtenus, la combinaison entre l'énergie solaire thermique et la micro-technologie va être l'avenir de la méthodologie solaire thermique pour augmenter l'efficacité énergétique.

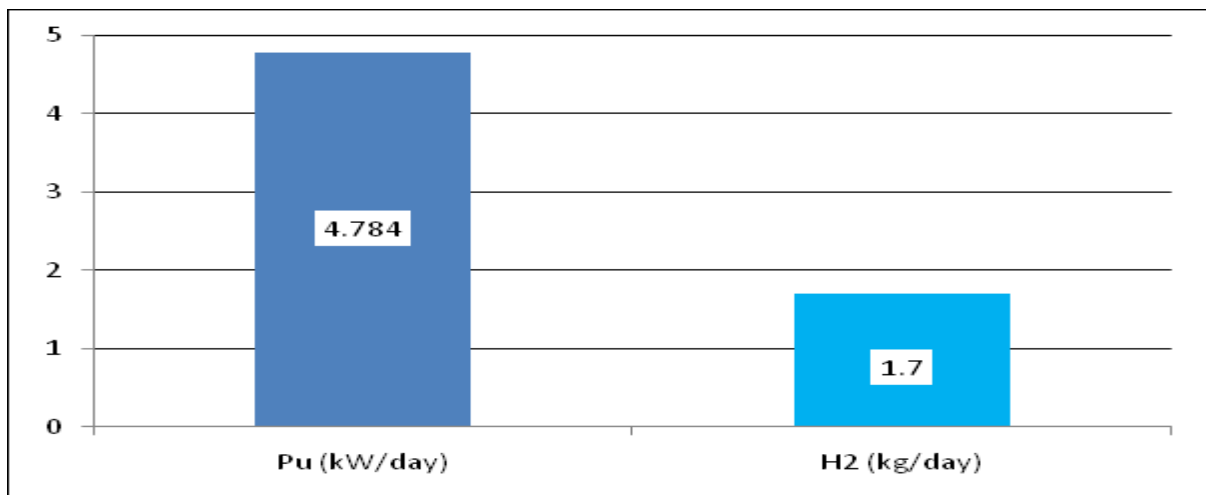


Figure 3.12 : Hydrogène produit par les micros panneaux solaires thermiques

Les résultats obtenus à partir de la Figure 3.13 montrent que les phénomènes physiques d'électro-osmose ont donné la majeure partie de l'électricité produite, donc environ 47 % de l'énergie totale a été produite en micro-canaux et le reste qui est de 53 % a été obtenu à partir de l'irradiation solaire. En conséquence, l'électro-osmose pour la technologie de l'énergie solaire reste un moyen efficace pour augmenter l'efficacité énergétique.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

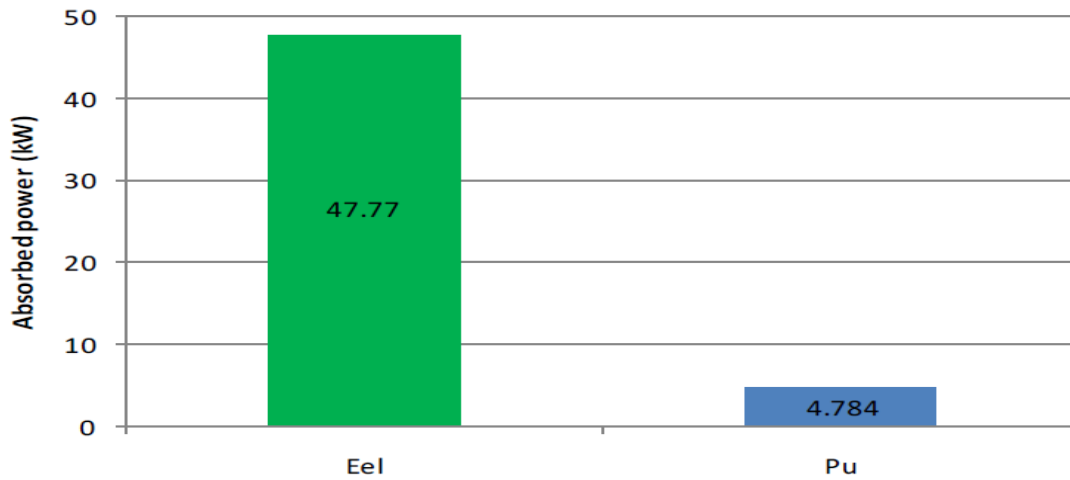


Figure 3.13 : Puissance absorbée (électrolyseur alcalin)

La Figure 3.14 montre la différence entre l'exploitation de l'énergie solaire et la technologie des mini-turbines dans les systèmes solaires thermiques afin d'obtenir une quantité suffisante d'hydrogène. Il est clair qu'environ 37 % de l'énergie totale produite pour la production d'hydrogène par irradiation solaire équivaut à environ 63 % de la mini-turbine, ce qui signifie que l'absorption d'énergie solaire à partir de micro canaux est efficace et utile pour couvrir les besoins énergétiques des prochaines générations.

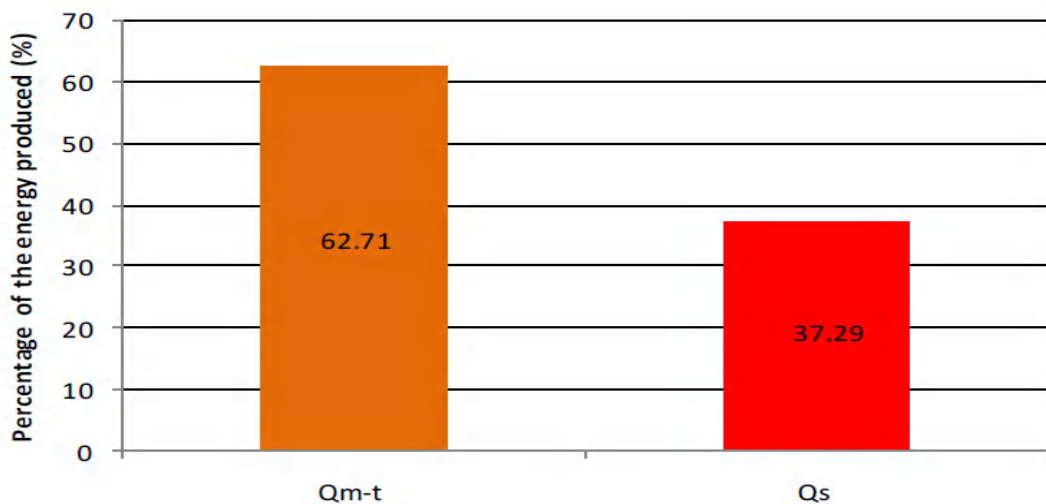


Figure 3.14 : Énergie produite par le modèle étudié en %.

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

La Figure 3.15 présente l'efficacité du modèle étudié. Cette efficacité énergétique a été exploitée en trois parties différentes qui sont : la production de H₂, de Q_s et de Q_{m-t}. Cependant, l'énergie totale est utilisée pour produire environ 53 % de H₂. À partir des résultats obtenus, le panneau solaire micro thermique a prouvé que la combinaison entre l'énergie solaire thermique et la micro technologie est un choix efficace pour produire une quantité considérable d'hydrogène en une courte période qui est de 24 heures dans le cas étudié.

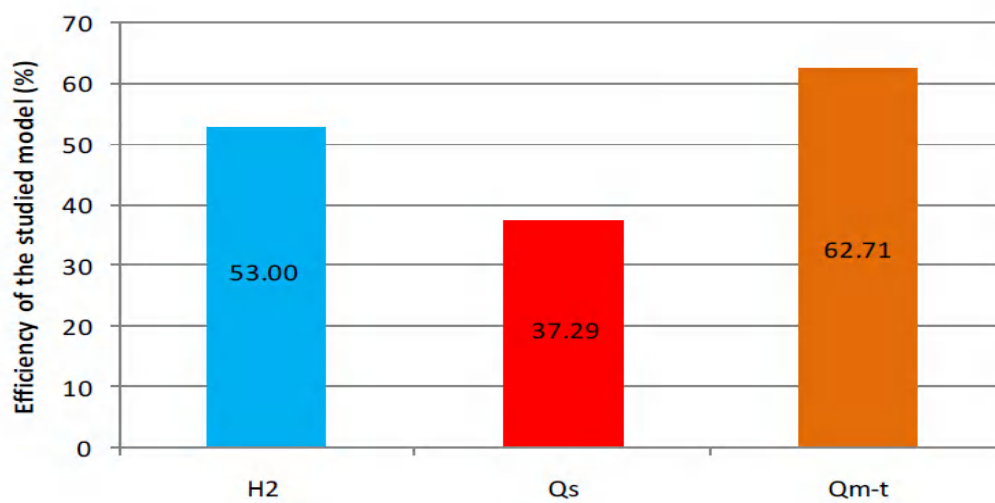


Figure 3.15 Efficacités du modèle étudié (%)

4. Conclusions

- L'énergie électrique produite par le modèle étudié a transformé plus de 60 % (61 %) de l'électricité en hydrogène à partir de la vapeur d'eau via la cathode de nanotube de silicium. Cependant, l'EDL à l'intérieur de la cathode de nanotube de silicium a fourni environ 10 % (9,8 %) de l'énergie totale produite par le panneau solaire photovoltaïque. D'après les résultats obtenus, l'efficacité énergétique du modèle étudié est supérieure à 40 % (42 %) pour la production d'hydrogène.
- La production de l'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau dans le tube cathodique nano-silicium a donné les meilleurs résultats au cours de la période de mesure dans la ville de Ghardaïa. Le choix d'un bon semi-conducteur tel que le silicium est intéressant pour améliorer l'efficacité énergétique des

CHAPITRE 3

Amélioration du rendement des panneaux solaires photovoltaïques par l'utilisation de la nano-technologie

panneaux solaires photovoltaïques.

- L'augmentation de l'efficacité énergétique du système solaire est basée sur la réduction des charges. Le micro-panneau solaire thermique est considéré comme l'une des meilleures voies pour produire de l'hydrogène par électrolyseur alcalin.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La production et l'utilisation de l'hydrogène est considérée comme l'une des meilleures solutions pour réduire au minimum les émissions de CO₂ d'un côté et l'amélioration de l'économie de l'autre côté.

L'utilisation des sources d'énergie renouvelable est considérée comme le moyen le plus efficace pour la production de l'hydrogène ou le solaire a pris la partie la plus importante de la recherche. L'énergie solaire est utilisée de différentes manières en raison de la possibilité de la production de l'hydrogène par de nombreuses méthodes.

L'application de la science nanométrique dans la technologie des énergies renouvelables est considérée comme l'avenir pour les panneaux solaires photovoltaïques.

Les trois modèles étudiés nous permettent de mieux comprendre la production de l'hydrogène à partir des énergies renouvelables. Les résultats obtenus montrent que :

- La combinaison entre de nombreuses ressources d'énergies renouvelables pour la production d'hydrogène est la voie future pour couvrir les besoins énergétiques
- La production de l'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau dans le tube cathodique nano-silicium a donné les meilleurs résultats au cours de la période de mesure dans la ville de Ghardaïa.
- En réalité, exploiter la nanotechnologie dans l'énergie solaire en sélectionnant un bon semi-conducteur tel que le silicium est intéressant pour améliorer l'efficacité énergétique du panneau solaire photovoltaïque.
- Le modèle proposé est efficace pour les grandes centrales électriques, production de l'électricité et de l'hydrogène en même temps. Il a aussi une application nano dans un petit circuit électronique pour produire de l'électricité.
- L'augmentation de l'efficacité énergétique du système solaire est basée sur la réduction de la surface des panneaux thermique.
- Le micro-panneau solaire thermique est considéré comme l'une des meilleures voies pour produire l'hydrogène par l'électrolyseur alcalin et améliorer la qualité de la recherche en technologie solaire.
- A partir des résultats obtenus, l'exploitation de la technologie micro-CSP est une solution efficace pour augmenter le potentiel d'hydrogène.

Références

Références

- [1] Z. S. Abdel-Rehim and A. Lashine, “A Study of Solar Desalination Still Combined with Air-Conditioning System,” *ISRN Renew. Energy*, vol. 2012, pp. 1–7, 2012.
[doi: 10.5402/2012/212496](https://doi.org/10.5402/2012/212496).
- [2] E. R. Onainor, “Experimental study and development of a water basin used as solar sensor,” *J FundamAppl Sci*, 2 (1), 151–165, 2010.
- [3] D. Theorie, “Ueber das Gesetz,” vom 19. October und vom 14. Verhandlungen 2. p. 202 - 237, December 1900.
- [4] W. W. Nyamsi, “Vers une méthode automatique d'estimation de la distribution spectrale du rayonnement solaire. Cas du ciel clair. Applications à la lumière du jour, photosynthèse et ultraviolet,” THESE Doctorat Paris Tech, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, le 06 novembre 2015.
- [5] N. Hamani, “Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration rayonnement solaire incident,” Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider-Biskra Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur Département de Physique 2005.
- [6] J. Hofierka and M. Šúri, “The solar radiation model for Open source GIS : implementation and applications,” *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento, Italy*, 11-13 September 2002.
- [7] V A Khoreva and S L Elistratov Exergy “analysis of the potential of solar irradiation,” *J. Phys.: Conf. Ser.* 1677 012108, 2020 .
[doi: 10.1088/1742-6596/1677/1/012108](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1677/1/012108).
- [8] E.G. Laue “The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations,” *Solar Energy* Volume 13, Issue 1, pp. 43-50, IN1-IN4, 51-57, April 1970,

- [9] J. Lagorse, “Modélisation et optimisation d ’ alimentations électriques autonomes stationnaires multi-sources,” JCGE’08 Lyon (France), 16 et 17 décembre 2008.
- [10] H. Cotalet *et al.*, “III-V multijunction solar cells for concentrating photovoltaics,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 174–192, 2009.
[doi: 10.1039/b809257e](https://doi.org/10.1039/b809257e).
- [11] K. Misiakos and D. Tsamakis, “Accurate measurements of the silicon intrinsic carrier density from 78 to 340 K,” *J. Appl. Phys.*, vol. 74, no. 5, pp. 3293–3297, 1993,
[doi: 10.1063/1.354551](https://doi.org/10.1063/1.354551).
- [12] A. Deneuille, J. C. Bruyère, A. Mini, H. Hamdi, and H. Kahil, “Cellules solaires : quelques aspects des structures « Schottky » à base de silicium amorphe hydrogéné,” *Rev. Phys. Appliquée*, vol. 15, no. 2, pp. 233–240, 1980,
[doi: 10.1051/rphysap:01980001502023300](https://doi.org/10.1051/rphysap:01980001502023300).
- [13] J.-É. Bourée and P. Roca i Cabarrocas, “Cellules solaires en couches minces à base de silicium,” *Reflets la Phys.*, no. 6, pp. 12–15, 2007,
[doi: 10.1051/refdp/2007062](https://doi.org/10.1051/refdp/2007062).
- [14] E Mirabi, F A Abarghuie, R Arazi “ Integration of buildings with third-generation photovoltaic solar cells: a review” *Clean Energy*, Volume 5, Issue 3, pp. 505–526, September 2021.
- [15] K. Adolf Münzer, K. T. Holdermann, R. E. Schlosser, and S. Sterk, “Thin monocrystalline silicon solar cells,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 46, no. 10, pp. 2055–2061, 1999.
[doi: 10.1109/16.791996](https://doi.org/10.1109/16.791996).
- [16] B. Xue, F. Li, M. Song, X. Shang, D. Cui, J. Chu, S. Dai, “Crack Extraction for Polycrystalline Solar Panels,” *Energies*, vol. 14, no. 2, p. 374, 2021.
[doi: 10.3390/en14020374](https://doi.org/10.3390/en14020374).

[17] J. Zhao, Y. Li, G. Yang., “Efficient organic solar cells processed from hydrocarbon solvents,” *Nat. Energy*, vol. 1, no. 2, 2016.

doi: [10.1038/NENERGY.2015.27](https://doi.org/10.1038/NENERGY.2015.27).

[18] C. Steinhagen, M. G. Panthani, V. Akhavan, B. Goodfellow, B. Koo, and B. A. Korgel, “Synthesis of Cu₂ZnSnS₄ Nanocrystals for Use in Low-Cost Photovoltaics,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 131, no. 35, pp. 12554–12555, 2009.

[19] M. E. Levinshtein, S. L. Rumyantsev, M. S. Shur, “Properties of Advanced Semiconductor Materials,” by John Wiley and sons, Canada, 2001.

[20] R. Tena-Zaera, M. A. Ryan, A. Katty, G. Hodes, S. Bastide, and C. Lévy-Clément, “Fabrication and characterization of ZnO nanowires/CdSe/CuSCN eta-solar cell,” *Comptes Rendus Chim.*, vol. 9, no. 5–6, pp. 717–729, 2006.

doi: [10.1016/j.crci.2005.03.034](https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.03.034).

[21] A Gama, C. Larbes, A. Malek, F. Yettou, and B. Adouane, “Design and realization of a novel sun tracking system with absorber displacement for parabolic trough collectors”, *J. Renewable Sustainable Energy*, Vol. 5, Issue 3, 033108, 2013.

doi: [0.1063/1.4807476](https://doi.org/0.1063/1.4807476)

[22] T. Arif, A. Chehhat, A. Gama, “ Numerical simulation study on the heat transfer of a spiral tube receiver designed to a thermal power tower,” (*POWERENG*), pp. 1135 - 1141. 2013.

doi: [10.1109/PowerEng.2013.6635770](https://doi.org/10.1109/PowerEng.2013.6635770),

[23] C.Tzivanidis, E. Bellos, D. Korres, K. A. Antonopoulos, G. Mitsopoulos, “ Thermal and optical efficiency investigation of a parabolic trough collector,” *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 6, , pp. 226-237, September 2015.

doi.org/[10.1016/j.csite.2015.10.005](https://doi.org/10.1016/j.csite.2015.10.005)

[24] N. D. Kaushika and K. S. Reddy, “Performance of a low cost solar paraboloidal dish steam generating system,” *Energy Conversion and Management.*, vol. 41, no. 7, pp. 713–726, 2000.

[doi: 10.1016/S0196-8904\(99\)00133-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00133-8).

[25] Wen-Qi Wang, Yu Qiu, Ming-Jia Li Feng Cao, Zhan-Bin Liu, “Optical efficiency improvement of solar power tower by employing and optimizing novel fin-like receivers,” *Energy Conversion and Management*. Volume 184, 15 March 2019, Pages 219-234. doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.029

[26] H. Zhai, Y. J. Dai, J. Y. Wu, R. Z. Wang, and L. Y. Zhang, “Experimental investigation and analysis on a concentrating solar collector using linear Fresnel lens,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 51, no. 1, pp. 48–55, 2010. [doi: 10.1016/j.enconman.2009.08.018](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.08.018).

[27] I. Y. F. Lun and J. C. Lam, “A study of Weibull parameters using long-term wind observations,” *Renew. Energy*, vol. 20, no. 2, pp. 145–153, 2000. [doi: 10.1016/S0960-1481\(99\)00103-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(99)00103-2).

[28] S. Diaf, G. Notton, and D. Diaf, “Technical and economic assessment of wind farm power generation at Adrar in Southern Algeria,” *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 53–62, 2013. [doi: 10.1016/j.egypro.2013.11.005](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.005).

[29] W. Zhou, H. Yang, and Z. Fang, “Wind power potential and characteristic analysis of the Pearl River Delta region, China,” *Renew. Energy*, vol. 31, no. 6, pp. 739–753, 2006. [doi: 10.1016/j.renene.2005.05.006](https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.05.006).

[30] E. K. Akpınar and S. Akpınar, “An assessment on seasonal analysis of wind energy characteristics and wind turbine characteristics,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 46, no. 11–12, pp. 1848–1867, 2005. [doi: 10.1016/j.enconman.2004.08.012](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.08.012).

[31] B. Safari and J. Gasore, “A statistical investigation of wind characteristics and wind energy potential based on the Weibull and Rayleigh models in Rwanda,” *Renew. Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 2874–2880, 2010. [doi: 10.1016/j.renene.2010.04.032](https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.032).

- [32] D. Honnery and P. Moriarty, “Estimating global hydrogen production from wind,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 727–736, 2009,
[doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.11.001).
- [33] R. Maouedj and S. B. Boussalem. Benyoucef, “Optimisation d’un système de pompage éolien Application aux sites sahariens,” *Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008)* 239 – 250.
- [34] A. Gouarehet *al.*, “GIS-based analysis of hydrogen production from geothermal electricity using CO₂ as working fluid in Algeria,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 44, pp. 15244–15253, 2015,
[doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.05.105](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.105).
- [35] T. C. Moralesa, V. R. Olivab, and L. F. Velázquezc, “Hydrogen from renewable energy in Cuba,” *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 867–876, 2014,
[doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.296](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.296).
- [36] R. Bright, “Selecting cable strain reliefs,” *Electron. Prod. (Garden City, New York)*, vol. 50, no. 3, 2008.
- [37] P. Charvin, A. Stéphane, L. Florent, and F. Gilles, “Analysis of solar chemical processes for hydrogen production from water splitting thermochemical cycles,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 6, pp. 1547–1556, 2008,
[doi: 10.1016/j.enconman.2007.12.011](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.12.011).
- [38] A. Mehmeti, A. Angelis-Dimakis, G. Arampatzis, S. J. McPhail, and S. Ulgiati, “Life cycle assessment and water footprint of hydrogen production methods: From conventional to emerging technologies,” *Environ. - MDPI*, vol. 5, no. 2, pp. 1–19, 2018,
[doi: 10.3390/environments5020024](https://doi.org/10.3390/environments5020024).
- [39] S. Abanades, G. Flamant, “Thermochemical hydrogen production from a two-step solar-driven water-splitting cycle based on cerium oxides,” *Solar. Energy*, vol. 80, pp. 1611–1623, 2006.
[doi: 10.1016/j.solener.2005.12.005](https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.12.005).

[40] X L. Yan, R. Hino “first edition Nuclear Hydrogen Production Handbook” P141
Published April 25, 2018 by CRC Press ISBN 9781138074682

[41] G.F. Naterer, K.Gabriel, Z.L. Wang, V.N. Daggupati, R. Gravelins, “Thermochemical hydrogen production with a copper-chlorine cycle. I: oxygen release from copper oxychloride decomposition,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 33, no. 20, pp. 5439–5450, 2008.

doi: [10.1016/j.ijhydene.2008.05.035](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.035).

[42] M. Ouagued . A. Khellaf . L. Loukarfi, “performance analyses of Cu-Cl hydrogen production integrated solar parabolic trough collector system under Algerian climate,” *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 43, Issue 6, pp. 3451-3465, 8 February 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.11.040>

[43] N. P. Trough, C. Using, T. T. Inserts, P. P. Inserts, and I. F. Absorber, “Enhancing the Performance of Evacuated and Twisted Tape Inserts , Perforated Plate Inserts and,” 2018,

doi: [10.3390/en11051129](https://doi.org/10.3390/en11051129).

[44] V. Schmidt, J. V. Wittemann, S. Senz, U. Gósele, “Silicon nanowires: A review on aspects of their growth and their electrical properties,” *Adv. Mater.*, vol. 21, no. 25–26, pp. 2681–2702, 2009.

doi: [10.1002/adma.200803754](https://doi.org/10.1002/adma.200803754).

[45] Z. Rehman, F. Ahmad, H. A. Muhammad, F. Riaz, H. M. U. Ayub, M. Hasan, M. Lee, “Study of thermal characteristics of energy efficient micro channel heat sinks in advanced geometry structures and configurations,” *Frontiers in Energy Research* ,25 July 2022.

doi [10.3389/fenrg.2022.951066](https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.951066)

[46] M. Rahmat and P. Hubert, “Geometric optimization for a thermal microfluidic chip” vol. 24, no. 10, pp. 2143–2150, 2010.

doi: [10.1007/s12206-010-0710-z](https://doi.org/10.1007/s12206-010-0710-z).

[47] S. Colin, P. Lalonde, R. Caen, , “Validation of a Second-Order Slip Flow Model in Rectangular Microchannels,” *Heat Transfer Engineering*, Vol. 25, N°3,. 23-30, 2004,

doi: [10.1080/01457630490280047](https://doi.org/10.1080/01457630490280047).

- [48] A. V. Gusarov and I. Smurov, "Thermal model of nanosecond pulsed laser ablation: Analysis of energy and mass transfer," *J. Appl. Phys.*, vol. 97, no. 1, 2005.
[doi: 10.1063/1.1827321](https://doi.org/10.1063/1.1827321).
- [49] J. Koo, C. Kleinstreuer, "Liquid flow in microchannels: experimental observations and computational analyses of microfluidics effects," *Journal of Micromechanics and microengineering*, Vol. 13, N°5, pp. 568-579, 2003.
[doi : 10.1088/0960-1317/13/5/307](https://doi.org/10.1088/0960-1317/13/5/307)
- [50] W. Qu and I. Mudawar, "Transport phenomena in two-phase micro-channel heat sinks," *J. Electron. Packag. Trans. ASME*, vol. 126, no. 2, pp. 213–224, 2004,
[doi: 10.1115/1.1756145](https://doi.org/10.1115/1.1756145).
- [51] S. Rahmouni, N. Settou, N. Chennouf, B. Negrou, and M. Houari, "A technical, economic and environmental analysis of combining geothermal energy with carbon sequestration for hydrogen production," *Energy Procedia*, vol. 50, pp. 263–269, 2014.
[doi: 10.1016/j.egypro.2014.06.032](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.032).
- [52] R. W. Barber, D. R. Emerson" Challenges in Modeling Gas-Phase Flow in Micro Channels: From Slip to Transition," *Heat Transfer Engineering* , pp 3-12, 18 Aug 2006.
- [53] N. G. Hadjiconstantinou and O. Simek, "Constant-wall-temperature nusselt number in micro and nano-channels," *J. Heat Transfer*, vol. 124, no. 2, pp. 356–364, 2002.
[doi: 10.1115/1.1447931](https://doi.org/10.1115/1.1447931).
- [54] J. N. Zemel, Y. Huang, and H. H. Bau, "Gas flow in micro-channels," *J. Fluid Mech.*, vol. 284, pp. 257–274, 1995.
[doi: 10.1017/S0022112095000358](https://doi.org/10.1017/S0022112095000358)

Annexe A

Liste des publications et des communications

Listes des publications et des communications

Liste des publications

1. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI**, Mohamed Bouchahdane. Data on safe hydrogen production from the solar photovoltaic solar panel through alkaline electrolyser under Algerian climate. Data in Brief, Volume 21, December 2018, Pages 1051-1060.
<https://www.sciencedirect.com/>
2. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI**, Djemoui Lalmi, Data on combination of parabolic solar system with CH₄ cycle and power tower solar system with Cu–Cl cycle for hydrogen production in the city of Ghardaia (Algeria). Data in Brief, Volume 21, December 2018, Pages 1267-1276.
<https://www.sciencedirect.com/>
3. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI**. Hydrogen Production from H₂SO₄ Cycle and Solar Parabolic trough Collector System in City of Tamanrasset. **International Journal of Energy Economics and Policy**, 8(2018): 72-75.
www.econjournals.com
4. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI** Coupling between Geothermal Energy and Solar Energy for Creation of New Energetic System “Production of Electricity and Hydrogen” in Intelligent Buildings. International Journal of Computer Applications, 2013, volume77/ number14/.
<http://www.ijcaonline.org/archives/>

Liste des communications présentées et publiées

1. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI**. Hydrogen from thermal solar energy in Algeria. 11th International Conference on Applied Energy, (ICAE2019), Västerås, Sweden, Aug 12-15, 2019.
https://www.researchgate.net/publication/343167609_HYDROGEN_FROM_THERMAL_SOLAR_ENERGY_IN_ALGERIA/link/5f1a132a92851cd5fa4202b1/download

2. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI.** Hydrogen production from renewable energy resources by electrolysis of steam water using circular silicon nano-tube cathode under Algerian climate. GCESD2018, 18-20 December 2018, John McIntyre Conference Centre, The University of Edinburgh, United Kingdom. WEENTECH Proceedings in Energy 5 (2019). December 2018, John McIntyre Conference Centre, The University of Edinburgh, *United Kingdom*. WEENTECH Proceedings in Energy, Vol.5, issue 1, (2019). 143-154. ISSN: 2059-235.
<http://weentechpublishers.com/paper.aspx?pid=c19b9e24-e4c5-4173-84fa-a1e77722a30f>
3. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI.** Micro Thermal Solar Panel for Hydrogen. 2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018, 18-20 December 2018, John McIntyre Conference Centre, The University of Edinburgh, *United Kingdom*. WEENTECH Proceedings in Energy 5 (2019). December 2018, John McIntyre Conference Centre, The University of Edinburgh, United Kingdom. WEENTECH Proceedings in Energy, Vol.5, issue 1, (2019). 135-142. ISSN: 2059-235.
<http://weentechpublishers.com/paper.aspx?pid=74dbe80b-82bb-4d3d-a039-38052e307d63>.
4. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI, Mohamed Bouchahdane.** Experimental Study of Numerical Relay for Over-current Protection in Solar Panel for Securing the Hydrogen Production. International Conference on Renewable Energy-ICREN 2018, April 25-27, 2018, Barcelona, *Spain*. ISSN 2609-374X. eISSN: 2267-1242
http://www.premc.org/doc/ICREN2018/ICREN2018_Book_Of_Abstracts.pdf
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186100005>
5. **Chawki AMEUR MENAD, Rabah GOMRI,** Modeling of Hybrid Solar Panel for Producing the Hydrogen. International Conference on Renewable Energy-ICREN 2018, April 25-27, 2018, Barcelona, *Spain*. ISSN 2609-374X. eISSN: 2267-1242
http://www.premc.org/doc/ICREN2018/ICREN2018_Book_Of_Abstracts.pdf
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186100004>



Data on safe hydrogen production from the solar photovoltaic solar panel through alkaline electrolyser under Algerian climate



Chawki Ameer Menad^{a,*}, Rabah Gomri^a,
Mohamed Bouchahdane^b

^a Climatic Department, University Mentouri Constantine 1, 25000 Constantine, Algeria

^b Department of Power and Control Institute of Electrical and Electronic Engineering, IGEE, Boumerdes, Algeria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 June 2018

Received in revised form

20 October 2018

Accepted 22 October 2018

Available online 27 October 2018

ABSTRACT

This data article is about hydrogen production from the solar photovoltaic solar panel through alkaline electrolyser under Algerian climate with the application of safe technology. Several pathways have been given different technologies for hydrogen production which were based on the experimental scale, where the catalysis of water by using alkaline electrolyser has taken the major part of the collecting data. However, in this data article, the photovoltaic solar system is integrated with a controller, an ammeter, a voltmeter, and an alkaline type water electrolyser (the electrolyte used is Na-OH). In fact, the alkaline electrolyser is the most common technology for the production of hydrogen through solar energy. Many technical problems have been involved to reduce the energy efficiency of the new design of the solar system, especially in photovoltaic panel solar system. One of the proposed solutions in this data is integrating of a numerical relay REF542 plus with a solar photovoltaic power station in the city of Adrar, which is located in the south of Algeria, to protect the electrical grid from over-current. This data is related to following references (Tributsch, 2008; Kai and Zhang, 2010; Chennouf et al., 2013).

© 2018 The Authors. Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

* Corresponding author.

E-mail addresses: c.ameurmenad@gmail.com (C.A. Menad), rabahgomri@yahoo.fr (R. Gomri), bouchahdanelec@yahoo.fr (M. Bouchahdane).

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.106>

2352-3409/© 2018 The Authors. Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Data Article

Data on combination of parabolic solar system with CH₄ cycle and power tower solar system with Cu–Cl cycle for hydrogen production in the city of Ghardaia (Algeria)



Chawki Ameur menad ^{a,*}, Rabah Gomri ^a, Djemoui Lalmi ^b

^a Climatic Department, University Mentouri Constantine 1, 25000 Constantine, Algeria

^b Research Unit in Applied Renewable Energy (URAER-CDER), BP:88, Gart Team ZI, 47133 Bounoura, Ghardaia, Algeria

ARTICLE INFO

Article history:
Received 2 June 2018
Received in revised form
20 October 2018
Accepted 22 October 2018
Available online 27 October 2018

ABSTRACT

This data show the combination of parabolic through solar system with CH₄ cycle and power tower solar system with Cu–Cl cycle for hydrogen production capacity in the city of Ghardaia which is located in the south of Algeria. A proper measurement of meteorological factors such as temperature, humidity, and solar irradiation has been done in the city of Ghardaia due to the solar concentration in this city. In the meantime thermo-chemical systems (Cu–Cl, CH₄ cycles) have been integrated with the thermal solar systems through.

© 2018 Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Specifications table

Subject area	Physics
More specific subject area	Solar energy, Hydrogen production
Type of data	Table, graph, figure

* Corresponding author.

E-mail addresses: c.ameurmenad@gmail.com (C.A. menad), rabahgomri@yahoo.fr (R. Gomri), eldjemoui@gmail.com (D. Lalmi).

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.110>

2352-3409/© 2018 Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Hydrogen Production from H₂SO₄ Cycle, and Solar Parabolic trough Collector System in City of Tamanrasset

Chawki Ameer Menad^{1*}, R. Gomri²

¹Department of Climatic, University Frères Mentouri, Constantine, 25000 Algeria, ²Department of Climatic, University Frères Mentouri, Constantine, 25000 Algeria. *Email: c.ameurmenad@gmail.com

ABSTRACT

Covering the energy demands for the future generation under Algerian climate became a strong debate in the last 3 years, especially after oil crisis. One of the solutions is exploiting solar energy due to the solar irradiation availability in the country. Application of this renewable energy resource is used to produce electricity through photovoltaic panels in different zones of Algeria. However, exploiting thermal solar energy is considered one of the most important existing technologies to produce green energy sources such as hydrogen. This paper is focusing in coupling between solar parabolic trough collector systems, with H₂SO₄ thermo-chemical cycle to produce Hydrogen. Both seasonally and annually, of solar irradiation have been taken from different positions in city of Tamanrasset which is located in south of Algeria. The obtained results explain the possibility to produce hydrogen from H₂SO₄ thermo-chemical cycle through thermal solar energy, with considerable efficiency instead using nuclear energy.

Keywords: Solar Energy, Hydrogen Production, H₂SO₄ Cycle, Tamanrasset
JEL Classifications: Q42, Q43

1. INTRODUCTION

Till today, extensive researches have been developed about renewable energy, especially solar energy for hydrogen production under Algerian climate. This paper consists two different parts which are: Understand thermal solar energy system, and hydrogen production from H₂SO₄ to increase energy efficiency, and develop the economy of the country. Using thermal solar energy has become one of the most important debates to cover energy demands, especially after the oil crisis in the last 3 years. In fact, solar energy is the dominant renewable energy resource in the Algeria due to the availability of solar irradiation in a lot of zones. Integrating this resource, with thermo-chemical cycle is considered a positive solution to produce hydrogen, and replace the fossil fuel in the next decade. Developing clean energy such as hydrogen from renewable energy resources needs a deep knowledge about combination between thermo-chemical cycles, and the choice of the suitable thermal solar energy system. H₂SO₄ cycle has been selected to produce hydrogen from solar energy instead nuclear energy, which affects the environment at high temperature. The available data is based on combination between solar parabolic

trough collector systems, with H₂SO₄ cycle for hydrogen production. Both seasonally and annually, of solar irradiation have been measured in different positions in city of Tamanrasset (Mohamed, 2002).

This paper is focusing in transforming the measured solar irradiation to H₂SO₄ cycle through a solar parabolic collector system for hydrogen production in city of Tamanrasset. In terms of Hydrogen production; an analytical process has been proposed to explain the goal of combination between green energy resources for the future generations. The available data in Algeria about thermal solar energy system is existing in the south of the country where the city of Tamanrasset is located. The contribution in this paper is production of hydrogen from H₂SO₄, and solar system instead of nuclear energy technology. Extensive research papers about hydrogen production from H₂SO₄ cycle, and thermal solar energy have been developed. Investigation of hydrogen production from H₂SO₄ by a water-splitting reaction, with an experimental results on thermal dissociation of sulphuric acid for hydrogen production has been discussed through studying Catalytic thermal decomposition of sulphuric acid in sulphur-iodine cycle by

Coupling between Geothermal Energy and Solar Energy for Creation of New Energetic System "Production of Electricity and Hydrogen" in Intelligent Buildings

C. Ameur Menad, R. Gomri
Climatic Department,
University Mentouri
Constantine,
Algeria.

ABSTRACT

This paper describes a new technique coupling between two mains parts which are geothermal energy and solar energy in order to produce electricity and to create a comfort in intelligent buildings. The first parts consists extraction of heat water from geothermal source at the temperature of 95°C (Guelma), for injecting it in solar panels in order to increase the temperature of the water until 600°C for production of electricity and hydrogen. Moreover, the selection of geothermal energy is for only two reasons. In one hand; is to generate heating system in winter and cooling system used by absorption machine in summer. In the other hand is to develop of the local production of electricity and hydrogen at the same time. Finally the principal objective is to provide energy efficiency in intelligent buildings and distribution of electricity in the grid. Another aim is to minimize loads during production of electricity.

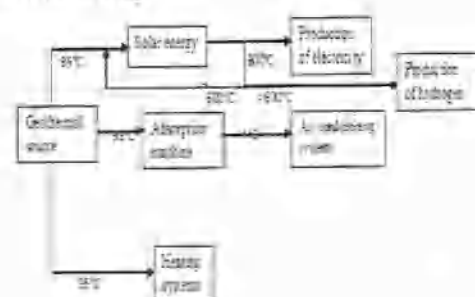
Keywords

energy efficiency, intelligent buildings, production of electricity-geothermal energy, solar energy, production of hydrogen.

1. INTRODUCTION

Local production of electricity and hydrogen from different energetic sources was studied in three analytical cases for increasing the level of the energy efficiency in intelligent buildings. However, the application of renewable energy was proposed in all studied cases, but the best solution is coupling between many sources of sustainable energy for many advantages as minimization of the cost during consumption of energy. Considered the outlet temperature obtained is varied between 95°C and 600°C, in other cases is more to apply it in many energetic systems. The production of high temperature is for production of hydrogen but in the studies cases is limited for production of electricity, so the results of this work will be apply it in future work for production of hydrogen at different temperature by coupling between geothermal energy and solar energy. The future energetic systems in intelligent buildings are not for production of electricity only, but for production of hydrogen also. Many studies about different renewable energy especially photovoltaic energy were studied. An experimental measurement to study the solar irradiation in sunny and cloudy days to understand the amount of irradiance in all seasons was developed by Nelson A. Kelly Thomas L. Gibson [1]. The obtained results explain that on sunny days the amount of solar energy is very higher when cosine of the angle between direct and incident radiation is known, especially by the application of DTS (directly toward the sun) configuration. On cloudy days: the obtained results explain that 40% of energy capture was increasing by the application of the method horizontal H configuration. Another work about studies of irradiation characteristic for developing the technical parameters of

photovoltaic solar panels installed on the roof of buildings (in Andalusia-Spain) in order to produce and distribute of the electricity was developed by J. Ordóñez and al [2]. R. Crook and al [3] were developed a new simulation method for creation a hybrid panels by combination between solar thermal energy and photovoltaic energy and phase change material system. Considered the application of wind energy for production of electricity, Ezio Sesto, Claudio Casale,* [4] were studied the generation of electricity by using of wind energy in basic case. James R. Salmon, and al [5] introduced two models between speed direction and energy produced estimate. Jeffrey Swofford, Michael Slattery [6] were studied the production of electricity by using of wind energy in Texas (USA), to understanding the relation between production of wind energy and public. Another kind of renewable energy (geothermal energy) was discussed by Stuart J. Self and al [7] for minimize consumption of energy, cost and emission of CO₂ during generation of heat pumps. However, Ondrej Ozgener, and al [8] were studied the exergoeconomic for evaluated the performance of geothermal heat pumps. Finally Hacene Mahmoudi and al [9], were studied the desalination of sea water by the application of geothermal energy in Algeria because there many available sources. Concerning the contribution of this research is to develop a new technique for production of the electricity which by using coupling between the two kinds of renewable energy for producing of hydrogen and for increasing the energy efficiency in intelligent buildings. However, the first part of the proposal system is to the extract the heat water at the temperature of 95°C from the geothermal source (exactly in Guelma it's located in the east of Algeria) in order to create comfort and product of electricity. Concerning the study of air conditioning system; an absorption machine (BrLi/H₂O) was generated by the geothermal source which minimizes all the amount of energy consumed for production of cool water. In the other hand; generation of heating systems by using of geothermal energy will minimize all amount of energy consumed by the heat pump. The process of coupling between of geothermal energy and solar is shown in fig1.



HYDROGEN FROM THERMAL SOLAR ENERGY IN ALGERIA

Chawki Ameer Menad^{*1}, Rabah Gomri¹, R. Menacer²

¹ University Frères Mentouri Constantine, Faculty of Sciences and Technology, Department of Génie Climatique, Constatine, Algeria

² Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques (CRAPC), BP384, Bou-Ismaïl, RP 42004, Tipaza, Algeria

ABSTRACT

Exploiting solar energy in Algeria became the main debate in energy sector especially after the oil crisis in the last three years. In fact, Algeria holds one of the best solar potential in the world, with the most efficient regions being located in the south of the country. Recently many researches have been exploiting solar energy for electricity production. However, producing hydrogen from solar energy is considered the future plan for improving the energy sector in Algeria. The main goal of this paper is the evaluation of hydrogen production potential from steam methane reforming through thermal solar energy systems in Algeria. The proposed model is based on a parabolic trough solar collector system and consists of two different parts, thermal solar energy in one hand, and hydrogen production from steam methane reforming in the other hand. The Algerian hydrogen potential production has been calculated in all regions (48 cities) of the country. The obtained results show that seasonal and the annual, hydrogen production potential could be the best solution to cover the energy needs.

Keywords: Thermal solar, Hydrogen production, Steam methane reforming, Parabolic trough solar collector.

1. INTRODUCTION

Recently one of the most important scientific debates in the world is global warming and greenhouse effect. Due to this debate, many researchers have proposed to exploit thermal solar as an energetic alternative solution.

Exploiting this energy for an environmental purpose has given power to scientists to start developing new technologies and pathways. Solar energy could be transformed to several types of energy such as mechanical, electrical, chemical...etc. Hydrogen production through thermo-chemical cycles is an important technology to transform the solar energy because hydrogen has a good high calorific value and having storage possibilities [1]. Many research projects have been developed using solar (thermal and photovoltaic) energy to produce hydrogen. One of these projects, a techno economic assessment of 100 MW based on the Dish Stirling technology using hydrogen as working fluid for centralized electricity production located in three typical Algerian cities: Algiers, In Salah and Tamanrasset, has been studied by Mohamed Abbas et al [2]. The study revealed that the city of Tamanrasset gave the lowest energetic cost of 11,5c\$/kWh. Mohamed Douaka et al [3], calculated the hydrogen production potential using wind energy in Algeria. The city of Adrar was the most productive zone with a cost of 1,214\$/KgH₂. N. Chennouf et al, developed an experimental study about solar and hydrogen production system using alkaline water electrolysis in Ouargla (Algeria), the group conclude that the hydrogen produced is linked to geographic position [4]. Another research has been done by D. Ghribi et al, proposed a mathematical model of hydrogen production system, using an electrolyser to maximize hydrogen production. This study showed the hydrogen production was 0.14 kg/m²/day. However this value increased to 0.19 kg/m²/day for a suitable period [5]. Other studies focused on hydrogen production by hybrid systems in

Micro Thermal Solar Panel for Hydrogen Production

Chawki Ameer Menad^{*}, Rabah Gomri¹

¹ University Frères Mentouri Constantine, Faculty of Sciences and Technology, Department of Génie Climatique, 25000 Constatine, Algeria

^{*}Corresponding author's mail: c.ameurmenad@gmail.com

Abstract

Till today, combination steam methane reforming cycle with solar energy is one of the dominant pathways in the world for hydrogen production. New methodology, based on micro technology has been involved in thermal solar technology, to improve energy efficiency and hydrogen productivity. This paper focuses in heat transfer in micro-thermal solar panel and micro-fluidic used for hydrogen production. The proposed model is connected to an alkaline electrolyser and made from thermal solar panel with rectangular micro-channels. The thermal fluid circulating in micro thermal solar panel transforms the micro-fluidic to electricity, through the electrical double layer phenomena. The obtained results explain the possibility to produce 1.7 KgH₂/day of hydrogen from the thermal solar panel through an alkaline electrolyser.

Keywords: Micro-Thermal Solar Panel; Hydrogen Production; Heat Transfer; Micro-Fluidic; Electrolyser

Copyright © 2019 Published by WEENTECH Ltd. The peer-review process is under responsibility of the scientific committee of the 2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018

Copyright © 2019 Published by WEENTECH Ltd. The peer-review process is under responsibility of the scientific committee of the 2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018
<https://doi.org/10.32438/WPE.7318>

2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018, 18-20 December 2018, John McIntyre
Conference Centre, The University of Edinburgh, United Kingdom

Hydrogen production from renewable energy resources by electrolysis of steam water using circular silicon Nano-tube cathode under Algerian climate

Chawki Ameer Menad^{*1}, Rabah Gomri¹

¹ University Frères Mentouri Constantine, Faculty of Sciences and Technology, Department of Génie Climatique, 25000 Constatine, Algeria

^{*}Corresponding author's mail: c.ameurmenad@gmail.com

Abstract

Hydrogen production from different renewable energy resources in Algeria has given a good results and more improvement for the environment in the last decades. This Paper focuses on hydrogen production by electrolysis of the steam water using circular Silicon nano-tube cathode integrated with solar PV panel. Collecting data from the city of Ghardaia in Algeria has been done to realize the analytical calculation, and to understand the impact of climatic conditions on hydrogen production potential from steam water catalysis. Electro-osmosis phenomena, and EDL (Electrical double layer) in Silicon nano-tube has been involved in the analytical study for hydrogen production.

Keywords: Hydrogen production; Electrolysis of the Steam Water; Solar Energy; PV Panel; Ghardaia; Electro-osmosis.

Copyright © 2019 Published by WEENTECH Ltd. The peer-review process is under responsibility of the scientific committee of the 2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018

Copyright © 2019 Published by WEENTECH Ltd. The peer-review process is under responsibility of the scientific committee of the 2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018
<https://doi.org/10.32438/WPE.7418>

2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018, 18-20 December 2018, John McIntyre Conference Centre, The University of Edinburgh, United Kingdom

Micro Thermal Solar Panel for Hydrogen Production

Chawki Aneur Menad^{*1}, Rahah Gomri¹

¹ University Frères Mentouri Constantine, Faculty of Sciences and Technology, Department of Génie Climatique, 25000 Constatine, Algeria

*Corresponding author's mail: c.aneurmenad@gmail.com

Abstract

Till today, combination steam methane reforming cycle with solar energy is one of the dominant pathways in the world for hydrogen production. New methodology, based on micro technology has been involved in thermal solar technology, to improve energy efficiency and hydrogen productivity. This paper focuses in heat transfer in micro-thermal solar panel and micro-fluidic used for hydrogen production. The proposed model is connected to an alkaline electrolyser and made from thermal solar panel with rectangular micro-channels. The thermal fluid circulating in micro thermal solar panel transforms the micro-fluidic to electricity, through the electrical double layer phenomena. The obtained results explain the possibility to produce 1.7 KgH₂/day of hydrogen from the thermal solar panel through an alkaline electrolyser.

Keywords: Micro-Thermal Solar Panel; Hydrogen Production; Heat Transfer; Micro-Fluidic; Electrolyser

Copyright © 2019 Published by WEENTECH Ltd. The peer-review process is under responsibility of the scientific committee of the 2nd Global Conference on Energy and Sustainable Development, GCESD2018

Annexe B

Rapport de simulation

Simulation Report

DWSIM v.5.8

Details

Title: simulation_title
Comments: simulation_details

Object: MSTR-(NG & Steam)

Type: Material Stream

Property	Value	
Temperature	320.85	C
Pressure	1.01325	bar
Mass Flow	329.78159	kg/h
Molar Flow	19451.19746	mol/h
Volumetric Flow	947.22689	m3/h
Mixture Density	0.34815	kg/m3
Mixture Molar Weight	16.95431	kg/kmol
Mixture Specific Enthalpy	679.11788	kJ/kg
Mixture Specific Entropy	2.01061	kJ/[kg.K]
Mixture Molar Enthalpy	11513.97361	kJ/kmol
Mixture Molar Entropy	34.08855	kJ/[kmol.K]
Mixture Thermal Conductivity	0.06585	W/[m.K]
Mixture Molar Fraction		
Methane	0.49751	
Hydrogen	0.00498	
Water	0.49751	
Carbon dioxide	0.0	
Carbon monoxide	0.0	

Object: PFR

Type: PFR

Property	Value	
Pressure Drop	0.94755	bar
Residence time	0.0045	h
Volume	7.0	m3
Length	8.0	m
Catalyst loading	0.386	kg/m3
Catalyst diameter	1.84	mm
Catalyst void fraction	0.4	
Temperature delta	0.0	C.
Heat load	608.10257	kW
Calculation Mode	#0.0####	

Simulation Report

DWSIM v.5.8

Details

Title: simulation_title
Comments: simulation_details

Methane: Conversion	85.78455	%
Hydrogen: Conversion	26276.69428	%
Water: Conversion	91.19784	%
Carbon dioxide: Conversion	145515309019.713	%
Carbon monoxide: Conversion	2160471798718.2	%
Overall Reaction: Reaction Extent	0.06972	mol/h
Steam Reforming: Reaction Extent	8.23183	mol/h
Water Gas Shift: Reaction Extent	-7.7777	mol/h
Overall Reaction: Reaction Rate	0.00001	mol/[L.h]
Steam Reforming: Reaction Rate	0.00118	mol/[L.h]
Water Gas Shift: Reaction Rate	-0.00111	mol/[L.h]
Overall Reaction: Reaction Heat	3.18849	kW
Steam Reforming: Reaction Heat	470.59563	kW
Water Gas Shift: Reaction Heat	88.93798	kW

Object: MSTR-HX Out: PFR In

Type: Material Stream

Property	Value	
Temperature	700.85	C
Pressure	1.01325	bar
Mass Flow	329.78159	kg/h
Molar Flow	19451.19746	mol/h
Volumetric Flow	1554.55919	m3/h
Mixture Density	0.21214	kg/m3
Mixture Molar Weight	16.95431	kg/kmol
Mixture Specific Enthalpy	1806.83725	kJ/kg
Mixture Specific Entropy	3.46347	kJ/[kg.K]
Mixture Molar Enthalpy	30633.67504	kJ/kmol
Mixture Molar Entropy	58.72082	kJ/[kmol.K]
Mixture Thermal Conductivity	0.12965	W/[m.K]
Mixture Molar Fraction		
Methane	0.49751	
Hydrogen	0.00498	
Water	0.49751	
Carbon dioxide	0.0	
Carbon monoxide	0.0	

Simulation Report

DWSIM v.5.8

Details

Title: simulation_title
Comments: simulation_details

Object: MSTR-001

Type: Material Stream

Temperature	700.85	C
Pressure	0.0657	bar
Mass Flow	329.7788	kg/h
Molar Flow	36054.30464	mol/h
Volumetric Flow	44439.05739	m3/h
Mixture Density	0.00742	kg/m3
Mixture Molar Weight	9.14672	kg/kmol
Mixture Specific Enthalpy	2302.22922	kJ/kg
Mixture Specific Entropy	7.6993	kJ/[kg.K]
Mixture Molar Enthalpy	21057.85701	kJ/kmol
Mixture Molar Entropy	70.4234	kJ/[kmol.K]
Mixture Thermal Conductivity	0.33613	W/[m.K]
Mixture Molar Fraction		
Methane	0.03816	
Hydrogen	0.70797	
Water	0.02363	
Carbon dioxide	0.01453	
Carbon monoxide	0.21572	

Object: ESTR-01

Type: Energy Stream

Property	Value	
Energy Flow	120.12309	kW

Object: ESTR-02

Type: Energy Stream

Property	Value	
Energy Flow	608.10257	kW

Object: HX-01

Type: Material Stream Heater

Property	Value	
----------	-------	--

Simulation Report

DWSIM v.5.8

Details

Title: simulation_title
Comments: simulation_details

Pressure Drop	0.0	bar
Efficiency	86.0	
Outlet Temperature	700.85	C
Heat Added	120.12309	kW
Outlet molar vapour fraction	1.0	
Delta-T	380.0	C.

ملخص

تتكون الأطروحة من بحث عميق حول استخدام مصادر الطاقات المتجددة لإنتاج الهيدروجين في ظل المناخ الجزائري. أثبتت النتائج التي تم الحصول عليها أن هناك العديد من المسارات لإنتاج الهيدروجين حتى من نفس مصدر الطاقة المتجددة. في الحقيقة، تعتبر الطاقة الشمسية الموارد المهيمن حيث يمكن أن تحدث عملية إنتاج الهيدروجين من خلال تقنيات مختلفة مثل أنظمة تجميع الحوض المكافئ، والتكنولوجيا الكهروضوئية. تم أخذ تحسين كمية الهيدروجين المنتج من خلال الجمع بين تكنولوجيا النانو والتكنولوجيا الدقيقة مع أنظمة الطاقة في الاعتبار. بالإضافة إلى موارد الطاقة المتجددة الأخرى مثل الطاقة الحرارية الأرضية وطاقة الرياح وطاقة الكتلة الحيوية.

الكلمات المفتاحية: الطاقات المتجددة ؛ إنتاج الهيدروجين؛ النانوتكنولوجيا؛ ميكرو تكنولوجيا؛ كفاءة الطاقة.

Abstract

The following thesis consists of a deep research about using renewable energy resources for hydrogen production under Algerian climate on one side, and in different climatic conditions on the other side. The obtained results proofed that there are many pathways for hydrogen production even from the same renewable energy resource. In fact; solar energy is considered the dominant resources where the process of hydrogen production could happen through different technics such as parabolic trough collector systems, and PV technology. Improving the amount of hydrogen produced through the combination of nanotechnology, and micro-technology, with the energy systems has been taken on consideration. In addition; other renewable energy resources like geothermal energy, wind energy, and biomass energy

Key words:Renewable Energy Resources;Hydrogen Production; Nanotechnology; Micro-technology; Energy Efficiency.

Résumé

Cette thèse de doctorat en sciences consiste en une recherche approfondie sur l'utilisation des ressources énergétiques renouvelables pour la production d'hydrogène sous le climat algérien d'un côté, et dans différentes conditions climatiques de l'autre coté. Les résultats obtenus ont prouvé qu'il existe de nombreuses voies de production d'hydrogène même à partir de la même ressource d'énergie renouvelable. En réalité, l'énergie solaire est considérée comme la ressource dominante où le processus de production d'hydrogène pourrait se produire grâce à différentes techniques telles que les systèmes de capteurs paraboliques et la technologie PV. L'amélioration de la quantité d'hydrogène produite grâce à la combinaison de la nanotechnologie et de la micro-technologie avec les systèmes énergétiques a été prise en considération. En outre, d'autres ressources d'énergies renouvelables comme l'énergie géothermique, l'énergie éolienne et l'énergie de la biomasse ont été considéré.

Mots clé :Énergie Renouvelables ;Production de l'hydrogène ; Nanotechnologie ;Micro-technologie Efficacité Énergétique.