

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التـعليم والـبحـث والـعلمـي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : génie mécanique

Spécialité : énergie renouvelables

Par : Mr FERTOUL DJAMAL Mohammed el amine

M^{elle}. KAHLOUL KAWTHER

Sujet :

**Mise en point d'un prototype de production
d'hydrogène vert à partir des sources naturelles**

Soutenu publiquement, le : /06/ 2023, devant le jury composé de :

Mr. ALIANE ABDENOUR	MCB	Univ. Tlemcen	Président
Mr BEGAG ABDELAZIZ	MCB	Univ. Tlemcen	Examinateur
Mr BEKHOUCHE AMINE	ING/DCT	Sociaux économique	Examinateur
Mr SARI HASSOUN ZAKARIA	MCA	Univ. Tlemcen	Encadreur 1
Mr BENRAMDANE MOHAMMED	MCA	Univ. Tlemcen	Encadreur 2
Mr. ALIANE KHALED	PRF	Univ. Tlemcen	Co-encadreur

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciement

Cher Dieu,

Nous voulons prendre un moment pour vous remercier pour votre présence et votre soutien tout au long de notre parcours académique, et plus particulièrement pour nous avoir guidés à travers l'élaboration de notre mémoire. Nous sommes infiniment reconnaissant pour votre amour et votre bonté, qui nous ont permis de surmonter les défis et de persévérer dans notre travail.

Nous voulons également exprimer notre gratitude envers nos encadreurs, Mr. Zakaria SARI HASSOUN, Mr. Aliane Khaled et Madame BERREZOUG Hiba Imane,

Aussi je n'oublie pas BEKHOUCHE AMINE pour leur soutien et leur guidance tout au long de la réalisation de notre mémoire. Leurs conseils, leur expertise et leur patience nous ont permis de mener à bien ce projet et de le présenter avec confiance

Dédicaces

Cher mes parents, mes amis,

Je voulais prendre un moment pour vous exprimer toute ma gratitude et mon amour. Vous avez été un pilier essentiel dans ma vie, et je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui sans vous.

Pour mes parents, Vous m'avez donné la vie et m'avez guidé tout au long de mon parcours. Vos conseils avisés et votre soutien ont été inestimables pour moi et je vous en suis vraiment reconnaissante.

Pour mes amis, Vous avez été là pour moi dans les moments difficiles,

On a passé un beau moment ensemble depuis le début est toute sa rester des belles souvenir.

FERTOUL D.JAMEL

Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

KAHLOUL KAWTHER

ملخص:

نظرًا لزيادة في النمو السكاني، أصبحت الطاقة من الموارد الأحفورية (النفط أو الفحم أو الغاز الطبيعي أو الطاقة النووية غير كافية لتلبية احتياجات الطاقة المتزايدة في العالم ولها تأثير كبير على البيئة علاوة على ذلك، هذه الطاقات ليست متجددة لذلك من الضروري إيجاد حل قابل للتطبيق يعتبر إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة حلاً للمستقبل. على سبيل المثال، تعتبر الجزائر واحدة من الدول المهمة التي لديها قدرات بيئية هائلة لاستغلال هذه الطاقات وهذا ما دفعنا للقيام بهذا العمل الذي يتركز على دراسة نظام تحسين وإنتاج الهيدروجين الأخضر عن طريق التحليل الكهربائي باستعمال الطاقة الشمسية ومياه البحر بهدف أن يكون الهيدروجين مصدر للطاقة الكهربائية من أجل استخدامه كوقود لما له من خصائص كيميائية وفيزيائية مميزة ولا يتسبب في أي انبعاثات ملوثة

كلمات المفتاحية: الهيدروجين الأخضر، تحليل كهربائي للماء، طاقة الشمسية، ماء البحر

Abstract:

Due to the acceleration of population growth, energy from fossil resources (oil, coal, natural gas or nuclear) is insufficient to meet the growing energy needs of the planet and has a significant impact on the environment.

Moreover, these energies are not renewable. A workable solution must therefore be found.

Producing electricity from renewable energies is a solution for the future. For example, Algeria is considered as one of the important countries that have enormous environmental capacities to exploit these energies.

This is what prompted us to carry out this work which relates to the study of the system for the improvement and production of green hydrogen by electrolysis from solar energy and sea water, hydrogen being a source of electrical energy in order to use it as fuel because of its distinctive chemical and physical properties and does not cause any polluting emissions.

Keywords: Green hydrogen, Water electrolysis, solar energy, Seawater.

Résumé

En raison de l'accélération de la croissance démographique, l'énergie issue des ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel ou nucléaire) est insuffisante pour répondre aux besoins énergétiques croissants de la planète et a un impact important sur l'environnement.

De plus, ces énergies ne sont pas renouvelables. Il faut donc trouver une solution viable.

Produire de l'électricité à partir d'énergies renouvelables est une solution d'avenir. Par exemple, l'Algérie est considérée comme l'un des pays importants qui disposent d'énormes capacités environnementales pour exploiter ces énergies.

C'est ce qui nous a poussés à réaliser ce travail qui porte sur l'étude du système d'amélioration et de production d'hydrogène vert par électrolyse à partir d'énergie solaire et d'eau de mer, l'hydrogène étant une source d'énergie électrique afin de l'utiliser comme carburant car de ses propriétés chimiques et physiques distinctives et ne provoque aucune émission polluante.

Mots clés : Hydrogène vert, Électrolyse de l'eau, Energie solaire, Eau de me

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	<u>2</u>
CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE.....	
1.1. LES NOTIONS DE BASE	<u>3</u>
1.1.1. L'ELECTRICITE.....	<u>3</u>
1.1.2 LES VALEURS	<u>3</u>
1.1.2.1 LA TENSION	<u>3</u>
1.1.2.2 RESISTANCE	<u>4</u>
1.1.2.3 LA PUISSANCE.....	<u>4</u>
1.1.2.4 LA CONSOMATION	<u>4</u>
1.1.2.5 LES TYPES DE COURANT	<u>5</u>
1.1.2.5.1 LE COURANT CONTINU	<u>5</u>
1.1.2.5.2 LE COURANT ALTERNATIF	<u>5</u>
1.1.3. LES GROUPEMENT D'ELEMENTS	<u>6</u>
1.1.3.1 LES ELEMENTS EN SERIE.....	<u>6</u>
1.1.3.2. LES ELEMENTS EN PARALLELE	<u>7</u>
1.1.3.3. COMPRESSION.....	<u>7</u>
1.2. L'ENERGIE.....	<u>7</u>
1.2.1. DEFINITION DE L'ENERGIE.....	<u>7</u>
1.2.2. LES SOURCES D'ENERGIES.....	<u>8</u>
1.2.3. LES ENERGIES NON RENOUVELABLES	<u>9</u>
1.2.3.1. LES SOURCES D'ENERGIES NON RENOUVELABLES	<u>9</u>
1.2.3.1.1 LE PETROLE	<u>9</u>
1.2.3.2 LE CHARBON	<u>9</u>
1.2.3.3 LE GAZ NATUREL	10
1.2.3.4. LE NUCLEAIRE	<u>10</u>
1.2.4. L'ENERGIE RENOUVELABLE	<u>10</u>
1.2.4.1. L'ENERGIE SOLAIRE.....	<u>10</u>
1.2.4.2. L'ENERGIE EOLIENNE.....	<u>10</u>
1.2.4.3 L'ENERGIE HYDROLIQUE.....	<u>11</u>
1.3. GENERALITE SUR L'HYDROGENE	<u>11</u>
1.3.1. DEFINITION DE L'HYDROGENE.....	<u>11</u>
1.3.2. HISTOIRE DE LA TECHNOLOGIE DE PRODUCTION ET EXPLOITATION	

D'HYDROGENE	<u>12</u>
1.3.3. CARACTERISTIQUE DE L'HYDROGENE	<u>12</u>
1.3.4. PROCEDE DE PRODUCTION D'HYDROGENE.....	<u>13</u>
1.3.5. LA PRODUCTION D'HYDROGENE	<u>14</u>
1.3.6 TYPE D'HYDROGENE.....	<u>15</u>
1.3.6.1. GRIS	<u>15</u>
1.3.6.2. BLEU	<u>15</u>
1.3.6.3. HYDROGENE VERT	<u>15</u>
1.3.6.4. NOIR ET BRUN	<u>15</u>
1.3.6.5. L'HYDROGENE ROSE.....	<u>15</u>
1.3.6.6. TURQUOISE	<u>15</u>
1.3.6.7. LE JAUNE	<u>16</u>
1.4. LES AVANTAGES ET INCONVENIENTES D'HYDROGENE	<u>16</u>
1.4.1. AVANTAGE.....	<u>16</u>
1.4.2 INCONVENIENT	<u>16</u>
1.5. GENERALITE SUR ELECTROLYSE DE L'EAU	<u>16</u>
1.5.1. DEFFINITION.....	<u>17</u>
1.5.2. HISTOIRE SUR L'ELECTROLYSE DE L'EAU	<u>17</u>
1.6. CONCLUSION.....	<u>17</u>
CHAPITRE 2 : L'ENERGIE SOLAIRE.....	
2. INTRODUCTION.....	<u>18</u>
2.1. ENERGIE SOLAIRE	<u>18</u>
2.1.1. ORIGINE DE L'ENERGIE SOLAIRE.....	<u>18</u>
2.1.2. TYHPE DE L'ENERGIE SOLAIRE	<u>18</u>
- L'ENERGIE THERMIQUE	<u>18</u>
- L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	<u>18</u>
2.1.3. POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE.....	<u>19</u>
2.1.4. LE SPECTRE SOLAIRE	<u>19</u>
2.1.5. L'IRRADIATION SOLAIRE.....	<u>20</u>
2.1.6. MOUVEMENT DE LA TERRE	<u>21</u>
2.1.7 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	<u>22</u>
2.1.7.1 LES AVANTAGES	<u>22</u>
2.1.7.2 LES INCONVENIENTS	<u>22</u>

2.2.	L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE.....	<u>22</u>
2.2.1	CELLULE SOLAIRE	<u>23</u>
2.2.1.1	LES TYPES DES CELLULES DES PANNEAUX SOLAIRES	<u>24</u>
2.2.1.1.1	SILICIUM MONOCRISTALLIN	<u>24</u>
	➤ AVANTAGE	<u>24</u>
	➤ INCONVENIENT.....	<u>24</u>
2.2.1.1.2	CELLULES POLY-CRISTALLINS	<u>24</u>
	➤ AVANTAGE	<u>24</u>
	➤ INCONVENIENT.....	<u>24</u>
2.2.1.1.3	CELLULES AMORPHE	<u>24</u>
	➤ AVANTAGE	<u>25</u>
	➤ INCONVENIENT.....	<u>25</u>
2.2.2.	PANNEAUX SOLAIRES	<u>25</u>
2.2.3.	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	<u>26</u>
2.2.4.	RENDEMENT DE PANNEAU SOLAIRE.....	<u>27</u>
2.2.4.1	INCLINAISON	<u>28</u>
2.2.4.2	ORIENTATION.....	<u>29</u>
2.2.4.3	LAZIMUT	<u>29</u>
2.2.4.4	LALATITUDE.....	<u>30</u>
2.2.5	LES CARACTERISTIQUE DE PANNEAU SOLAIRE	<u>30</u>
2.2.6	LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PV... ..	<u>31</u>
2.2.6.1	AVANTAGE	<u>31</u>
2.2.6.2	INCONVENIENT	<u>31</u>
2.3	CONCLUSION	<u>31</u>
 CHAPITRE 3 : ELECTROLYDE D'EAU ET HYDOGENE VERT ...		
3.	INTRODUCTION.....	<u>32</u>
3.1.	L'ELECTROLYSE	<u>32</u>
3.1.1.	DEFINITION	<u>32</u>
3.1.2.	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	<u>32</u>
3.1.3.	CLASSIFICATION DES TECHNOLOGIES D'ELECTROLYSE DE L'EAU... ..	<u>33</u>

3.1.3.1	ELECTROLYSE ALCALINE.....	33
3.1.3.1.1	LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	34
3.1.3.2	L'ELECTROLYSE A MEMBRANE POLYMERE/ELECTROLYTE DE PROTONS	34
3.1.3.2.1	LES AVANTES ET LES INCONVENIENTS	35
3.1.3.3.	ELECTROLYSE A HAUT TEMPERATURE.....	35
3.1.3.3.1	LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	36
3.1.3.4.	REACTIONS CHIMIQUES POUR DIFFERENTS TYPES DE L'ELECTROLYSE DE L'EAU	36
3.2.	HYDROGENE VERT	37
3.2.1.	DEFINITION	37
3.2.2.	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	37
3.2.3.	MECANISME DE REACTION.....	38
3.2.4.	EFFICACITE DE CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE	39
3.2.5.	LES AVANTAGES DE L'HYDROGENE VERT	40
3.2.6.	LES INCONVEION DE L'HYDROGENE VERT.....	40
3.2.7.	APPLICATIONS DE L'HYDROGENE VERT	40
3.2.8.	LE STOCKAGE DE L'HYDROGENE	41
3.2.8.1	STOCKAGE PAR COMPRESSION	41
3.2.8.2.	STOCKAGE LIQUIDE.....	41
3.2.8.3	STOCKAGE SOLIDE.....	42
3.7.	CONCLUSION... ..	43
CHAPITRE 4 : REALIASATION ET RESULTATS.....		
4.	INTRODUCTION... ..	49
4.1.	LES MATERIELS UTILISER.....	49
4.1.1.	GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE (PANNEAU SOLAIRE)	49
4.1.2.	ORIENTATION ET INCLINAISATION DE SYSTEME PV	51
4.1.3.	LES CABLES	51

4.1.4. LES APPEREIL DE MESURE.....	52
4.1.4.1 LE MULTIMETRE	52
4.1.4.2 LUXMETRE	53
4.1.4.3 SONDE DE TEMPERATURE THERMOCOUPLE.....	54
4.1.4.4. CHRONOMETRE.....	54
4.1.5. CONVERTISEUR.....	55
4.1.6. BATTERIE	55
4.1.7. REGULATEUR	56
4.1.8. ELECTROLYSEUR.....	57
4.1.9. TUBE GRADUE.....	57
4.1.10. L'ANODE.....	58
4.1.11. CATHODE.....	58
4.1.12L'EAU DE MER.....	58
4.1.13. LES DIMENSIONS DE LA CUVE DE VERRE	59
4.2. LES TESTS.....	54
4.2.1. EXPERIENCE 1.....	54
4.2.1.1 LE MONTAGE DE L'EXPERIENCE	54
4.2.2 EXPERIENCE 2	59
4.2.2.1. LE MONTAGE DE L'EXPERIENCE 2.....	59
4.2.3. EXPERIENCE 3	63
4.2.3.1. LE MONTAGE DE L'EXPERIENCE 3.....	63
4.2.4. DEFINITION DE PANNEAU HYBRIDE	64
4.3. CONCLUSION.....	67
CONCLUSION GENERALE... ..	68
REFERENCE... ..	69
ANEXX... ..	64
RESUMER.....	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Eclair	3
Figure 2 : Tension.....	4
Figure 3 : Courant électrique.....	5
Figure 4 : Graphe de courant continue.....	5
Figure 5 : Graphe de courant alternatif	5
Figure 6 : Montage en série.....	7
Figure 7 : Montage en parallèle	7
Figure 8 : Les types d'énergies	9
Figure 9 : L'énergie solaire	10
Figure 10 : L'énergie éolienne.....	11
Figure 11 : Energie hydraulique.....	11
Figure 12 : les propriétés d'hydrogène.....	12
Figure 13 : Répartition De la production D'hydrogène.....	14
Figure 14 : Différentes méthodes de production d'hydrogène	14
Figure 15 : William Nicholson	17
Figure 16 : la carte de l'irradiation solaire en Algérie.....	19
Figure 17 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	20
Figure 18 : L'irradiation solaire.....	21
Figure 19 : Schéma des mouvements de la terre autour du Soleil	21
Figure 20 : Energie solaire photovoltaïque.....	22
Figure 21 : Les Composent Cellule solaire	23
Figure 22 : cellule solaire	23
Figure 23 : Différent types des cellules solaires	25
Figure 24 : Panneau solaire	26
Figure 25 : champ photovoltaïque	26
Figure 26 : Conversion de l'énergie solaire en électricité	27
Figure 27 : Schéma de principe de la conversion	27
Figure 28 : Inclinaison Du Panneau solaire	28
Figure 29 : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques	28
Figure 30 Orientation De Panneau.....	29
Figure 31 : Azimut.....	29
Figure 32 : La latitude.....	30
Figure 33 : Caractéristiques Du Panneaux	30
Figure 34 : la réaction de H ₂ O.....	32
Figure 35 : L'électrolyse Alcaline	34
Figure 36 : L'électrolyse PEM.....	35
Figure 37 : Schéma D'électrolyse à Haute Température	36
Figure 38 : La Production D'Hydrogène Vert.....	39
Figure 39 : Mécanisme de réaction d'hydrogène vert	39
Figure 40 : les types de stockages d'hydrogène.....	42
Figure 41 : deux panneaux en parallèle (solar pro).....	44
Figure 42 : Panneau LAGUA Solar	45
Figure 43 : Câbles solaires DC	47
Figure 44 : câble solaire MC4 2en 1	47
Figure 45 : le multimètre.....	48
Figure 46 : luxmètre.....	48

Figure 47 : SONDE DE TEMPERATURE.....	49
Figure 48 : chronomètre.....	49
Figure 49 : CONVERTISEUR.....	51
Figure 50 : Batterie.....	51
Figure 51 : Régulateur.....	51
Figure 52 : les éléments de l'électrolyse de l'eau.....	52
Figure 53 : le tube de mesure de volume en cm ³	53
Figure 54 : l'eau de mer.....	53
Figure 55 : la dimension de la cuve de verre.....	54
Figure 56 : montage de l'expérience 1.....	55
Figure 57 : expérience 1.....	55
Figure 58 : courbe de la variation de volume H ₂ en fonction de temps.....	57
Figure 59 : la courbe de la variation de volume H ₂ en fonction de temps.....	57
Figure 60 : Courbe de variation de courant en fonction de l'éclairement.....	58
Figure 61 : la variation de H ₂ , I ₁ et l'éclairement.....	58
Figure 62 : montage de l'expérience 2.....	61
Figure 63 : la courbe de variation de volume de H ₂ en fonction de temps.....	62
Figure 64 : la courbe de la variation de volume de H ₂ en fonction de l'éclairement.....	62
Figure 65 : la variation de $\Delta(V_2)$ en fonction de courant I ₂	62
Figure 66 : variation de tension U ₂ et la température de panneau.....	62
Figure 67 : montage de l'expérience 3.....	63
Figure 68 : Expérience 2.....	63
Figure 69 : Panneau Hybride.....	64
Figure 70 : variation de volume V _(H₂) en fonction de temps.....	65
Figure 71 : la variation de T _e en fonction de Δ_V	66
Figure 72 : variation de tension U et la température de panneau.....	66
Figure 73 : variation de l'éclairement, volume de H ₂ et l'ampérage.....	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différence entre la puissance et l'énergie.....	5
Tableau 2 : La différence entre montage en série et en parallèle.....	7
Tableau 3 : Sources d'énergie.....	8
Tableau 4 : Caractéristiques de l'hydrogène.....	12
Tableau 5 : potentiel solaire en Algérie.....	19
Tableau 6 : Réactions chimiques pour différents types de d'électrolyse de l'eau.....	37
Tableau 07 : Les caractéristiques électriques d'un panneau solaire photovoltaïque.....	49

Tableau 08 : Les caractéristiques de panneau (solar pro).....	44
Tableau 09 : les caractéristiques de convertisseur	50
Tableau 10 : Les caractéristiques de batterie.....	51
Tableau 11 : Les caractéristiques de régulateur solaire	52
Tableau 12 : les mesures de l'expérience 1	55
Tableau 13 : les mesuré de l'expérience 2.....	60
Tableau 14 : Comparaison entre le PV 50W et le PV de 80W....	
Tableau 14 : les mesuré de l'expérience 3.....	65

Nomenclature :

MW : Méga Watt

U : La Tension (V)

U(AB) : La tension aux bornes du dipôle AB

P : La puissance électrique (w)

: La Consommation D'énergie (KWh)KWh

: Kilo wattheure

J : Le joule

Cal : La calorie

H₂ : Hydrogène

PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

PCS : Pouvoir calorifique supérieur

C_p : Chaleur spécifique

C_v : Chaleur spécifique

KJ : Le kilo joule

GPL : Les Gaz de Pétrole Liquéfiés

GES : Gaz à Effet de Serre

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

CO₂ : Dioxyde de carbone

H₂O : La molécule d'eau

O₂ : Oxygène

C : Vitesse de la lumière dans le vide m / s

MeV : Mili électronvolt

λ; La longueur d'onde

W/m²: watts par mètre carré

EPV : L'énergie photovoltaïque

α : L'angle d'inclinaison

N : nombre de jour

L : latitude du lieu

(I_{sc}) : Courant de court-circuit

(I_{mp}) Courant nominal : L'intensité

(V_{oc}) Tension de circuit ouvert

(V_{mp}) Tension nominale

(P_{max}) Puissance crête

NaOH : L'hydroxyde de sodium

KOH : L'hydroxyde de potassium

h : la constant de Planck/s)

: La fréquence Hertz

e^- : Electron

h^+ : Le photon

$\Delta G_{H_2O}^0$: La formation d'énergie libre de Gibbs

R_{H_2} : est le taux de génération d'hydrogène (mol/s)

, rendement de conversion solaire

: EST la tension de polarisation appliquée à la cellule (V)

I: est le courant dans la cellule (A)

: est l'incidence de l'irradiante solaire (W/m^2A :

est la zone irradiée m^2

Lux : l'unité d'éclairement

T_e : température d'eau C°

T_a : température ambiante

T_p : température de panneau

E : L'éclairement (W/m^2)

U_1 : la tension (V)

I_1 : le courant (A)

V : le volume (cm^3)

ΔV_1 : Le volume remplie à chaque minute

U_2 : la tension

I_1 : le courant

V_2 : le volume

Δv_2 : Le volume remplie à chaque minute

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et du rendement énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle énergétique durable. Pour cela un programme national de développement des énergies renouvelables a été tracé pour la période 2011-2030, ambitionnant, à terme, de produire 40% de la consommation nationale d'électricité à partir des filières solaire. Ainsi, ce programme prévoit l'installation d'une puissance de près 22 000 MW, avec 12000 MW destinés à la demande nationale et 10 000 MW à l'exportation [1].

Le monde émergent a besoin d'énergie pour croître et accompagner sa croissance. Cela se traduit notamment par plus de capacités de production d'électricité et un besoin accru de gaz, car sans croissance de l'offre énergétique, il n'y a pas de croissance économique. C'est là que se trouveront à terme 90 % des besoins nouveaux et c'est là où notre rôle est d'accompagner la croissance [2].

Ainsi, les besoins du monde émergent sont autant quantitatifs que qualitatifs, et devront être satisfaits grâce à des modes de production adaptés.

La conversion photovoltaïque du rayonnement solaire en électricité est un des moyens d'exploitation du gisement solaire. Elle est réalisée par des cellules solaires. Un système couplant un champ photovoltaïque et un électrolyseur permet de stocker l'électricité par l'intermédiaire d'un stockage sous forme de gaz (l'hydrogène). Il est vrai que l'hydrogène(H) est l'un des éléments les plus abondants sur Terre, mais il n'est pas disponible à l'état pur dans la nature.

On ne le trouve que sous forme combinée, L'hydrogène vert est une forme d'énergie renouvelable qui est produite en divisant les molécules d'eau en hydrogène et en oxygène à l'aide d'électricité renouvelable. Ce processus, connu sous le Nom d'électrolyse, produit de l'hydrogène sans aucune émission. De plus les produits de sa combustion sont non polluants, c'est pour cette raisons en plus des raisons économiques et écologiques que l'heure de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique semble venu.

De fait, la quasi-totalité de l'hydrogène aujourd'hui disponible provient du reformage de gaz naturel. La thermochimie est au stade du laboratoire et l'électrolyse représente moins de 1% de la capacité totale de production de cet hydrogène ; cette dernière n'est utilisée que si l'électricité est soit fatale (cas des Renouvelables comme l'éolien ou le photovoltaïque), soit bon marché et/ou si une pureté élevée de l'hydrogène produit est requise.

Actuellement, le recours croissant aux sources renouvelables conduit au développement de l'électrolyse, procédé bien adapté à la valorisation de ces énergies nouvelles. À côté de solution physique, gaz comprimé, gaz liquéfié ; que sont pour le moment encore globalement insatisfaisante. Des solutions chimiques originales sont explorées, comme les hydro métallique, comme les matériaux solides poreux.

Pourrais conclure en disant que l'étude sur ce sujet est une de grande aventure scientifique de l'humanité, qui est tout aussi exaltant.

L'objectif de notre mémoire est de contribuer à une meilleure compréhension d'une nouvelle technologie de production et de stockage d'une énergie propre.

Cette étude est conçue pour susciter de futurs travaux dans ce domaine.

Dans cette étude nous présentons une mémoire à portée sur amélioration et optimisation de la production d'hydrogène vert on a utilisé l'énergie solaire et l'eau de mer. On a divisé notre travail en quatre chapitres :

- Le premier chapitre, Recherche Bibliographie.
 - Le deuxième chapitre, est consacré à l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie, et une étude descriptive générale des systèmes photovoltaïques sont présentée, leurs types, leurs compositions et les caractéristiques la fin de ce chapitre, on mettra en valeur les avantages et les inconvénients de ce système.
 - Le troisième chapitre présente le système de production d'hydrogène vert, ses avantages et le principe de fonctionnement de système, utilisation d'hydrogène vert les types de stockage, et électrolyse de l'eau.
 - Le dernier chapitre présente les étapes nécessaires pour concevoir un système de production d'hydrogène vert et le principe de fonctionnement et discussion des résultats.
- Enfin nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I:
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

1.1. LES NOTIONS DE BASE:

1.1.1. L'électricité :

C'est une énergie qui existe à l'état naturel lors de l'orage (l'éclair) Figure 1 mais qui est difficilement Stockable. La libre circulation des électrons entre deux points d'un conducteur Produit un courant électrique. Un électron libre est un électron facilement séparable du noyau qui le compose. Les objets qui contiennent des électrons libres sont appelés conducteurs (par exemple : les métaux, les corps humains et la terre).

L'énergie cinétique de ces électrons libres constitue l'énergie électrique. Si nous organisons ces mouvements de manière à ce que tous les électrons libres se déplacent dans le même sens en même temps, nous créons un courant électrique.

La production d'énergie implique finalement que les électrons soient forcés de se déplacer ensemble dans des matériaux conducteurs pour faciliter le mouvement.

L'électricité peut être produite à partir d'énergies renouvelables : l'éolien, l'hydraulique, le solaire, la biomasse, la géothermie, mais la majeure partie est produite par la combustion d'énergies fossiles ou par réaction nucléaire.



Figure 1 : L'éclair [3]

1.1.2. LES VALEURS :

1.1.2.1. LA TENSION (SYMBOLE U) :

La Tension (U) est définie comme la quantité d'énergie potentielle entre deux points d'un circuit. Cette différence de charge entre les pôles + et - d'un générateur est mesurée en volts et est représentée par la lettre « V ». La tension peut parfois être appelée « pression électrique », une analogie appropriée car la force fournie par la différence de potentiel électrique aux électrons traversant un matériau conducteur peut être comparée à la pression de l'eau lorsque l'eau se déplace dans un tuyau ; plus les volts sont élevés, plus la « pression de l'eau » est importante [4].

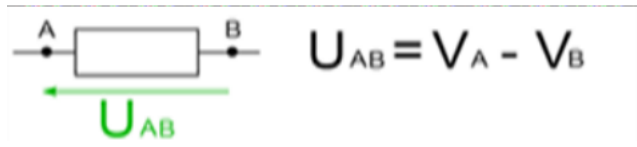


Figure 2 : Tension [5]

On note plus précisément U_{AB} la tension aux bornes du dipôle AB et on dirige la flèche de B vers A.

1.1.2.2. LA RESISTANCE:

Parfois, les électrons sont retenus dans leurs structures moléculaires respectives, tandis que d'autres fois, ils peuvent se déplacer relativement librement. La résistance d'un objet est la tendance de cet objet à s'opposer au passage du courant électrique. En termes d'électricité, la résistance d'un matériau conducteur est une mesure de la manière dont l'appareil ou le matériau réduit le courant électrique qui le traverse.

La Résistance (R) est exprimée en ohms. L'Ohm définit l'unité de résistance de « 1 ohm » Comme la résistance entre deux points d'un conducteur où l'application de 1 volt poussera 1 ampère. Cette valeur est généralement représentée dans les schémas par la lettre grecque « Ω », qui s'appelle oméga et se prononce « ohm » [6].

1.1.2.3. LA PUISSANCE:

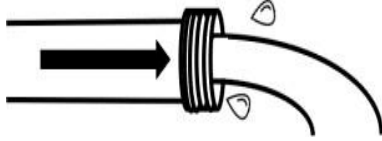
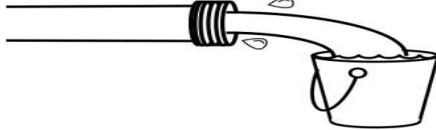
La puissance électrique (P) est l'énergie consommée par un appareil connecté à un circuit électrique, elle correspond à la quantité de travail qu'un appareil électrique peut fournir par seconde. Exprimé en watt (w).

$$P = U * I \dots \dots \dots (1)$$

1.1.2.4. LA CONSOMMATION D'ENERGIE:

C'est la quantité d'électricité consommée ou produite pendant un temps donné. Elle s'obtient en multipliant la puissance par le nombre d'heures d'utilisation. Elle s'exprime en kilowattheures (KWh).

Tableau 1 : La différence entre la puissance et l'énergie [7]

La puissance et l'énergie	
Puissance	<ul style="list-style-type: none"> • Watts  <ul style="list-style-type: none"> • Kilowatts « comme le débit de l'eau »
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Wattheures  <ul style="list-style-type: none"> • Kilowattheures « comme l'eau qui finit dans le seau »

1.1.3. LES TYPES DE COURANT:

Le courant électrique désigne le flux d'électricité dans un circuit électronique et la quantité d'électricité circulant dans un circuit. Il est mesuré en ampères (A). Le symbole courant est la lettre majuscule I.

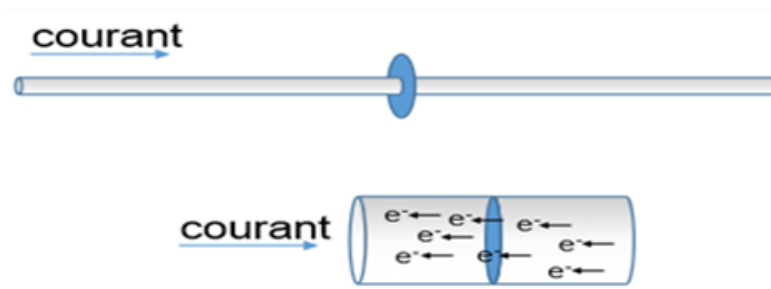


Figure 3: Courant électrique [8]

- **LE COURANT CONTINU (DC DIRECT CURENT) :**

Le courant continu (DC) désigne le flux unidirectionnel d'électrons (toujours dans le même sens) et constitue la forme d'énergie la plus couramment produite par des sources telles que les cellules solaires et les batteries.

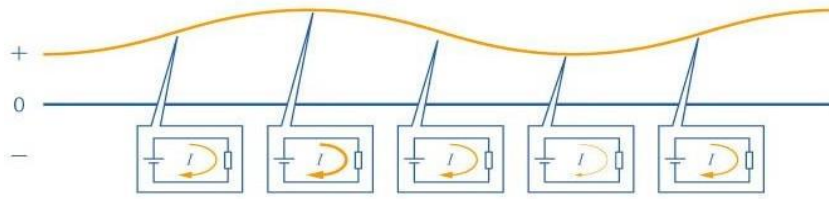


Figure 4 : Graphe de courant continue [9]

1.1.3.1. LE COURANT ALTERNATIF (AC ALTERNATIVE CURENT)

⋮

Le courant alternatif (AC) désigne le courant et la tension dont la direction et la magnitude varient régulièrement dans le temps. Les formes d'ondes du courant alternatif se distinguent par une Variété de formes, y compris les ondes sinusoïdales, les ondes carrées, et les ondes triangulaires.

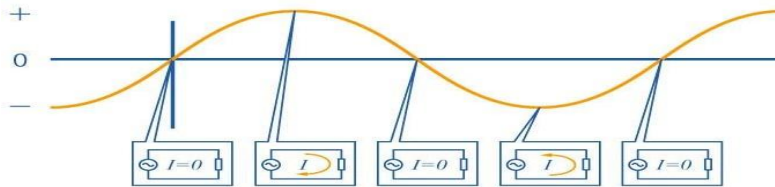


Figure 5 : Graphe de courant alternatif [10]

Il existe deux types de courant alternatif : monophasé et triphasé :
 Le monophasé est actuellement le plus utilisé dans divers équipements (TV, lave-linge, etc.)
 Courant triphasé pour les niveaux de puissance élevés.

1.1.3.2. LES GROUPEMENT D'ELEMENTS :

1.1.3.3. LES ELEMENTS EN SERIE :

Les éléments sont en série quand ils sont places les uns à la suite des autres.

Tension Totale = $\sum Tension = Tension1 + Tension2 + Tension3$ (2)

Intensité Totale = intensité 1 = intensité 2 = intensité 3

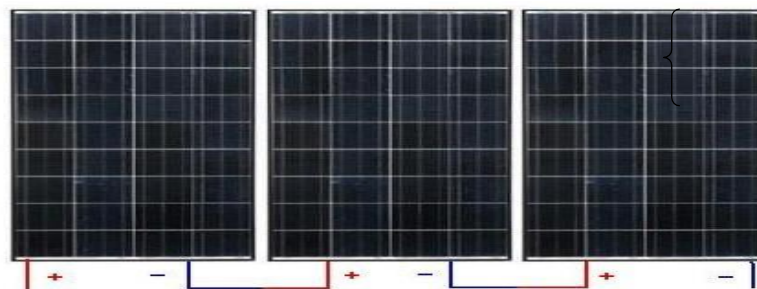


Figure 6 : Montage en série [11]

1.1.3.4. LES ELEMENTS EN PARALLELE :

Un montage est dit en parallèle lorsque chaque élément est reprise sur le précédent par une dérivation.

$$\begin{aligned}
 \text{Tension Totale} &= \text{Tension1} = \text{Tension2} = \text{Tension3} \\
 \text{Intensité Totale} &= \sum \text{Intensité} = \text{Intensité 1} + \text{Intensité 2} + \text{Intensité 3}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Tension Totale} \\ \text{Intensité Totale} \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots(3)$$



Figure 7 : Montage en parallèle [11]

1.1.3.5. Comparaison :

Tableau 2 : La différence entre montage en série et parallèle

Type de connexion	En série	En parallèle
Tension	Somme des tensions	Pas de changement
Courant	Pas de changement	Somme des courants
Puissance	Somme des puissances	Somme des puissances

1.2. L'ENERGIE:

1.2.1. DEFINITION DE L'ENERGIE :

C'est La capacité ou le pouvoir d'effectuer un travail, comme la capacité de déplacer un objet (d'une masse donnée) par l'application d'une force. L'énergie peut exister sous différentes formes : électrique, mécanique, chimique, thermique ou nucléaire, et peut être transformée d'une forme à l'autre.

Il existe 3 unités d'énergie:

- Le Joule(J),
- Le kilowatt-hour (kWh),

- La calorie (call)

Conversion:

1kWh = 3600 kJ

1cal = 4.18 J

1.2.2. LES SOURCES D'ENERGIES:

On désigne trois principaux types d'énergie sont les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables, chaque type de ressource énergétique ayant ses propres avantages et inconvénients qui résume dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Les sources d'énergie [12]

Sources d'énergie	Avantages	Inconvénients
Fossiles : - Pétrole - Gaz - charbon	- Faciles à exploiter	- Production de CO ₂ - Epuisable
Nucléaire	- Moins cher aujourd'hui. - Moins de CO ₂	- Epuisable - Déchet radioactifs - Risque d'accident nucléaire.
Renouvelables: - Eau -Soleil (thermique et photovoltaïque) - Vent - biomasse (bois, plantes...) - Géothermie	- Inépuisables à notre échelle. - Peu ou non polluantes	- Ne peuvent être implantée de partout. - Coût plus élevé. - Faible puissance. - Fabrication recyclage des cellules photovoltaïque

Afin de mieux évaluer leurs qualités, les ressources énergétiques de la Terre peuvent être divisées en deux catégories principales, à savoir les énergies renouvelables et les énergies non renouvelables.



Figure 8: Les types énergies [13]

1.2.3. L'ENERGIE NON-RENOUVELABLE:

C'est une source d'énergie qui se renouvelle moins vite qu'on ne la consomme et de manière négligeable à l'échelle humaine, par opposition aux énergies renouvelables.

Les principales sources d'énergies non renouvelables sont des produits possédant des propriétés énergétiques intrinsèques nucléaires (comme les matières fissiles) ou chimiques (comme les hydrocarbures, formés à partir de biomasse fossile que le temps a transformée en charbon, pétrole ou gaz) [14].

Les ressources non renouvelables, telles que les combustibles fossiles, sont épuisables et ne peuvent être remplacées une fois qu'elles ont été utilisées.

1.2.3.1. LES SOURECES D'ENERGIES NON RENOUVELABLES :

1.2.3.1.1. LE PETROLE :

Le pétrole est l'énergie la plus importante dans le monde. Il couvre 30 % des besoins énergétiques. On l'utilise principalement pour alimenter les transports (voitures, camions, avions). Les industries de la pétrochimie ne peuvent pas se passer de cette matière première pour fabriquer les matières plastiques, les peintures, les colorants, etc. [15].

Enfin, le pétrole peut servir au chauffage domestique et industriel.

1.2.3.1.2. LE CHARBON :

Le charbon sert principalement à la production d'électricité. Par exemple, il permet de faire avancer les trains. Aussi, le charbon est très utile à la production d'acier : wagons, locomotives, rails, ferrailles à béton, etc.

Enfin, on l'utilise pour produire du ciment (4 % du charbon consommé dans le monde). Malgré les idées reçues, le charbon n'est pas que l'énergie des pays « pauvres », mais bien une énergie non renouvelable utilisée par les plus grandes puissances [16].

1.2.3.1.3. LE GAZ NATUREL:

Comme le pétrole et le charbon, le gaz est un combustible fossile. La décomposition d'organismes vivants microscopiques se transforme en kérogène puis lorsque la température augmente (entre 50 et 120 °C) il se décompose. Ainsi, cette décomposition crée deux hydrocarbures : le gaz naturel et le pétrole [8].

Aussi, le gaz naturel peut être thermogénique quand il provient de la transformation des matières organiques ou biogénique lorsqu'il découle d'une fermentation de bactéries.

1.2.3.1.4. LE NUCLEAIRE:

C'est en 1896 qu'Henri Becquerel découvre par hasard le principe de radioactivité. La combustion fissile de l'uranium permet de créer l'énergie nucléaire. Ce sont les noyaux des atomes composés de neutrons et protons qui provoquent les réactions nucléaires. Lorsque les liens énergétiques entre les sous-particules sont modifiés, une énergie thermique se libère sous forme de chaleur [17].

1.2.4. L'ENERGIE RENEUVABLE:

Les ressources renouvelables sont renouvelables et comprennent des sources telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique.

1.2.4.1. L'ENERGIE SOLAIRE:

L'énergie solaire est la chaleur et la lumière rayonnante du soleil qui peuvent être exploitées grâce à des technologies telles que l'énergie solaire (utilisée pour produire de l'électricité) et l'énergie solaire thermique (utilisée pour des applications telles que le chauffage de l'eau).



Figure 9 : L'énergie solaire [18]

1.2.4.2. L'ENERGIE EOLIENNE :

Le terme "énergie éolienne" décrit le processus par lequel le vent est utilisé pour produire de l'énergie mécanique ou de l'électricité. Un générateur peut convertir cette énergie mécanique en électricité.



Figure 10 : l'énergie éolienne [19]

1.2.4.3. L'ENERGIE HYDRAULIQUE :

L'énergie hydroélectrique, également appelée hydroélectricité, est l'électricité produite par des générateurs entraînés par des turbines qui convertissent l'énergie potentielle de l'eau tombant ou s'écoulant rapidement en énergie mécanique.



Figure 11 : Energie hydraulique [20]

1.3. GENERALITE SUR L'HYDROGENE :

1.3.1. DEFINITION DE L'HYDROGENE :

L'hydrogène est un élément chimique de symbole « H ». C'est l'élément le plus abondant et léger de l'univers, puisqu'il représente environ 75 % de sa masse élémentaire. L'hydrogène possède de nombreuses propriétés uniques qui en font un élément important de notre vie quotidienne [21].

C'est un gaz incolore, inodore et insipide, hautement inflammable et réactif. C'est également un puissant agent réducteur, ce qui signifie qu'il peut donner des électrons à d'autres éléments.

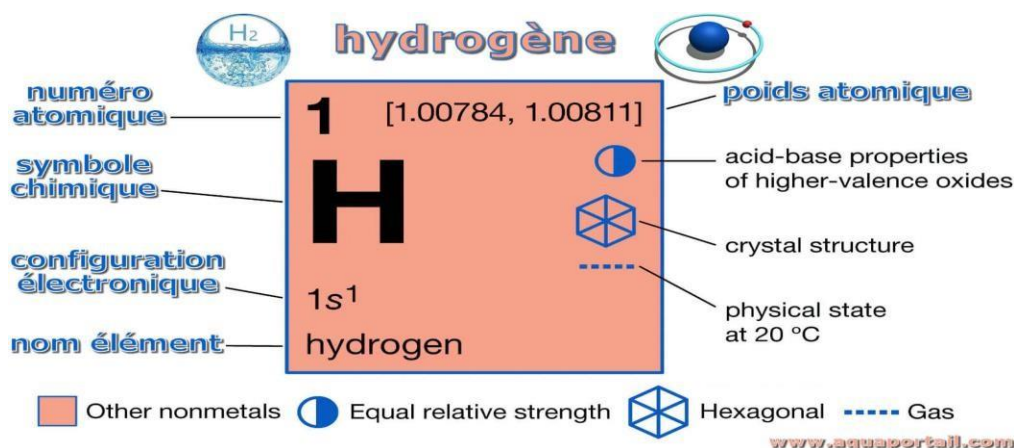


Figure 12 : les propriétés d'hydrogène [22]

1.3.2. HISTOIRE DE LA TECHNOLOGIE DE PRODUCTION ET EXPLOITATION D'HYDROGENE :

- 1766** : Identification de l'élément Hydrogène.
- 1800** : Découverte de l'électrolyse.
- 1937** : Tragédie d'Hindenburg.
- 1959** : Premier prototype de pile à combustible.
- 1973** : Application commerciale des piles à combustible hydrogène après le 1er choc Pétrolier.
- 1990** : Première usine de production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire.
- 1998** : L'Islande prévoit de devenir la première économie basée sur l'hydrogène d'ici 2030.
- 2001** : Première membrane à échange de protons dans les piles à combustible.
- 2003** : Le gouvernement américain investit \$1,2 milliards dans le développement de L'hydrogène comme carburant.

1.3.3. CARACTERISTIQUE DE L'HYDROGENE :

Tableau 4 : Caractéristiques de l'hydrogène [23]

Propriété	Valeur Numérique
PCI (pouvoir calorifique inférieur)	119930kj/kg
PCS (pouvoir calorifique supérieur)	141860kj/kg
Densité gazeuse a 20.3K	1,34kg/m ³
Densité gazeuse a 273K	0,08988kg/Nm ³
Densité liquide a 20.3K	7,79kg/m ³
Chaleur spécifique (Cp)	14 266j/kg k
Chaleur spécifique (Cv)	10 300j/kg k

Conductivité thermique de gaz	0,1897w/ (m.k)
Chaleur d'évaporation	445,4kj/kg
Energie théorique de liquéfaction	14 112j/g
Electronégativité (Pauling)	2,1
Masse atomique	1,0079
Constante de gaz	4 124,5j/kg k
Température de solidification	14 ,01k
Température d'ébullition (1013mbar abs)	20,268k
Température critique	33,30k
Température d'auto inflammation dans l'air	858k
Température de flamme dans l'air	2 318k
Limite d'inflammabilité dans l'air (vol%)	4-75
Limite de détonation dans l'air (vol%)	13-65
Energie minimale d'inflammation	20j
Energie explosive théorique	2,02(kg de TNT/m ³ de gaz)
Supression de detonation	14,7 bar
Coefficient de diffusion dans l'air	0,61 cm/s
Vitesse de flamme dans l'air	260cm/s
Vitesse de détonation dans l'air	2km/s
Mélange stœchiométrique dans l'air (vol)	29,53%

1.5.4. PROCEDE DE PROUCTION D'HYDROGENE:

Aujourd'hui 96 % de l'hydrogène est produit à partir des énergies fossiles (48 % à partir de gaz naturel, 30 % des hydrocarbures liquides, 18% du charbon) [24].

En raison tout d'abord de leur intégration dans l'industrie pétrolière qui est l'une des premières consommatrices d'hydrogène. Les autres raisons sont, bien entendu, leur disponibilité actuelle ainsi que leur réactivité chimique et Le coût global de production.

La matière première prédominante est logiquement le gaz naturel constitué principalement de méthane (de formule chimique CH₄ soit 4 atomes d'hydrogène pour 1 atome de carbone, ce taux d'hydrogène par rapport au carbone est le plus Important par rapport à tous les autres hydrocarbures) [25].

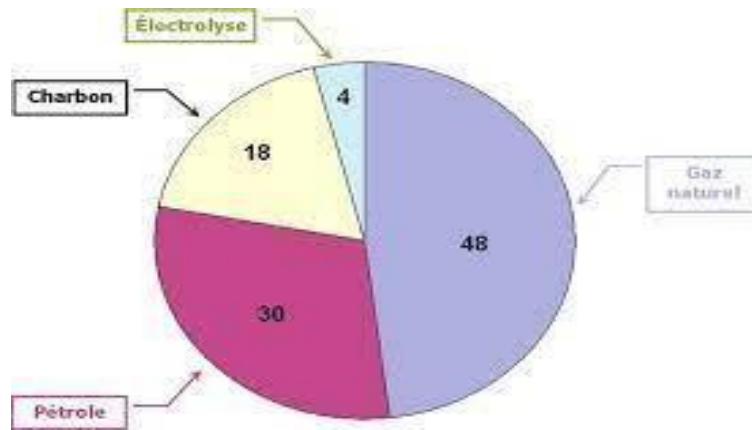


Figure 13 : Répartition De la production D'hydrogène [26]

1.3.5. LA PRODUCTION D'HYDROGENE :

L'hydrogène n'est pas disponible à l'état naturel. Il est produit par la séparation d'éléments chimiques dont l'atome H est un composant et par la mobilisation d'une source d'énergie.

La plus grande partie de l'hydrogène est actuellement produite à partir de gaz naturel et est utilisée par les industriels pour ses propriétés chimiques, en particulier dans les usines d'ammoniac (50% de la consommation mondiale) et dans les raffineries de pétrole (désulfuration d'essence et de gazole, production de méthanol, etc.) [27].

Plus de 95% de la production d'hydrogène est encore issue d'énergies fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon). On appelle « hydrogène bas carbone » l'hydrogène produit grâce à une source d'énergie renouvelable ou nucléaire (ou par vaporeformage de gaz naturel si le procédé est associé à une unité de captage, stockage et valorisation du CO₂) [28].

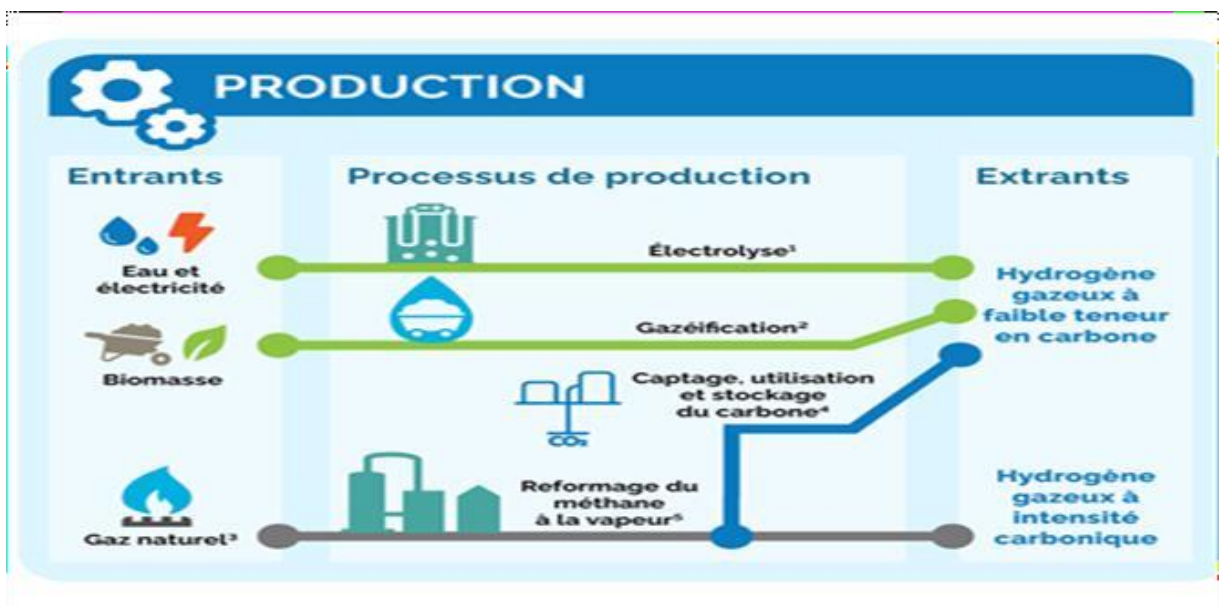


Figure 14 : Différentes méthodes de production d'hydrogène [29]

1.3.6. TYPE D'HYDROGENE:

1.3.6.1. GRIS :

L'hydrogène gris est actuellement la forme la plus courante et la moins chère de production d'hydrogène. Il est utilisé comme carburant et ne génère pas lui-même d'émissions de gaz à effet de serre, mais son processus de production en Génère. L'hydrogène gris est créé à partir du gaz naturel en utilisant le reformage à la vapeur, qui sépare l'hydrogène du gaz naturel. Cependant, les technologies Utilisées ne permettent pas de capturer les émissions de carbone créées au cours du processus, qui sont alors rejetées dans l'atmosphère.

1.3.6.2. BLEU :

L'hydrogène bleu est également extrait à l'aide du processus de reformage à la vapeur, mais il diffère du gris car Les émissions de carbone libérées sont captures Et stockées, ce qui réduit les émissions dans L'atmosphère, Mais ne les élimine pas. L'hydrogène Bleu est parfois appelé "hydrogène à faible teneur En carbone", car le processus de production n'évite pas la création de gaz à effet De serre, mais se contente de les stocker.

1.3.6.3. L'HYDROGENE VERT :

L'hydrogène vert ne génère aucune émission au cours de son cycle de vie car il utilise des énergies Renouvelables dans le processus de Production, ce qui en fait une véritable Source d'énergie propre.

Il est fabriqué Par électrolyse de l'eau en utilisant De l'électricité propre créée à partir d'un surplus d'énergie renouvelable provenant de l'énergie éolienne et solaire.

Le processus provoque une réaction qui divise l'eau en ses composants, l'hydrogène et l'oxygène (le H et Le O de H_2O). Il n'y a donc pas d'émissions de carbone au cours du processus.

C'est une excellente alternative au gris et au bleu, mais pour l'instant, le principal défi consiste à réduire les coûts de production de l'hydrogène vert pour en faire une alternative renouvelable et Respectueuse de l'environnement réellement accessible [30].

1.3.6.4. NOIR ET BRUN :

L'hydrogène noir et brun est créé en utilisant l'un ou l'autre type de charbon dans le processus d'extraction. Ce processus, appelé gazéification, est À l'opposé de l'électrolyse de l'hydrogène vert Il s'agit d'un processus établi utilisé dans de nombreuses Industries qui convertissent les matériaux riches en carbone en hydrogène et en dioxyde de carbone. Les émissions sont ensuite rejetées dans l'air, ce qui entraîne une pollution et fait de l'hydrogène le plus nocif pour l'environnement.

1.3.6.5. L'HYDROGENE ROSE :

L'hydrogène rose est extrait par électrolyse alimentée par l'énergie nucléaire. Il est possible que l'hydrogène rose Soit également appelé hydrogène violet ou rouge.

1.3.6.6. TURQUOISE :

L'hydrogène turquoise est très récent et on est encore en train de découvrir s'il peut être utilisé à grande échelle. Il est fabriqué à l'aide d'un processus appelé "Pyrolyse du méthane",

qui produit de l'hydrogène et du carbone solide en utilisant la chaleur pour décomposer la composition chimique d'un matériau. Le carbone n'est pas rejeté dans l'air, il est stocké dans le carbone solide créé.

Si son efficacité est prouvée, le turquoise pourrait rejoindre le bleu en tant qu'"hydrogène à faible teneur en carbone" si le carbone peut être stocké de manière permanente et sans danger pour l'environnement [31].

1.3.6.7. LE JAUNE:

L'hydrogène jaune est une autre nouveauté. Il est produit par électrolyse en utilisant spécifiquement l'énergie solaire et l'électricité, un processus similaire à celui utilisé pour créer l'hydrogène vert, mais avec un nom plus ensoleillé.

1.4. LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'HYDROGENE :

1.4.1. AVANTAGE :

- L'avantage majeur de l'hydrogène réside dans sa facilité de transport. Que ce soit par pipeline, par camions ou par bateaux, sous forme gazeuse ou bien liquide, il y a de nombreuses façons de transporter l'hydrogène
- L'hydrogène contient beaucoup d'énergie par unité de poids. Trois fois plus que le kérosène. Cela en fait une solution particulièrement intéressante pour des applications très exigeantes comme l'aéronautique ou le spatial.
- Même si le stockage n'est pas simple, il est possible et cela permet de palier à l'intermittence des énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien. On peut ainsi produire de l'hydrogène le jour pour s'en servir la nuit, ou même l'été pour s'en servir l'hiver
- Enfin, l'hydrogène peut être utilisé pour produire l'électricité

1.4.2. INCONVENIENT:

- La molécule de dihydrogène (H_2 que l'on appellera hydrogène) est très peu dense et il faut la compresser à très haute pression pour qu'elle soit exploitable. A titre de comparaison, il faut un volume de 7L d'hydrogène pour contenir l'énergie de 1L d'essence [31]
- Comme nous l'avons vu précédemment, l'hydrogène doit être stocké à des pressions très fortes, entre 350 et 900 bars
- Produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau nécessite environ 57 kWh/kg d'hydrogène. Pour produire les 900 000t d'hydrogène consommé, il faudrait donc 51,3 TWh soit près de 10% de la production [31]

1.5. GENERALITE SUR ELECTROLYSE DE L'EAU :

1.5.1. DEFINITION :

L'électrolyse est la transformation chimique d'une substance par le passage d'un courant électrique. Au cours d'une électrolyse, il se produit une migration des espèces ioniques vers les électrodes en direction de l'électrolyte et par la suite une réaction électrochimique se produit.

L'électrolyse se manifeste par la circulation d'un courant électrique dont l'intensité peut être mesurée.

1.5.2. HISTOIRE SUR L'ELECTROLYSE DE L'EAU :

C'est à William Nicholson, chimiste britannique du XVIII^e siècle, qu'est attribuée la paternité de l'électrolyse de l'eau, au tout début du XIX^e siècle.

Après avoir lu les travaux de Volta sur les batteries électriques, il en construisit une lui-même et découvrit qu'en immergeant les extrémités des conducteurs électriques dans l'eau, cette dernière était décomposée en hydrogène « H₂ » et oxygène « O₂ » moléculaires.

Avec cette découverte, Nicholson devint le premier homme dont l'histoire a conservé le nom, qui réussit à effectuer une réaction chimique à l'aide de l'électricité [32].



Figure 15 : William Nicholson [33]

1.6. CONCLUSION:

Dans notre étude, nous avons constaté que l'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie renouvelables hydrauliques, solaires ou éoliennes, ce qui en fait une source d'énergie propre et inépuisable qui pourrait pallier les problèmes des énergies fossiles qui tendent à disparaître.

Le principal avantage de ces différentes méthodes de synthèse est que l'hydrogène peut être produit n'importe où dans le monde, en fonction de la source d'énergie renouvelable «Énergie solaire " disponible.

Un électrolyseur est un appareil qui utilise l'énergie électrique pour réaliser des réactions chimiques. Dans le cadre de notre étude, les électrolyseurs utilisés réalisent l'électrolyse de l'eau pour produire de l'hydrogène. Il est donc évident que l'hydrogène présente des avantages considérables.

CHAPITRE II: L'ENERGIE
SOLAIRE

2. INTRODUCTION:

La lumière du soleil est la plus grande source d'énergie à atteindre la Terre mais, malgré cela, l'intensité de l'énergie qui atteint la surface de la Terre est relativement faible en raison de l'étalement radial du rayonnement solaire lorsqu'il se déplace depuis le soleil lointain. Une plus grande partie de la lumière solaire est perdue dans l'atmosphère terrestre et dans les nuages, qui diffusent jusqu'à 54 % de la lumière entrante.

Par conséquent, la lumière solaire qui atteint le sol est composée d'environ 50 % de lumière visible et de 45 % de rayonnement infrarouge, le reste étant constitué de petites quantités d'ultraviolets et d'autres types de rayonnement électromagnétique. Bien qu'une grande partie de l'énergie solaire soit perdue lors de son trajet jusqu'à la surface de la Terre, cette énergie équivaut tout de même à environ 200 000 fois la capacité totale quotidienne de production d'électricité dans le monde. L'exploitation de cette ressource renouvelable peut toutefois s'avérer difficile, la collecte, la conversion et le stockage étant encore très coûteux [34].

2.1. ENERGIE SOLAIRE:

2.1.1. ORIGINE DE L'ENERGIE SOLAIRE :

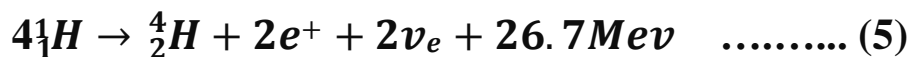
L'énergie solaire est produite par les réactions de fusion thermonucléaire d'hydrogène en hélium au sein du noyau du soleil, ce processus engendre un défaut de masse (Δm) qui se transforme en énergie (ΔE) selon la célèbre relation d'Einstein [35].

$$\Delta E = \Delta m * C^2 \dots\dots\dots (4)$$

AVEC :

C : Vitesse de la lumière dans le vide ($C = 2.9979210 * 10^8$ m / s)

Equation globale de cette fusion est donnée par :



Quatre protons fusionnent pour donner naissance à un noyau d'hélium avec émission de deux positrons e^+ de deux neutrons ν_e et accompagnés d'une énergie égale à 26,7 MeV.

2.1.2. TYHPE DE L'ENERGIE SOLAIRE:

L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques :

- **L'énergie thermique:**

La conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques c'est le solaire thermique, il est utilisé dans les chauffe-eau solaires et les planchers thermiques.

- **L'énergie photovoltaïque:**

La conversion directe du rayonnement lumineux en électricité par des capteurs (Cellule photovoltaïque) c'est le solaire photovoltaïque.

2.1.3. POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE:

Le potentiel solaire est la quantité totale d'irradiation d'énergie solaire reçue sur une surface de région donnée pendant du temps dans une localisation spécifique.

L'Algérie est l'un des pays qui dispose du plus grand gisement solaire Du bassin méditerranéen, où le rayonnement de la région près de la mer est influencé par les saisons

Les régions sahariennes reçoivent une quantité plus grande d'énergie mais sont caractérisées par une température de l'air plus élevée Figure 16. En tenant compte de cette diversité, le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays, La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) [36]. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de $1m^2$ est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire algérien, et Energie moyenne reçue en kWh/m²/an résume dans le **Tableau 5**:

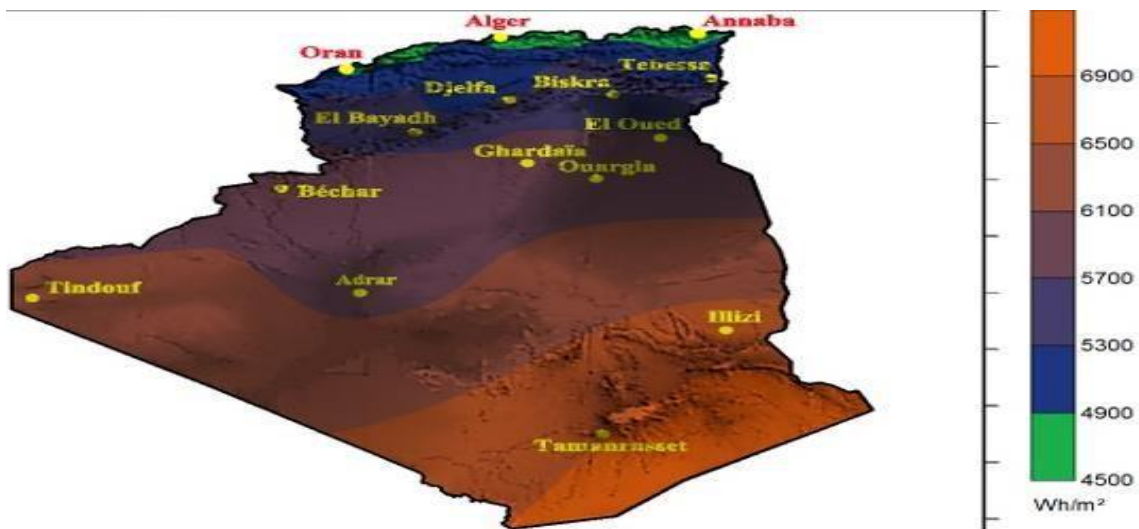


Figure 16 : la carte de l'irradiation solaire en Algérie [37]

Tableau 5 : potentiel solaire en Algérie [38]

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

2.1.4. SPECTRE SOLAIRE:

Le spectre solaire et la distribution spectrale en fonction de la longueur d'onde (λ) ou de la fréquence (n).

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde qui varie entre de 0,22 à $10 \mu m$.

La Figure 17 représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 6,4% dans la bande des ultraviolets ($0,20 < \mu < 0,38 \mu_m$)
- 48% dans la bande visible ($0,38 < \mu < 0,78 \mu_m$)
- 45,6% dans la bande des infrarouges ($0,78 < \mu < 10 \mu_m$) [39]

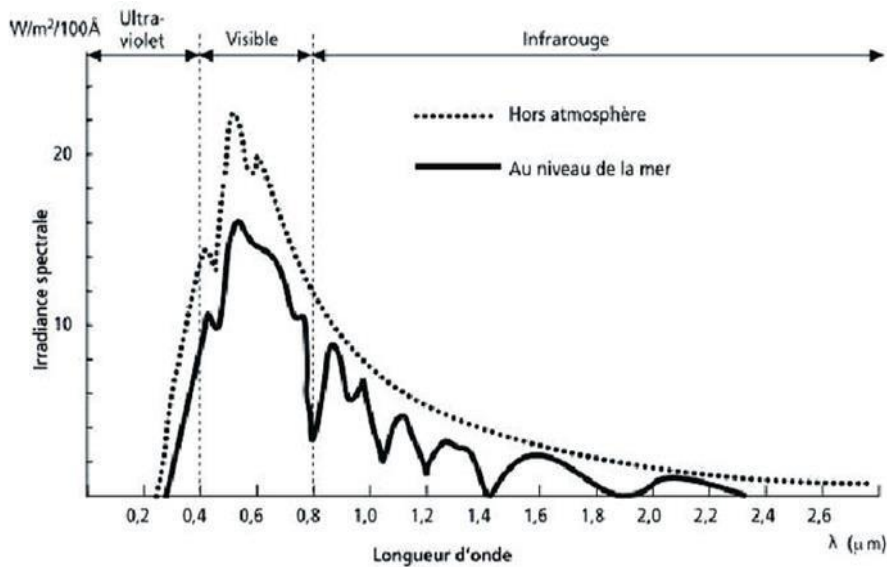


Figure 17 : Analyse spectrale du rayonnement solaire [40]

2.1.5. L'IRRADIATION SOLAIRE:

L'irradiation solaire est la puissance par unité de surface (densité de puissance de surface) reçue du soleil sous forme de rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde de l'instrument de mesure. Le rayonnement solaire est mesuré en watts par mètre carré (W/m^2).

Il existe trois types de rayonnement Figure 18 :

- **Le rayonnement direct (Dir)** : est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.
- **Le rayonnement diffus (Dif)** : est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules Solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- **Le rayonnement réfléchi (Réf)** : C'est la fraction du rayonnement incident diffusée ou réfléchi par le sol et les nuages. Ce terme étant généralement réservé au sol, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition, le corps noir possède un albedo nul.
- **Le rayonnement global (G)** : est la somme du rayonnement direct, diffus et réfléchi.

$$G = \text{Dir} + \text{Dif} + \text{Déf} \dots\dots\dots (6)$$

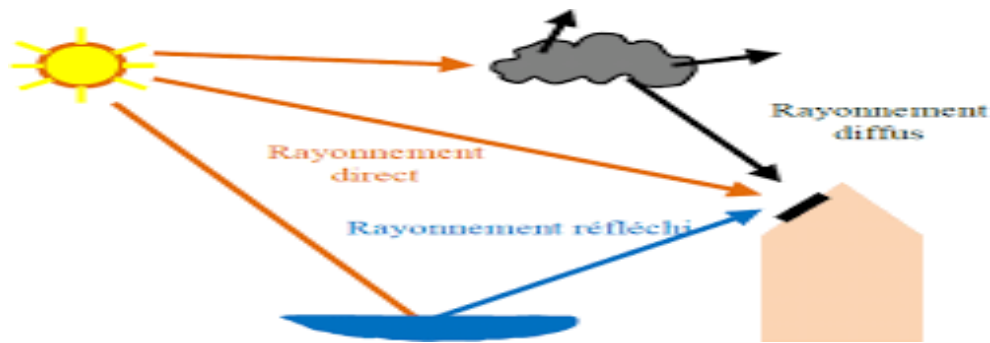


Figure 18 : L'irradiation solaire [41]

2.1.6. MOUVEMENT DE LA TERRE:

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est appelée orbite. La course de la terre autour du soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. Dans cette ronde annuelle autour du soleil ; la terre effectue une tour complet sue elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord-sud fait un angle 23.27° avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour de soleil [42].

La Terre tourne autour du Soleil à une distance moyenne (également connue sous le nom de : demi-grand axe) de 149598023 km, ce qui équivaut à 92955902 miles (soit une unité astronomique), et un parcours complet est achevé dans les 365,2564 jours suivant le soleil [42].

Cela fait que le soleil semble se déplacer dans le ciel depuis l'est à une moyenne d'un degré par jour. La rotation de la Terre autour du soleil, ou le mouvement de précession du soleil à travers deux points d'équinoxe, est la raison derrière la durée de 365,2 jours de l'année.

C'est aussi pour cette raison qu'un autre jour est ajouté au mois de février tous les quatre ans dans ce que l'on appelle l'année bissextile, de sorte que le mois de février devient 29 jours. De plus, la rotation de la Terre autour du soleil est sujette à une anomalie orbitale de 0,0167 degrés, ce qui signifie une approche périodique ou une distance par rapport au soleil à certaines périodes de l'année [43].

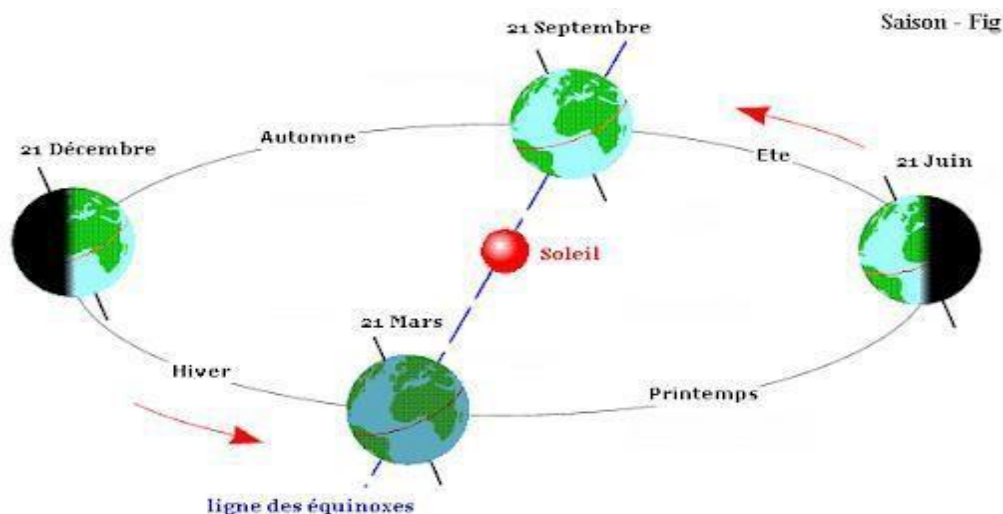


Figure 19 : Schéma des mouvements de la terre autour du Soleil [44]

2.1.7. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS :

2.1.7.1. LES AVANTAGES :

L'énergie solaire présente un certain nombre d'avantages intrinsèques :

- L'énergie solaire est une ressource énergétique entièrement renouvelable
 - L'énergie solaire n'entraîne aucun coût de combustible, ce qui permet d'économiser de l'argent.
 - Contrairement à d'autres sources d'énergie, telles que les combustibles fossiles, l'énergie solaire ne libère pas de gaz naturels nocifs ni de sous-produits dangereux.

2.1.7.2. LES INCONVENIENTS:

Malgré les avantages inhérents à l'énergie solaire, celle-ci présente également certains inconvénients :

- L'énergie solaire dépend des conditions météorologiques et du nombre d'heures d'ensoleillement. Cela signifie qu'elle est mieux adaptée à certaines régions du monde qu'à d'autres.
- Bien que les coûts diminuent, la technologie de l'énergie solaire, telle que les panneaux solaires, peut être coûteuse à installer.

2.2. L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE:

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des capteurs ou à des centrales solaires photovoltaïques.

C'est une énergie renouvelable, car le Soleil est considéré comme une source inépuisable à l'échelle du temps humain.

En fin de vie, un panneau photovoltaïque produit de 19 à 38 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage.



Figure 20 : Energie solaire photovoltaïque [45]

2.2.1. CELLULE SOLAIRE:

Une cellule solaire (également appelée cellule photovoltaïque ou cellule PV) est un dispositif électrique qui convertit l'énergie lumineuse en énergie Électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Une cellule solaire est Essentiellement une diode à jonction p-n. Les cellules solaires sont une forme de cellule photoélectrique, Définie comme un dispositif dont les caractéristiques électriques - telles que le courant, la tension ou la résistance - varient lorsqu'il est exposé à la lumière.

Les cellules solaires individuelles peuvent être combinées pour former des modules communément appelés panneaux solaires.

La cellule solaire au silicium à jonction unique courante peut produire une tension maximale en circuit ouvert d'environ 0,5 à 0,6 volt. En soi, ce n'est pas beaucoup, mais n'oubliez pas que ces cellules solaires sont minuscules. Lorsqu'elles sont combinées dans un grand panneau solaire, des quantités considérables d'énergie renouvelable peuvent être produites [46].

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques.

Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V.

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur).

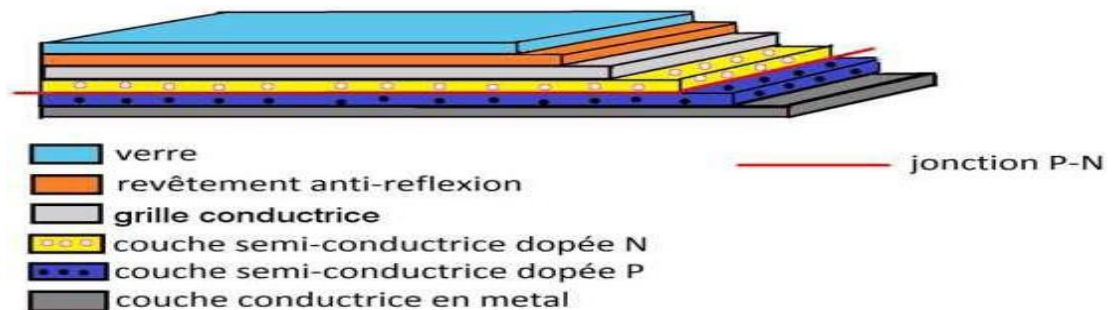


Figure 21 : Les Composent Cellule solaire [46]

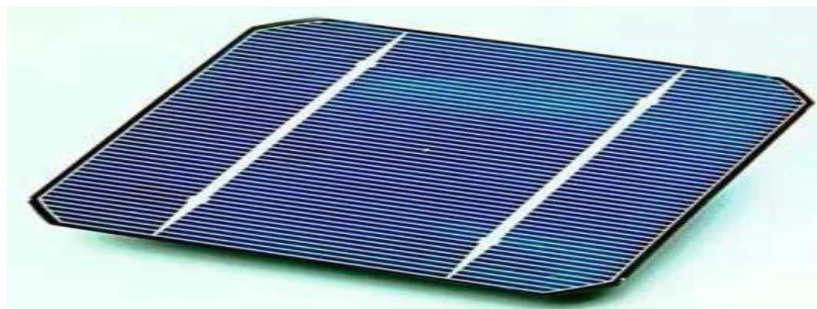


Figure 22 : Cellule Solaire [47]

2.2.1.1. LES TYPES DES CELLULES DES PANNEAUX SOLAIRES :

2.2.1.1.1. Silicium monocristallin :

A base de cristaux de silicium encapsulés dans une enveloppe plastique, les cellules en silicium monocristallin ont un très bon rendement mais elles sont chères à fabriquer.

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général bleue (une des trois couleurs primaires) uniforme.

➤ AVANTAGE:

- très bon rendement (environ 150 W c/m²)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)

➤ INCONVENIENT:

- Coût élevé
- Rendement faible sous un faible éclairement

2.2.1.1.2. CELLULES POLY-CRISTALLINS:

C'est un type d'une cellule cristalline et nommé aussi une cellule multi-cristalline. Les panneaux PV avec des cellules poly cristallines sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples.

Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes)

Est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. Elle représente près de 50% du marché. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure. Poly-cristalline, leur épaisseur est comprise entre [200-300 μ m].

➤ AVANTAGE :

- Bon rendement (environ 100 W c/m²)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Meilleur Marché que le monocristallin
- Moins chers à l'achat.

➤ INCONVENIENT :

- Rendement faible sous un faible éclairement.
- Durée de vie légèrement inférieure

2.2.1.1.3. CELLULES AMORPHE :

Le silicium amorphe est non cristallin et est produit par pulvérisation cathodique de silicium ou de décomposition du silane.

C'est aujourd'hui une des filières les plus économiques. La filière cherche encore aujourd'hui à réduire ses coûts en inventant des procédés de fabrication moins coûteux et en augmentant le rendement des cellules. Les modules à base de silicium en couches minces

Présentent également l'avantage de garder un bon niveau de production lorsque la luminosité est faible ou lorsque la température est élevée.

➤ **AVANTAGE:**

- Très peu de matière et d'énergies utilisées pour sa fabrication.
- Moins sensible à des températures externes élevées.

➤ **INCONVENIENT:**

- Taille des panneaux qui peut aller jusqu'à 2 fois un panneau monocristallin.
- In addition, chers à l'achat.

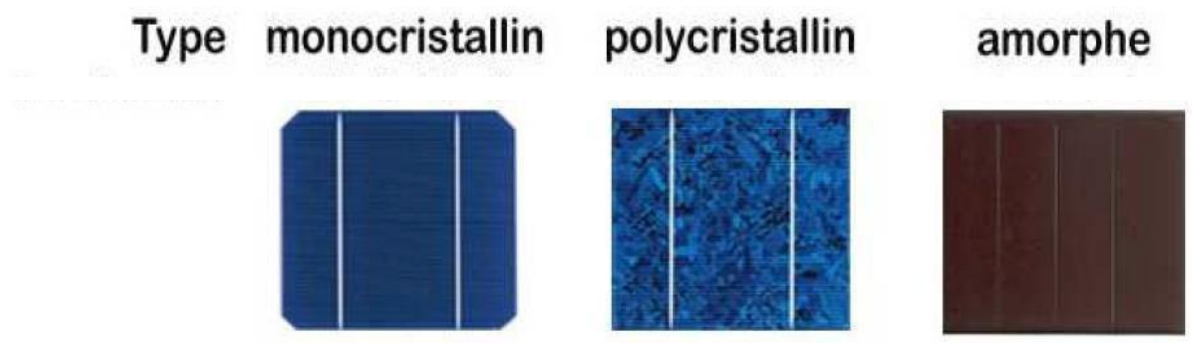


Figure 23 : Différent types des cellules solaires [48]

2.2.2. PANNEAUX SOLAIRES:

Les panneaux solaires sont le composant le plus important d'un système photovoltaïque. Ils sont constitués de plusieurs cellules photovoltaïques qui convertissent la lumière du soleil en courant électrique continu. Le courant continu est ensuite envoyé à un onduleur qui le convertit en courant alternatif qui peut être utilisé pour alimenter les maisons et les entreprises.

La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques.

Parfois, les panneaux sont aussi appelés modules photovoltaïques.

Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque.



Figure 24 : Panneau solaire [49]



Figure 25 : champ photovoltaïque [50]

2.2.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT:

Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement solaire et à celles des semi-conducteurs

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant : les « grains » de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant.

Les cellules produisent de l'électricité chaque jour même si le ciel est nuageux : dans ce cas, le rendement est simplement moins élevé. Les cellules sont assemblées sous forme de panneaux photovoltaïques, panneaux qui sont encastrés sur ou dans la toiture des habitations. La fabrication complexe demande une excellente maîtrise technique pour assurer dans la durée le meilleur rendement.

L'assemblage de ces cellules solaires reliées les unes aux autres forme un module solaire (panneau solaire ou panneau photovoltaïque)

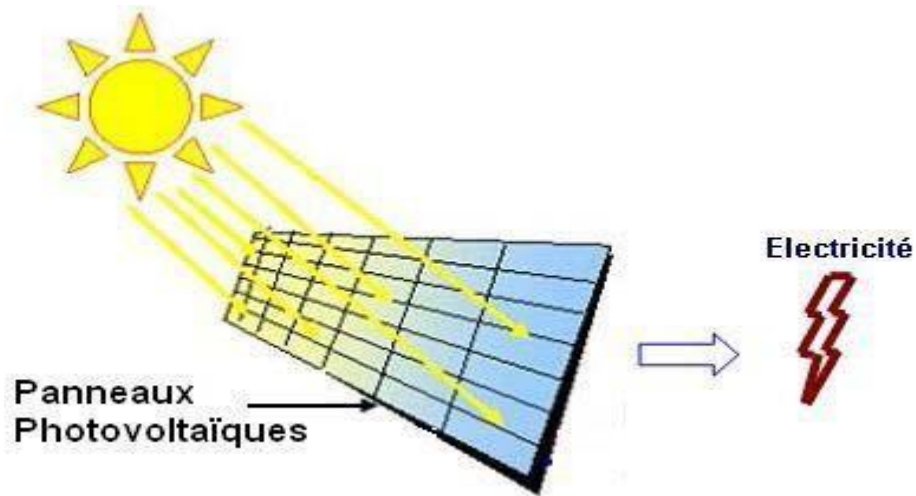


Figure 26 : Conversion de l'énergie solaire en électricité [51].

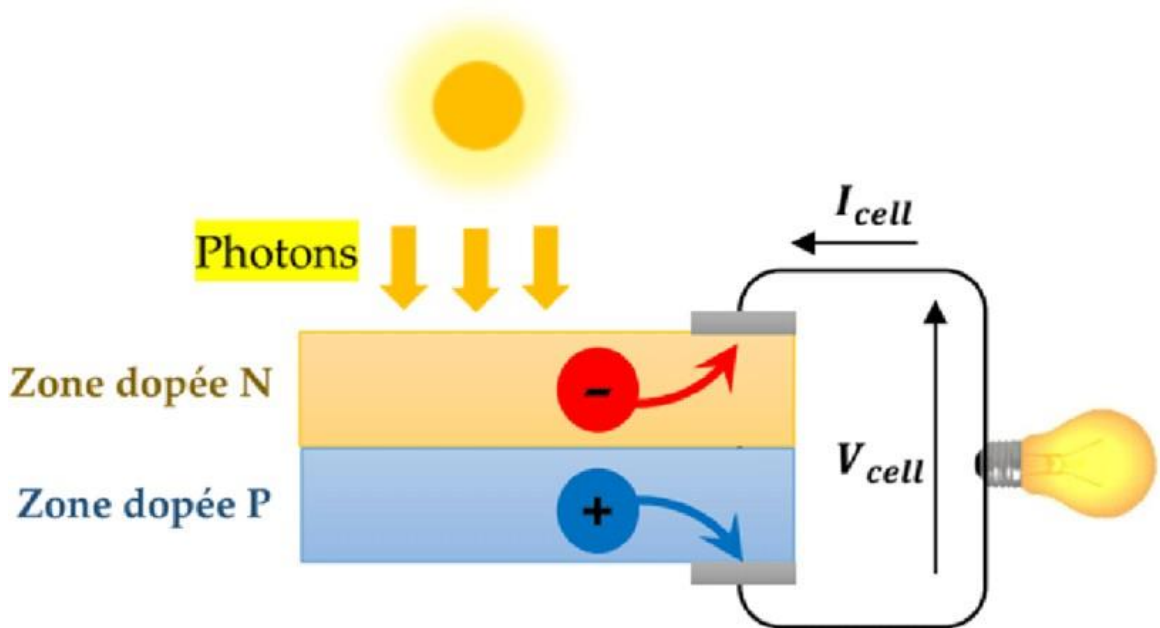


Figure 27 : Schéma de principe de la conversion [52]

2.2.4. RENDEMENT DE PANNEAU SOLAIRE:

Pour calculer la performance de panneaux solaires installation solaire, il faut calculer :

- Son inclination Son azimut
- Son orientation Son altitude

2.2.4.1. INCLINAISON:

La meilleure inclinaison du panneau solaire est un angle compris entre 15 et 45 Figure 28 degrés avec le sol, cet angle s'appelle l'angle d'inclinaison « α » Figure 29 qui permettent aux capteurs d'être perpendiculaires aux rayons du soleil. Car le soleil se déplace au fil des saisons et de la journée : le rayonnement perpendiculaire sur la surface fixe du panneau solaire ne peut être assuré chaque journée.

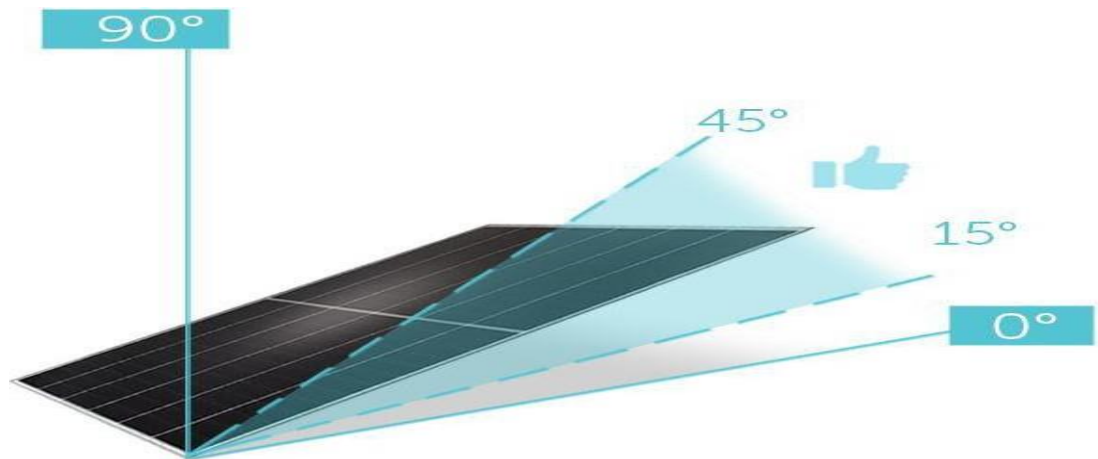


Figure 28 : Inclinaison Du Panneau solaire [53]

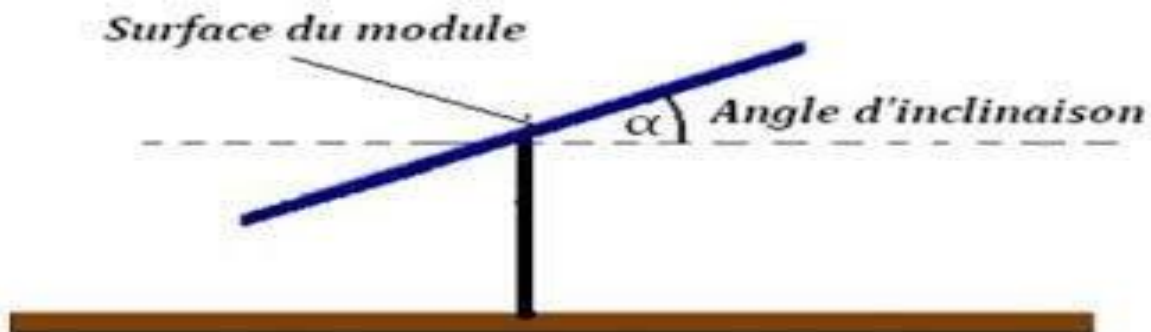


Figure 29 : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques [54]

Cet angle est déterminé par la formule suivante :

$$a = L - \sin^{-1} \times \left(0,4 \times \frac{(N \times 360)}{365} \right) \dots \dots \dots (7)$$

AVEC :

L : latitude du lieu

N: nombre de jour

2.2.4.2. ORIENTATION:

En théorie, il est conseillé d'orienter ses panneaux solaires au Sud (Sud-Est ou Sud-Ouest éventuellement).

Car le soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest, quel que soit l'hémisphère et la latitude. En revanche, le soleil est à son zénith au Sud dans l'hémisphère Nord. Une orientation du panneau solaire photovoltaïque au Sud permet de capter le maximum de lumière tout au long de la journée.

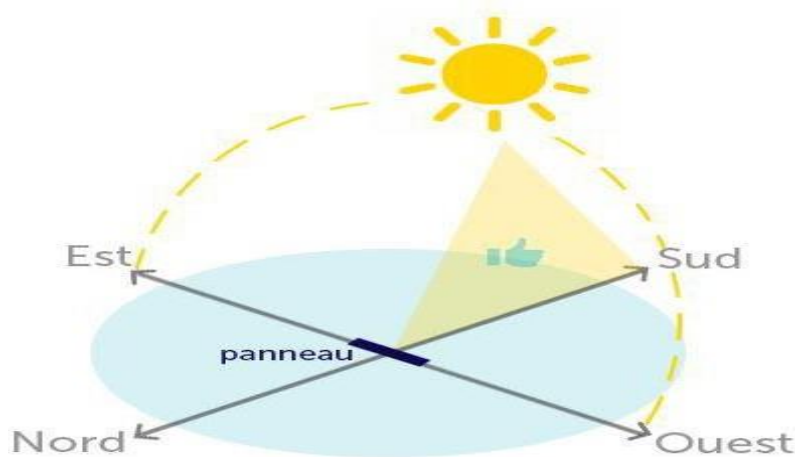


Figure 30 : Orientation De Peneaux [55]

2.2.4.3. L'AZIMUT:

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu Et le plan vertical passant le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale. Il est comté positif à l'Ouest (le matin) et négatif à l'Est (le soir).

L'azimut du soleil varie entre -180° et 180° .

On prend

- $z > 0$: vers l'ouest.
- $z < 0$: vers l'est.
- $z = 0$: direction du sud.[56]



Figure 31 : Azimut [57]

2.2.4.4. LA LATITUDE :

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur la terre(ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. C'est une mesure angulaire, elle varie entre la valeur 0° à l'équateur et $+90/-90^\circ$ aux pôles [57]

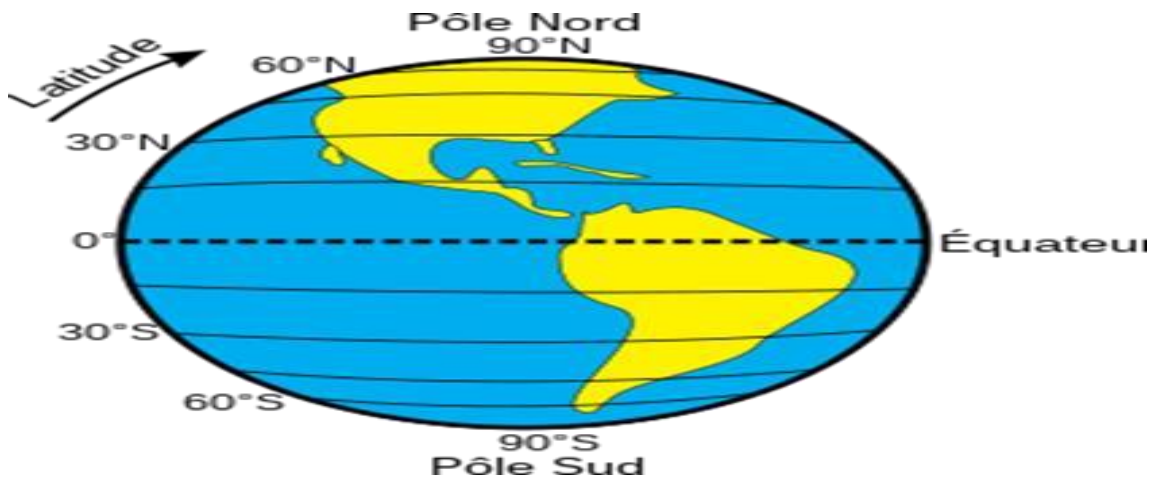


Figure 32: La latitude [58]

2.2.5. LES CARACTERISTIQUES DU PANNEAU :

(I_{sc}) Courant de court-circuit : l'intensité est mesurée directement aux bornes du module sans récepteur.

(I_{mp}) Courant nominal : l'intensité qui est débitée raccordé au récepteur.

(V_{oc}) Tension de circuit ouvert : la tension est mesurée directement aux bornes du module sans charge.

(V_{mp}) Tension nominale : la tension délivrée raccordé au récepteur.

(P_{max}) Puissance crête : la puissance crête est le produit de la tension nominale et le courant nominal.

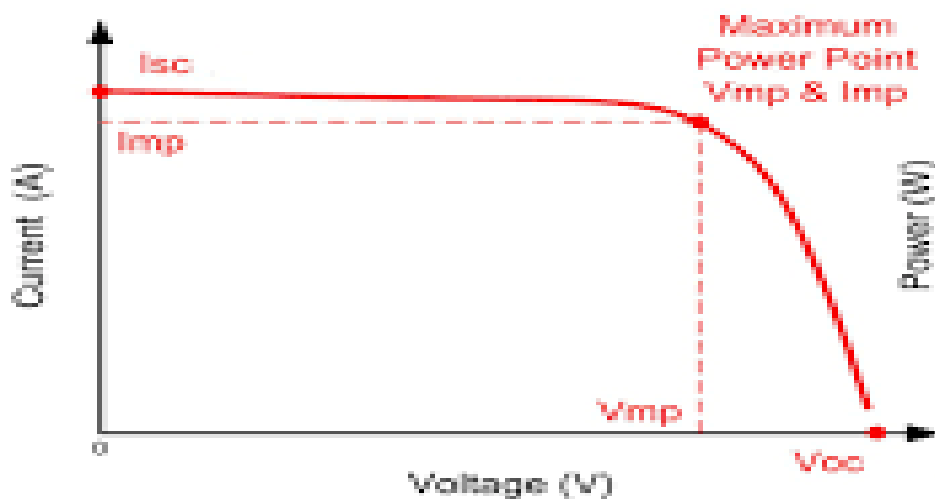


Figure 33 : Caractéristiques Du Panneaux [59]

2.2.6. LES AVANTAGES ELES INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE :

2.2.6.1. LES AVANTAGES :

- Pas de pollution associée.
- Elle doit durer longtemps.
- Pas de coût d'entretien.

2.2.6.2. LES INCONVENIENTS :

- Le coût d'installation est élevé.
- Son rendement est faible.
- Pendant les journées nuageuses, l'énergie ne peut pas être
- Produite et la nuit, nous ne recevons pas d'énergie solaire.

2.3. CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons étudié la technologie photovoltaïque, commençant par quelques notions sur le rayonnement solaire, et les différentes méthodes de conversion d'énergie, ensuite on a expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïque et ses différents types et ses caractéristiques.

Le système photovoltaïque possède plusieurs types de configuration selon l'utilisation et Selon le mode de stockage.

CHAPITRE III : HYDROGENE
VERT ET ELECTROLYDE DE
L'EAU

3. INTRODUCTION:

Dans ce chapitre, nous présentons l'étude d'un système de production d'hydrogène vert par le couplage direct entre le générateur photovoltaïque et l'électrolyseur alcaline.

Pour ce fait, on a modélisé le générateur photovoltaïque et l'électrolyseur.

3.1. L'ELECTROLYSE:

3.1.1. DEFINITION :

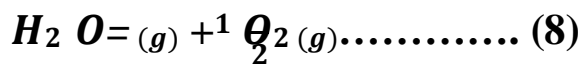
L'électrolyse de l'eau est une réaction électrochimique de décomposition de l'eau en hydrogène et en oxygène. Elle est rendue possible par le passage d'un courant continu à travers deux électrodes immergées. L'électrolyse est le phénomène inverse du phénomène de la pile.

Il s'agit d'un phénomène non spontané, forcé. Il faut, grâce à un apport d'énergie électrique extérieure, forcer la réaction chimique non spontanée.

Lors d'un phénomène d'électrolyse, de l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. C'est une réaction qui fait intervenir des électrons.

3.1.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT:

Lorsqu'une molécule d'eau passe par un processus électrochimique, les molécules d'eau se divisent en gaz d'hydrogène et d'oxygène ce processus est appelé électrolyse de l'eau. L'électricité est utilisée pour diviser l'hydrogène et l'oxygène en leur phase gazeuse. Cette technologie produit de l'énergie propre sans émission de pollution en utilisant l'électricité. L'équation de base de l'électrolyse de l'eau s'écrit comme suit [60] :



La solution se divise en ions positifs et négatifs et ces ions conduisent facilement l'électricité dans une solution d'eau en passant d'une électrode à l'autre.

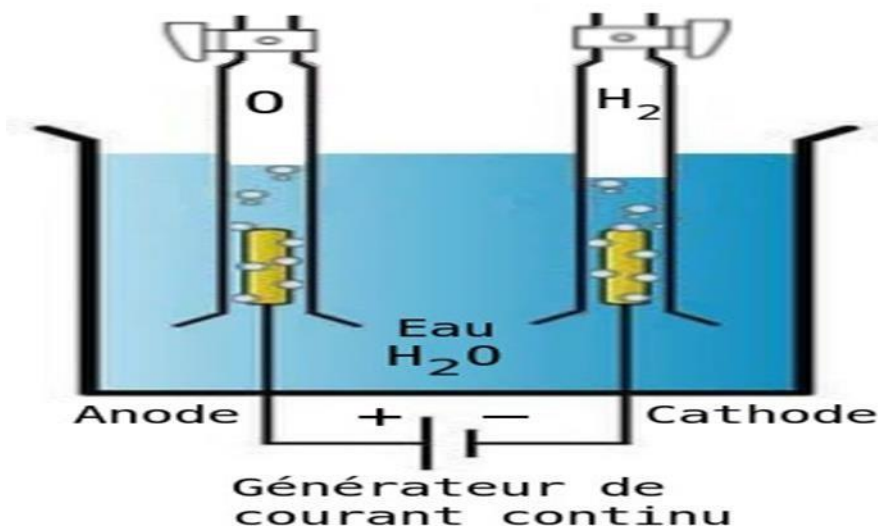
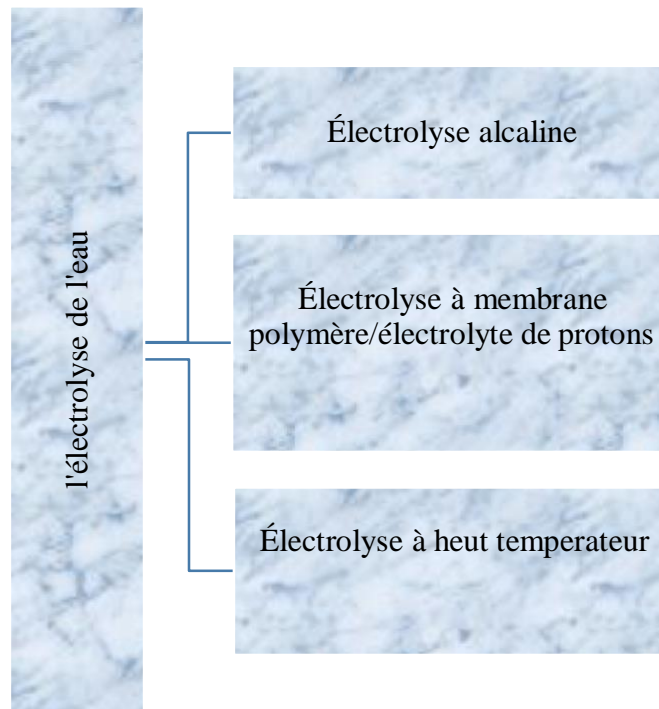


Figure 34 : la réaction de H₂O [61]

3.1.3. CLASSIFICATION DES TECHNOLOGIES D'ELECTROLYSE DE L'EAU :



3.1.3.1. ELECTROLYSE ALCALINE :

La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau alcaline est l'une des méthodes les plus respectueuses de l'environnement, sans émission de dioxyde de carbone, si ce processus est combiné avec des sources d'énergie renouvelables (comme l'électricité d'origine solaire ou éolienne, etc.).

L'électrolyse de l'eau alcaline est une technologie ancienne, mais c'est l'une des méthodes les plus faciles, les plus simples et les plus adaptées à la production d'hydrogène.

L'électrolyseur alcalin décompose l'eau et produit de H_2 et de O_2 .

L'électrolyte est une solution aqueuse contenant du NaOH ou du KOH avec les températures de fonctionnement sont comprises entre 343 et 363 K et la pression de fonctionnement peut atteindre 3MPa [62].

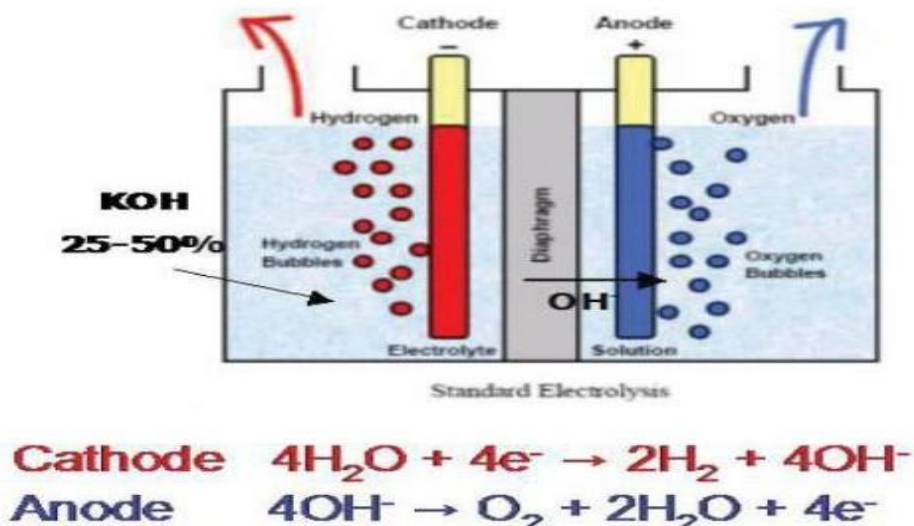


Figure 35 : L'électrolyse Alcaline [63]

3.1.3.1.1. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS :

➤ LES AVANTAGE :

- Technologie la plus ancienne et la mieux établie
- Durabilité à long terme
- Cette technologie est commercialisée et fonctionne avec des rendements de près de 70%.

➤ LES INCONVENIENTES:

- L'électrolyte est liquide et conduit à la corrosion
- Faible densité de courant
- Consommation d'énergie élevée

3.1.3.2. L'ELECTROLYSE A MEMBRANE POLYMERE/ELECTROLYTE DE PROTONS :

L'électrolyse de l'eau à membrane échangeuse de protons est basée sur l'utilisation d'une membrane polymère échangeuse de protons comme électrolyte solide.

Les électrolyseurs PEM se caractérisent par leur construction très simple et leur compacité.

Lors du fonctionnement en électrolyse, l'eau se décompose L'anode en protons et en oxygène moléculaire l'oxygène est évacué par la circulation de l'eau, et les protons migrent vers la cathode sous l'effet du champ électrique ils y sont réduits en hydrogène moléculaire.

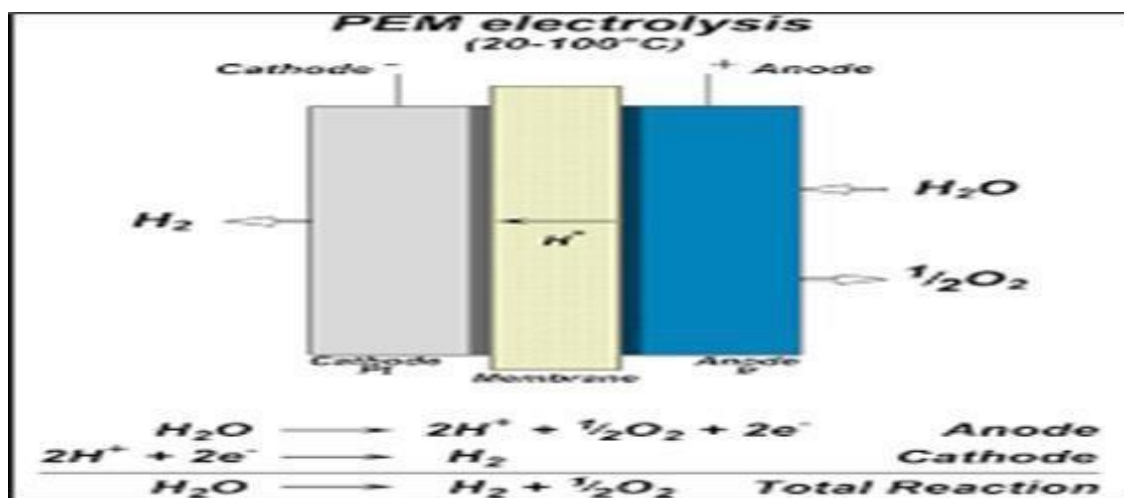


Figure 36: L'électrolyse PEM [64]

3.1.3.2.1. LES AVANTES ET LES INCONVENIENTS :

➤ LES AVANTAGES :

- Haute pureté de l'hydrogène gazeux
- Faible consommation d'énergie
- Propreté écologique
- Manipulation et entretien faciles

➤ LES INCONVENIENTES:

- Le coût des composants est élevé
- Durée de vie relativement faible
- Nouveau et partiellement établi et la commercialisation est Dans un futur proche.

3.1.3.3. ELECTROLYSE A HAUT TEMPERATURE :

L'un des principaux problèmes des électrolyseurs conventionnels est leur consommation élevée d'électricité.

L'électrolyse à vapeur est une technologie qui permet d'atteindre un rendement énergétique total plus élevé que les membranes alcalines et les membranes d'échange de protons.

À haute température, la vapeur d'eau est réduite en H_2

La conductivité ionique de l'électrolyte et la vitesse des réactions électrochimiques à la surface des électrodes augmentent à haute température.

Nous pouvons obtenir des températures élevées à partir de la chaleur résiduelle de processus tels que l'origine nucléaire, solaire, géothermique, fossile.

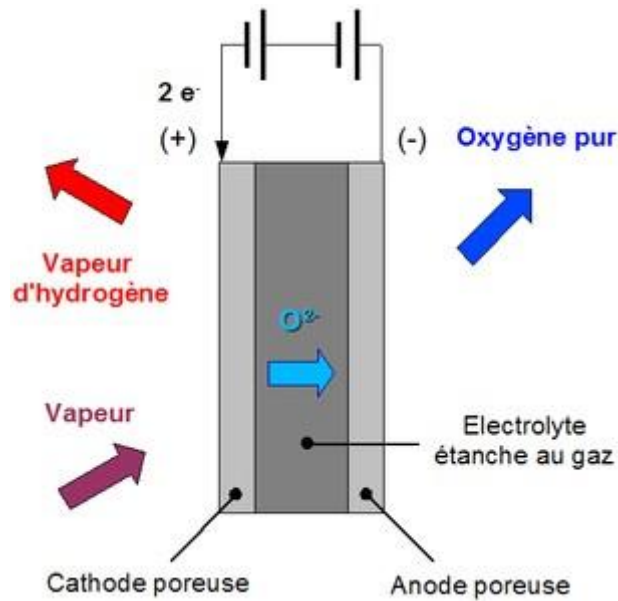


Figure 37 : Schéma D'électrolyse à Haute Température [65]

3.1.3.3.1. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS :

➤ **LES AVANTAGES :**

- Fonctionnement à haute pression
- Rendement élevé (presque 100 %)
- Nous pouvons obtenir des températures élevées grâce à l'énergie solaire qui est une source renouvelable.

➤ **LES INCONVENIENTS :**

- Cette technologie n'en est encore qu'au stade du laboratoire
- Faible durabilité en raison de la chaleur élevée

3.1.3.4. REACTIONS CHIMIQUES POUR DIFFERENTS TYPES DE L'ELECTROLYSE DE L'EAU :

Tableau 6 : Réactions chimiques pour différents types de d'électrolyse de l'eau[66]

Technologie de l'électrolyse	Électrolyse alcaline	Électrolyse à membrane	Électrolyse à haute température
Réaction à l'anode	$2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e^-$	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^-$	$\text{O}^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2e^-$
Réaction à la cathode	$\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$
Porteur de charge	OH^-	H^+	O^{2-}
Température de fonctionnement	40-90°C	20-100°C	700-1000°C

3.2. HYDROGENE VERT :

3.2.1. DEFINITION :

Gaz incolore et inodore, l'hydrogène a le potentiel d'être une source d'énergie propre pour la production d'électricité et les transports.

Le processus de l'hydrogène vert utilise des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et L'énergie hydroélectrique pour produire de l'hydrogène par électrolyse [67].

3.2.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Il est basé sur la conversion de l'énergie lumineuse en électricité au sein d'une cellule comportant deux électrodes, immergées dans un électrolyte aqueux, dont l'une au moins est constituée d'un semi-conducteur exposé à la lumière et capable d'absorber la lumière.

Cette électricité est ensuite utilisée pour l'électrolyse de l'eau.

Il existe trois options pour la disposition de la photo électrodes dans l'assemblage d'une cellule photo électrochimique :

- Photo-anode en semi-conducteur de type n et cathode en métal
- Photo-anode composée d'un semi-conducteur de type n et photocathode composée d'un semi-conducteur de type p
- Photocathode en semi-conducteur de type p et anode en métal.

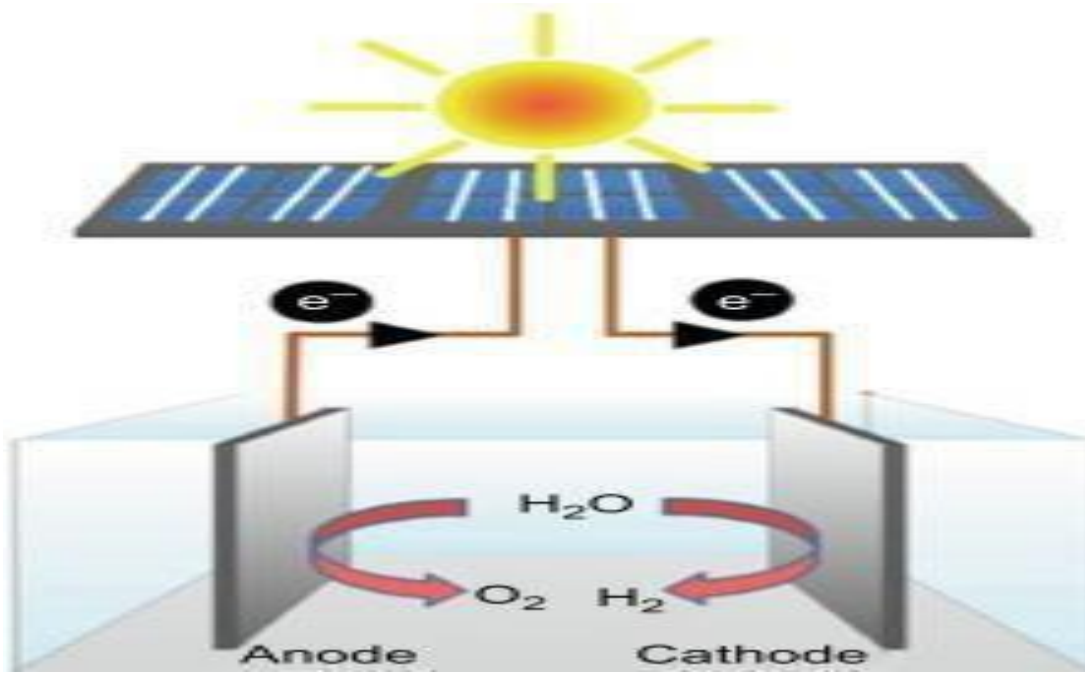


Figure 38 : La Production D'Hydrogène Vert [68]

3.2.3. MECANISME DE REACTION :

La photo-électrolyse de l'eau à l'aide de l'énergie solaire implique plusieurs processus au sein de la photo électrodes et à l'interface électrode/électrolyte, notamment :

Ionisation photo-induite intrinsèque du matériau semi-conducteur, entraînant la formation de porteurs de charge électroniques.

AVEC:

$$2hP \rightarrow 2e^- + 2h^+ \dots\dots\dots (9).$$

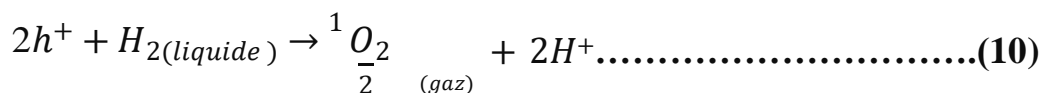
h Est la constante de Planck (6.626*10⁻³⁴J/s)

P Est la fréquence

e⁻ Est l'électron

h⁺ Est le photon

Oxydation de l'eau à la photo-anode par des photons



Transport des ions H⁺ de l'anode à la cathode à travers l'électrolyte et transport des électrons de l'anode à la cathode à travers le circuit externe.

- Réduction des ions hydrogène à la cathode par des électrons.



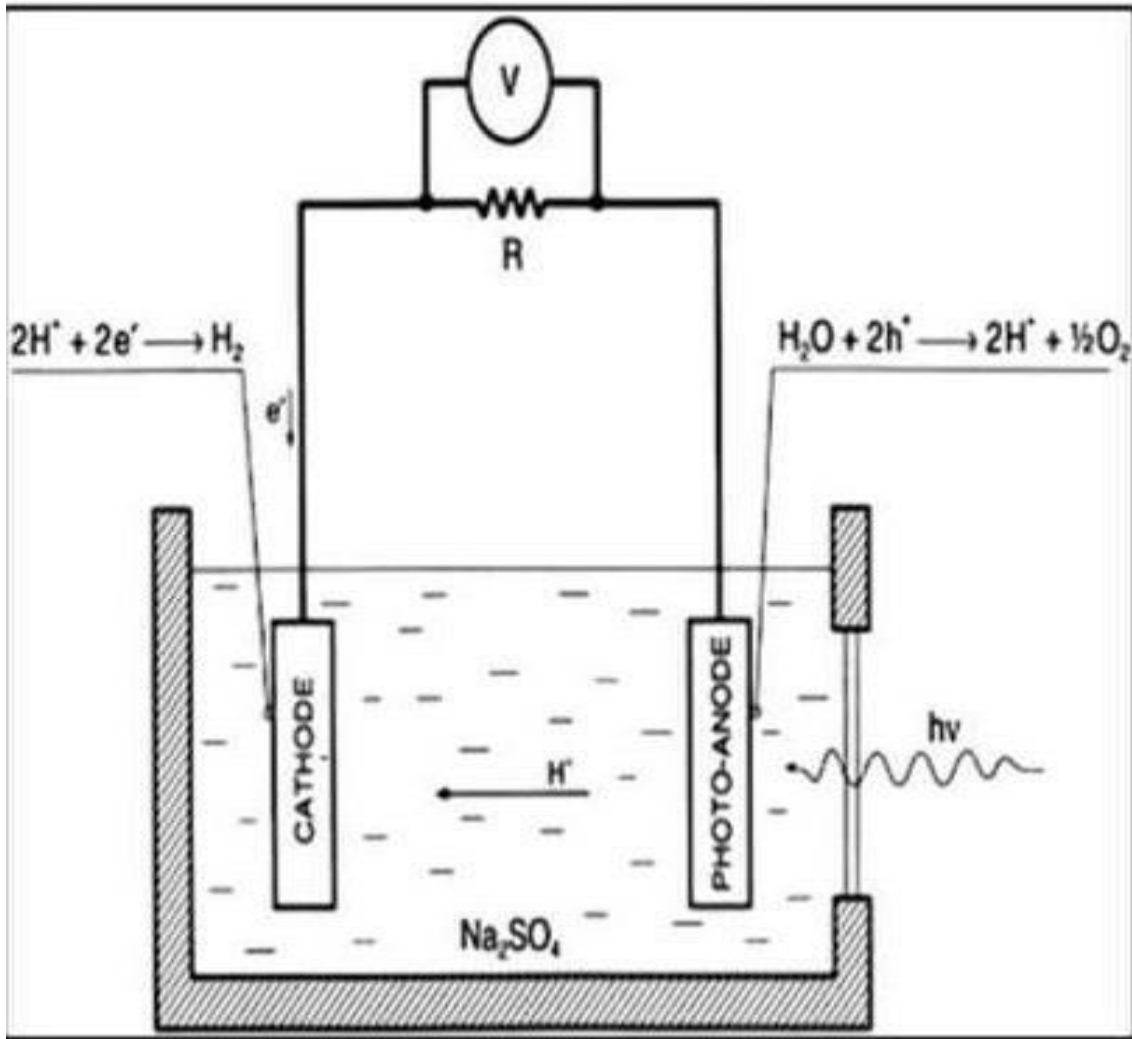


Figure 39: Mécanisme de réaction d'hydrogène vert[69]

3.2.4. EFFICACITE DE CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE :

Rendement global d'une unité photo-électrochimique, appelé rendement de conversion solaire , peut être défini selon la formule suivante [70]:

$$\eta_c = \frac{\Delta G^0_{H_2O} R_{H_2} - V I}{I_r A} \dots\dots\dots(12)$$

- $\Delta G^0_{H_2O}$:est la formation d'énergie libre de Gibbs pour 1 mol de liquide $H_2O=237.141(kJ/mol)$
- R_{H_2} : est le taux de génération d'hydrogène (mol/s)
- V : est la tension de polarisation appliquée à la cellule (V)
- I : est le courant dans la cellule (A)
- I_r : est l'incidence de l'irradiante solaire, qui dépend de l'emplacement géographique, de l'heure et des conditions météorologiques (W/m^2)
- A : est la zone irradiée m^2 .

3.2.5. LES AVANTAGES DE L'HYDROGENE VERT :

L'hydrogène vert présente plusieurs avantages par rapport aux combustibles fossiles traditionnels. Tout d'abord :

Il ne produit aucune émission, ce qui signifie qu'il ne contribue pas au changement climatique ou à la pollution de l'air.

Deuxièmement, il s'agit d'une ressource renouvelable qui peut être produite en utilisant uniquement de l'eau et de l'électricité renouvelable.

Enfin, Il peut être utilisé dans un large éventail d'applications, de la propulsion des véhicules à la production d'électricité pour les particuliers et les entreprises. En outre, les piles à hydrogène ont une densité énergétique plus élevée que les batteries, ce qui signifie qu'elles peuvent stocker plus d'énergie dans un espace plus réduit, ce qui les rend idéales pour les transports.

En outre, l'hydrogène vert peut être facilement stocké et transporté.

3.2.6. LES INCONVEION DE L'HYDROGENE VERT :

Malgré ses nombreux avantages, l'hydrogène vert doit encore relever plusieurs défis avant de devenir une source d'énergie courante.

L'un des principaux défis est Cela que les sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie éolienne et solaire peuvent être intermittentes, ce qui rend difficile le maintien d'un approvisionnement constant en électricité pour la production d'hydrogène.

le coût de production élevé, qui est actuellement beaucoup plus élevé que celui des combustibles fossiles traditionnels.

Un autre défi est le manque d'infrastructures pour le stockage, le transport et la distribution de l'hydrogène vert. Cela nécessitera des investissements importants dans de nouvelles technologies et infrastructures pour créer une économie de l'hydrogène vert viable.

3.2.7. APPLICATIONS DE L'HYDROGENE VERT:

L'hydrogène vert a un large éventail d'applications dans de nombreuses industries. L'une des applications les plus prometteuses se trouve dans le secteur des transports, où il peut être utilisé pour alimenter les voitures, les bus, les trains et même les avions.

Il peut également être utilisé pour alimenter des véhicules lourds tels que des camions et des navires.

Outre les transports, l'hydrogène vert peut également être utilisé dans le secteur industriel pour alimenter les processus de fabrication et fournir de la chaleur et de l'électricité aux bâtiments. Il peut également être utilisé dans le secteur agricole pour alimenter les équipements agricoles et fournir de l'électricité aux fermes et aux communautés isolées.

3.2.8. LE STOCKAGE DE L'HYDROGENE :

L'hydrogène est un produit très volatil et inflammable, ce qui explique les difficultés rencontrées pour son stockage.

En effet, il doit offrir un haut degré de sécurité d'une part et d'autre part, présenter des facilités d'usage en terme de densité d'énergie et de dynamique de stockage/déstockage pour permettre aux différentes applications de fonctionner dans des Conditions techniques acceptables.

Aujourd'hui, il existe principalement trois modes de stockage. Ces différentes modes présentent chacun leurs avantages et leurs inconvénients selon des critères économiques, énergétiques, de capacité massique et volumique, de sécurité de stockage/déstockage.

L'hydrogène peut être stocké sous forme :

3.2.8.1. STOCKAGE PAR COMPRESSION :

Le stockage par compression est le procédé par lequel le gaz est conservé, pressurisé dans des réservoirs plus ou moins robustes.

Ce procédé est plus aisé à mettre en œuvre que le stockage par liquéfaction, toutefois la densité de l'hydrogène obtenue reste très inférieure de celle de l'hydrogène liquide. Ainsi, à une pression de 1 bar, la masse volumique de l'hydrogène liquide à 20 K est de 71.1 kg/m³ ; pour l'hydrogène à 293 K, elle est de 0.0827 kg/m³ à 1 bar, de 14.49 kg/m³ à 200 bars et 23.66 kg/m³ à 350 bars. Par conséquent, pour avoir une énergie disponible par m³ importante, il est nécessaire d'augmenter les pressions de stockage et par conséquent le travail de compression.

Cependant, des pressions de Stockages élevés entraînent davantage de contraintes appliquées au réservoir.

Incidentement, la résistance du réservoir implique une augmentation de son poids à vide, ce qui limite le poids supplémentaire d'hydrogène à stocker [71].

3.2.8.2. STOCKAGE LIQUIDE :

La liquéfaction utilise l'importante variation de densité entre les états gazeux et liquide (à température adéquate pour une pression du liquide proche de la pression atmosphérique). La capacité volumique est certes importante mais la très faible la température reste le problème majeur de cette technique.

De plus, l'énergie de liquéfaction est élevée. Les avantages de ce mode de stockage de l'hydrogène sont :

Le réservoir nécessite moins de place qu'un réservoir sous pression.

Le remplissage est une technique maîtrisée avec des stations de services spécialisés décédé.

3.2.8.3. STOCKAGE SOLIDE :

Le stockage d'hydrogène sous forme solide est plus sécuritaire que les méthodes conventionnelles de stockage par compression ou par liquéfaction. Il se fait, généralement sous des pressions de l'ordre de 5 bars, valeur beaucoup plus faible que celle du gaz comprimé et à des températures ambiantes tout en atteignant des densités comparables à celles de l'hydrogène liquide.

Il existe deux procédés d'incorporation de l'hydrogène dans les solides : l'adsorption physique et l'absorption chimique.

L'adsorption physique du gaz d'hydrogène par un solide, ou physisorption, met en jeu des liaisons de type de Van der Waals entre l'hydrogène et le matériau. Elle correspond à l'augmentation de la densité de ce gaz à la Surface du solide par effet des forces intermoléculaires. Cette adsorption augmente avec la pression de gaz et est d'autant plus important que la température est plus basse.

L'adsorption de l'hydrogène se fait généralement sur des surfaces solides nanostructures telles que les nano fibres et les nanotubes de carbone. Étant purement physique, elle est entièrement réversible. Elle diminue lorsque l'on baisse la pression et / ou quand la température augmente. L'absorption chimique, ou chimisorption, est une combinaison chimique réversible de l'hydrogène avec le solide.

Il y a création d'une liaison métallique entre les atomes de l'hydrogène et le matériau .L'hydrogène moléculaire s'absorbe en effet dans une grande variété de métaux et alliages métalliques. Les composés solides ainsi formés sont les hydrures métalliques [72].



Figure 40 : les types de stockages d'hydrogène [73]

3.3. CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté les modèles décrivant le comportement du module photovoltaïque et l'électrolyseur, ensuite nous nous intéressons au système constitué de ces deux éléments nous déterminerons l'équation de fonctionnement, et la production de hydrogène vert.

L'électrolyse de l'eau reste la meilleure façon de produire de l'hydrogène sans polluer. Néanmoins lorsque des combustibles fossiles sont utilisés comme source principale d'électricité, le problème de la pollution de l'environnement demeure non résolu.

Donc, l'électricité fournie à partir de sources d'énergie renouvelables est essentielle pour la production d'hydrogène exempt des gaz carbonique.

Cependant l'électrolyse alcaline possède de nombreux avantages par rapport à l'électrolyse à basse température, d'un point de vue énergétique, l'énergie totale à fournir est moindre grâce à la Haute température qui améliore l'efficacité de la réaction, par rapport à celle demandée pour l'électrolyse classique

CHAPITRE IV :
REALISATION ET RESULTATS

4. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on a conçu et réaliser un prototype de production (PV-Thermique) composée d'une électrolyse d'eau de mer alimenter par deux panneaux PV-thermique (hybride). C'est une nouvelle technologie pour la production d'hydrogène vert à partir des sources naturelle.

On présente aussi l'influence de plusieurs paramètres : la température de l'eau, température de panneau, la tension, le courant et l'éclairement, sur la production d'hydrogène vert.

4.1. LES MATERIELS UTILISER :

4.1.1. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE :

Capteur solaire photovoltaïque : aussi appelé panneau solaire photovoltaïque, convertit le rayonnement solaire en électricité par effet photovoltaïque.

Dans notre expérience on a utilisé deux types de panneaux solaires :

a. Solar pro Monocristalline (50W) :



Figure 41 : deux panneaux en parallèle (solar pro)

Les caractéristiques de deux panneaux solaires (solar pro) de 50 Wc

Tableau 8 : Les caractéristiques de panneau (solar pro)

Puissance nominale	50w
Courant à la puissance maximale [$I_{mp.}$]	2,70A
Tension a la puissance maximale [$V_{mp.}$]	18,24V
Courant de court-circuit [I_{cc}]	2,97A
Tension de circuit ouvert [V_{co}]	21,8V

Pour le premier montage solaire on a donc :

Puissance crête = tension x courantes

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp}$$

$$18,24 \times 2,70 = 50W_c$$

Après le raccordement les deux panneaux en parallèle

$$P_t = 2 \cdot P_{max} = 100W_c$$

$$V_t = 18,24V$$

$$I_t = I_1 + I_2 = 5,4 A$$

b. LAGUA Solar de type poly cristalline :



Figure 42 : Panneau LAGUA Solar

Les caractéristiques de panneau solaire(LAQUA) de 80 w

Tableau 9 : Les caractéristiques électriques d'un panneau solaire photovoltaïque

Puissance nominale	80w
Courant à la puissance maximale []	4,44A
Tension a la puissance maximale [V_{mp}]	18,0V
Courant de court-circuit [I_{CC}]	4,80A
Tension de circuit ouvert [V_{CO}]	22,32V

Pour le deuxième montage on a donc :

Puissance crête = tension x courant

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp}$$

$$18 \times 4,44 = 80W_c$$

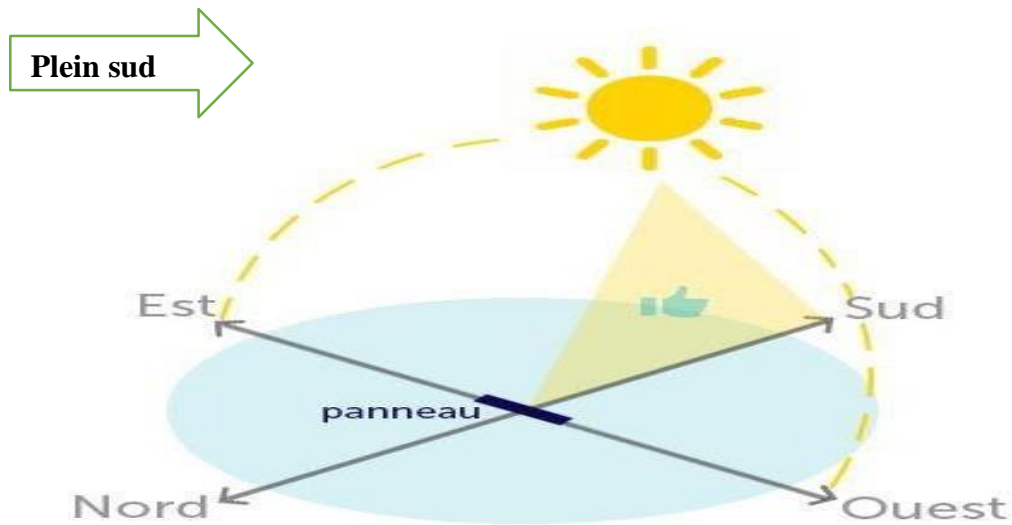
Après de raccordement deux panneaux en parallèle on a calculé :

$$P_t = 2 \cdot P_{max} = 160W$$

$$V_t = 18V$$

$$I_t = I_1 + I_2 = 8,8 A$$

4.1.2. ORIENTATION ET INCLINAISON DE SYSTEME PV :



La latitude de la ville Tlemcen c'est $34,27^\circ$ donc on a utilisé un support métallique incliné de 34° pour avoir le maximum de rayonnement solaire sur les panneaux.

4.1.3. LES CABLES :

Câbles solaires DC : Ces câbles sont disponibles en rouge et en noir, le rouge pour le pôle positif et le noir pour le pôle négatif, et sont section 4mm Figure 43

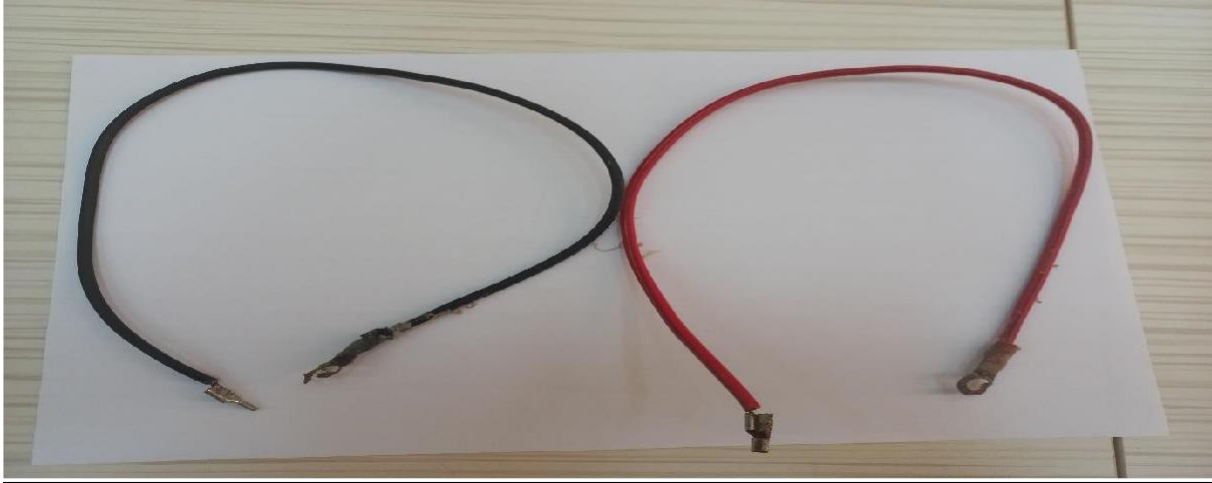


Figure 43 : Câbles solaires DC

Connecteurs PV : Câble solaire MC4 Répartiteur en Y représentant le mâle et la femelle utilisés dans cette expérience pour assembler le panneau solaire.



Figure 44 : câble solaire MC4 2en 1

4.1.4 : LES APPEREIL DE MESURE

4.1.4.1. LE MULTIMETRE :

Le multimètre, souvent appelé voltmètre, est un outil utilisé pour mesurer la tension, le courant et la résistance, la température. Placez les fiches des fils dans les borniers appropriés : le fil noir sur COM et le fil rouge sur $V\Omega$. Sélectionnez AC volt VAC ou DC volt VDC selon le cas.

Une mesure de tension avec le cordon réglé sur mA ou 10A peut détruire le fusible de l'appareil.

Placer les pointes de test en parallèle avec les bornes de l'appareil à mesurer.



Figure 45 : le multimètre

4.1.4.2. LUXMETRE :

Un luxmètre est un capteur permettant de mesurer l'éclairement dans le spectre visible. La mesure est absolue et non relative. L'unité de mesure est le lux, on a :

(La valeur mesure en lux *0.0079) = Résultat W/m^2 (14)



Figure 46 : luxmètre

4.1.4.3. SONDE DE TEMPERATURE THERMOCOUPLE :

Un thermocouple est un capteur servant à mesurer la température. Il se compose de deux métaux de natures différentes reliés à une extrémité. Quand la jonction des métaux est chauffée ou réfrigérée, une tension variable est produite, qui peut être ensuite transcrite en température.

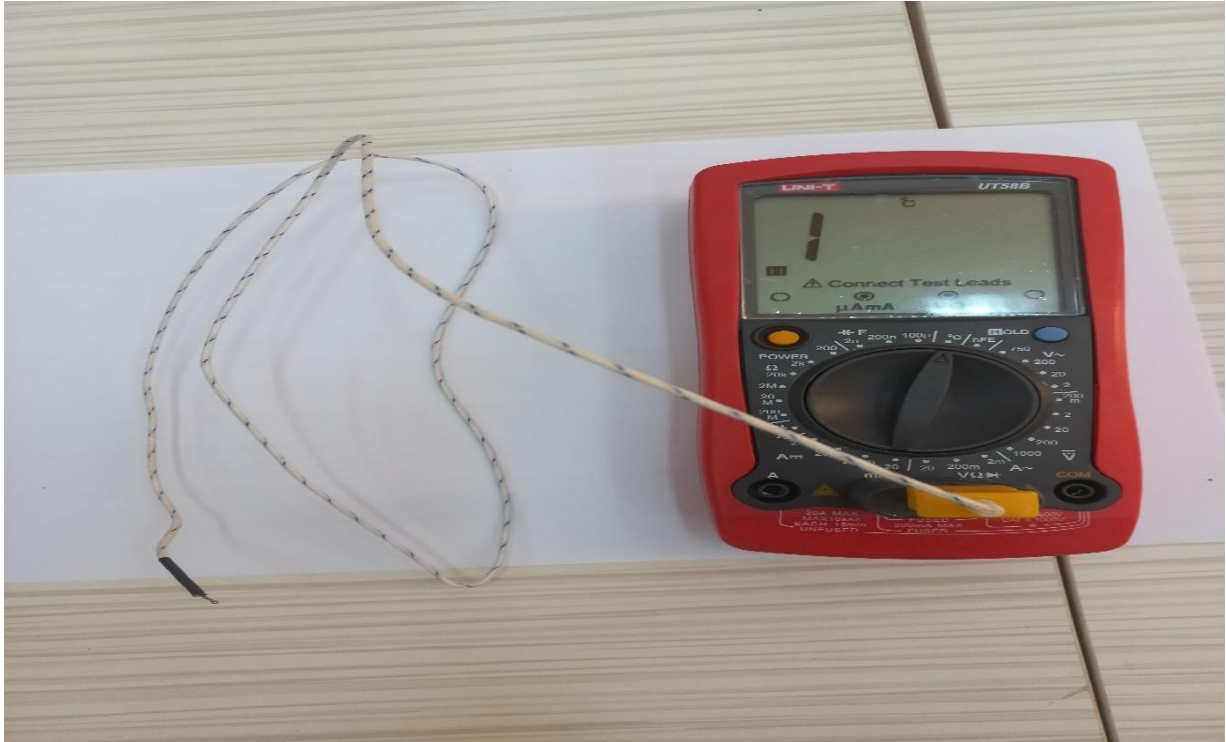


Figure 47 : SONDE DE TEMPERATURE

4.1.4.4. CHRONOMETRE :

Désigne un instrument de mesure du temps. Nous l'utilisons pour calculer le temps de remplissage du tube avec de l'hydrogène gazeux.

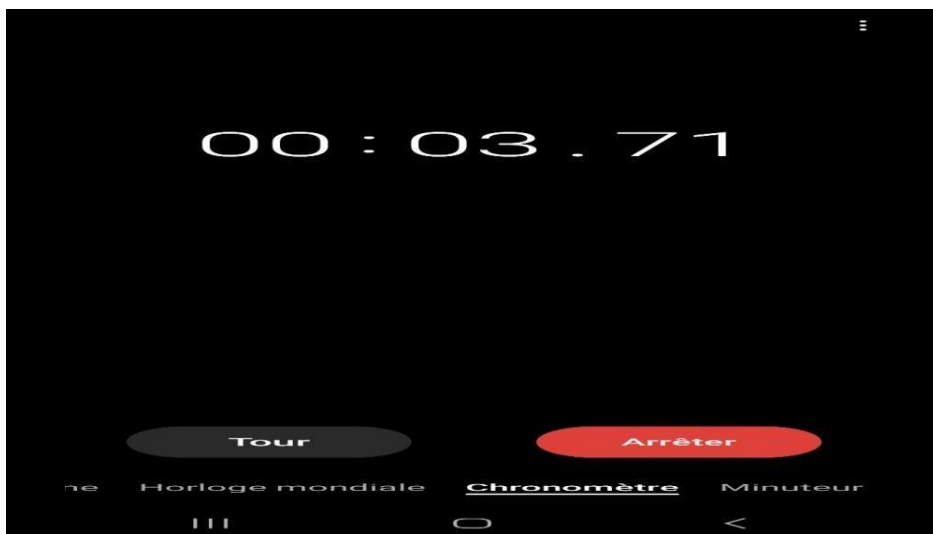


Figure 48: chronomètre

4.1.5. CONVERTISEUR :

Convertisseur est un appareil électronique qui produit du courant alternatif à partir du courant continu. Il est directement connecté aux batteries.

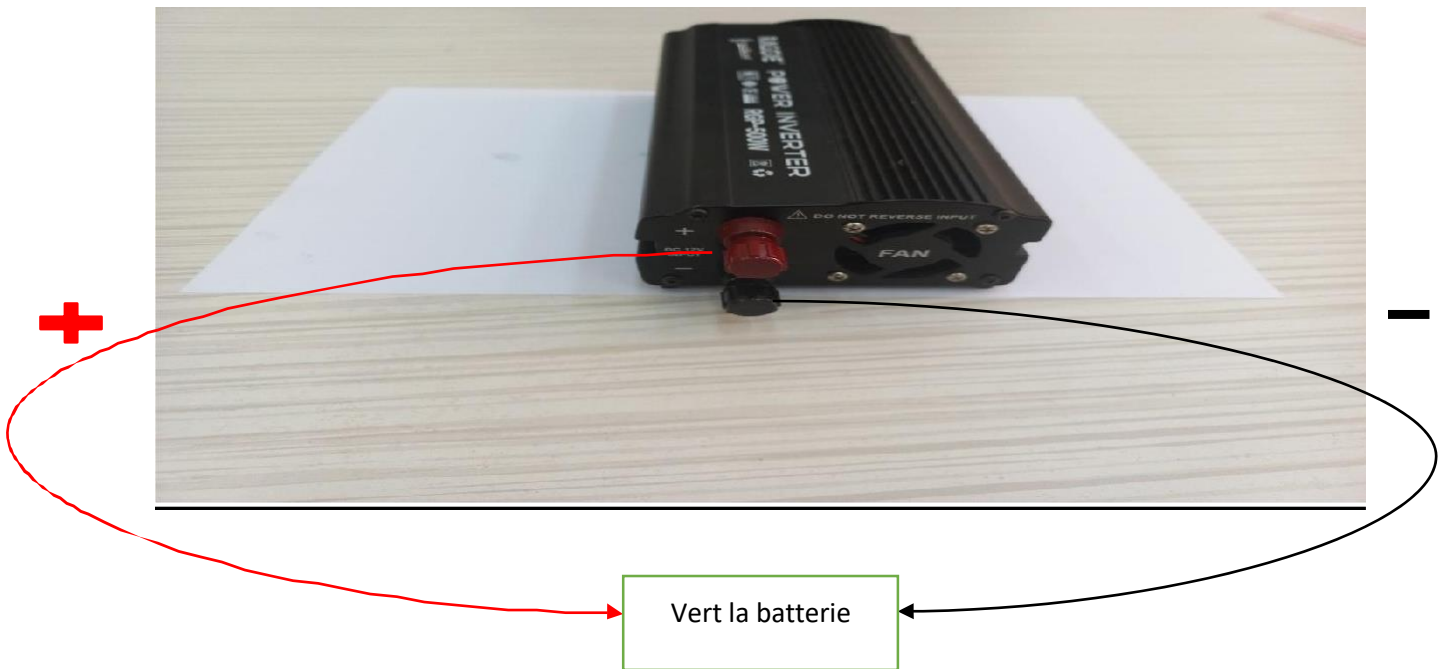


Figure 49 : CONVERTISEUR

Tableau 14 : les caractéristiques de convertisseur

Voltage DC	24 V
Voltage AC	220V
Puissance maximale	500w

4.1.6. BATTERIE :

Les batteries se sont des composant optionnel d'un système photovoltaïque et sont utilisées pour stocker l'électricité pour le régulateur et l'onduleur, voir la figure 50



Figure 50 : Batterie

Tableau 15 : Les caractéristiques de batterie

Voltage de batterie	12V
Capacité de batterie	20Ah

4.1.7. REGULATEUR :

Le régulateur est une unité électronique dont le rôle est de gérer les flux de courant.

Le courant provenant des panneaux afin de charger la batterie et le courant provenant de la batterie vers l'onduleur.

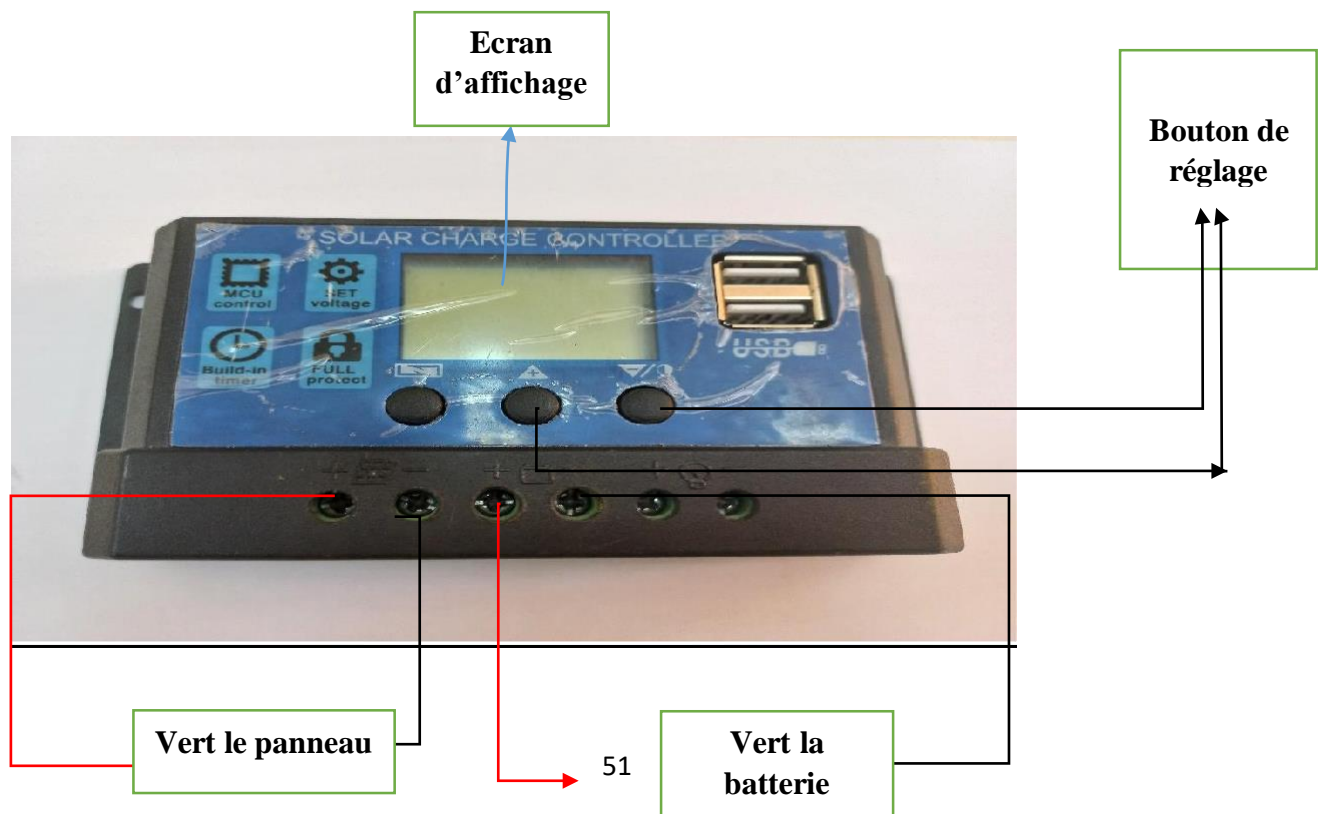


Figure 51 : Régulateur

Tableau 16 : Les caractéristiques de régulateur solaire :

Voltage de la batterie	24V
Courant maximale	10A
Voltage PV max	50 V
Puissance max	260w

4.1.8. ELECTROLYSEUR :

Dans notre expérience on utilise l'électrolyse alcaline.

L'électrolyse alcaline est une méthode de production d'hydrogène qui consiste à séparer l'oxygène et l'hydrogène de l'eau par un courant électrique dans une solution alcaline.

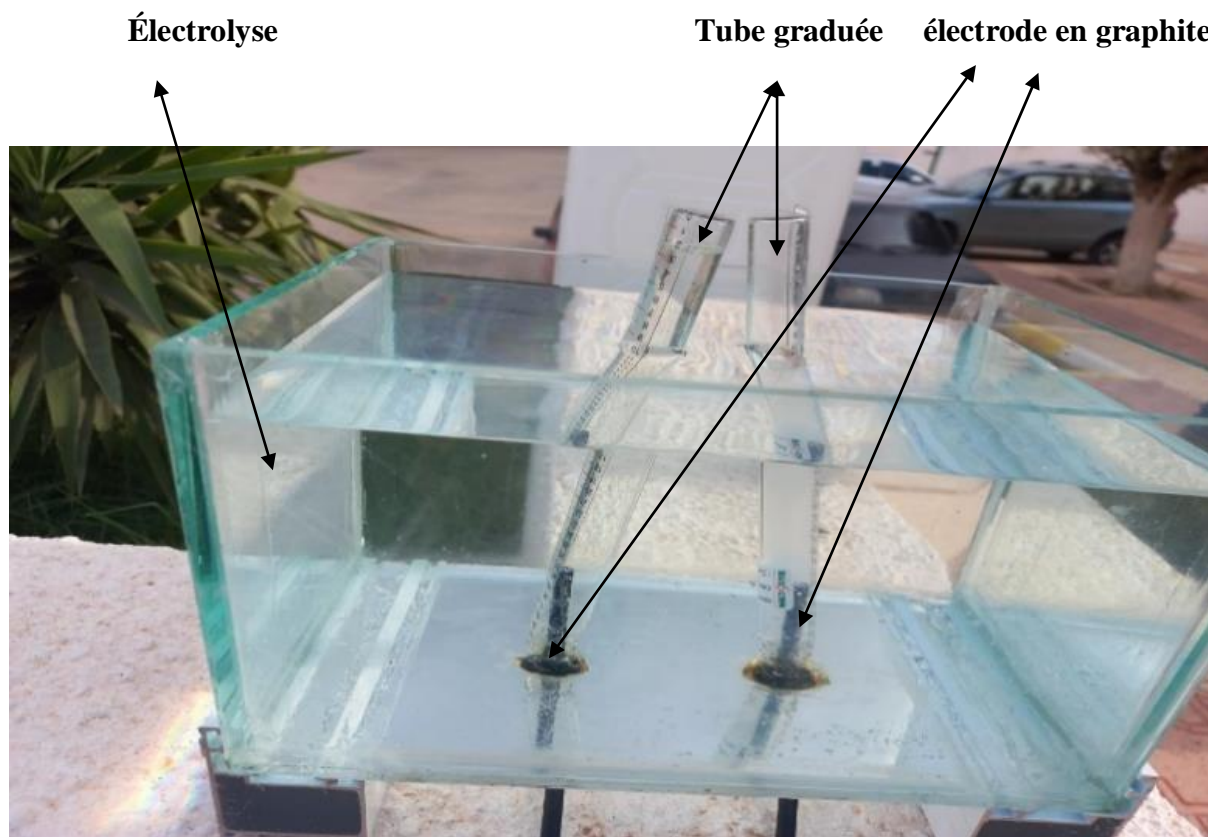


Figure 52 : les éléments de l'électrolyse de l'eau

4.1.9. TUBE GRADUE :

Le cylindre gradué est un instrument de laboratoire utilisé pour mesurer des volumes.

Dans notre expérience on a utilisé pour mesurer le volume de l'hydrogène, l'unité cm^3 .

Le volume de ses deux tubes est $35 cm^3$.

$$1ml = 1cm^3 \dots\dots\dots (18)$$



Figure 53 : le tube de mesure de volume en cm³

4.1.10. L'ANODE :

L'anode est l'électrode où a lieu une réaction électrochimique d'oxydation (menant à la production d'électrons) par opposition à la cathode où se produit une réaction électrochimique de réduction (menant à la consommation d'électrons)

4.1.11. CATHODE :

La cathode est une électrode siège d'une réduction, que l'on qualifie alors de réduction cathodique. Elle correspond à la borne positive (+) dans une pile.

4.1.12. L'EAU DE MER :

Dans notre expérience on a utilisé l'eau de mer parce qu'elle est riche des ions est la salinité égale 35g/l.

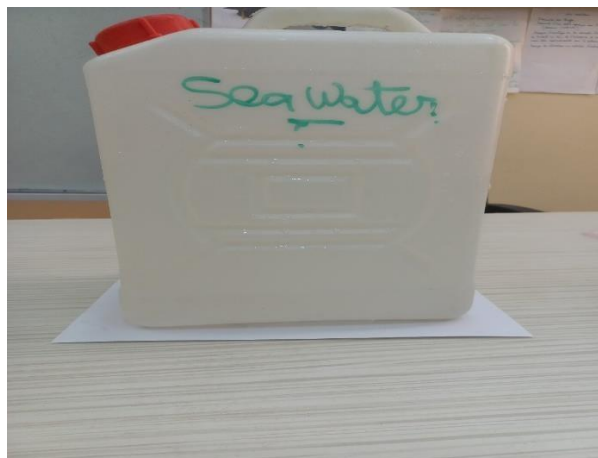


Figure 54 : l'eau de mer

4.1.13. LES DIMENSIONS DE LA CUVE DE VERRE :

On a réalisé cette électrolyse à partir d'une cuve de verre de longueur de 27 cm et la hauteur de 15 cm et de largeur de 23 cm

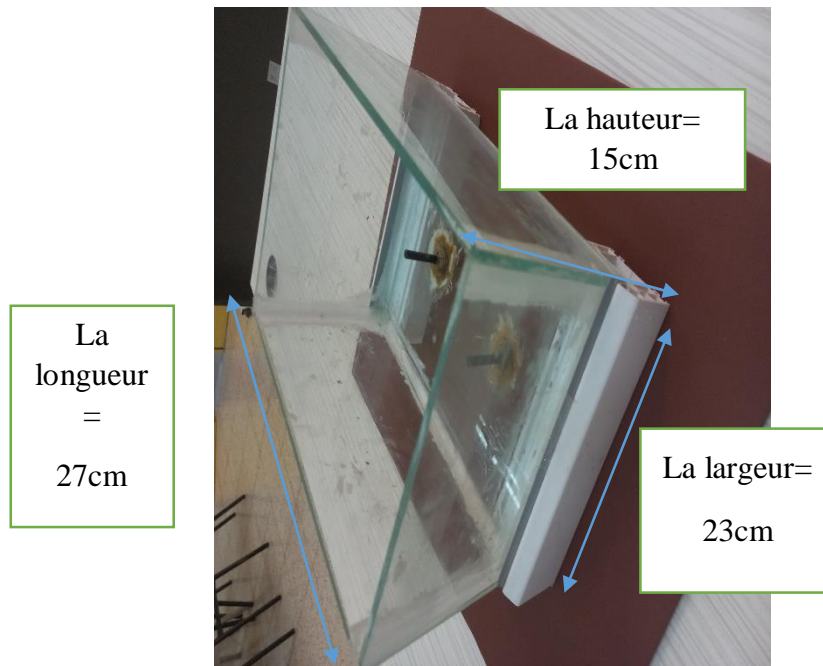


Figure 55 : la dimension de la cuve de verre

A l'intérieur de cette cuve de verre nous avons créé une paire de trous de 6mm au milieu de cette cuve pour insérer l'anode et la cathode.

L'anode et la cathode sont faites de charbon.

On utilise deux charbons immergés dans l'eau de l'épaisseur de 6mm et de longueur de 5,5 cm.

- La surface de ce charbon est

$$S = 3.14 \times D \times L$$

$$S = 3.14 \times 0.6 \times 5.5 = 10.36 \text{ cm}^2$$

- Le volume de cuve en verre :

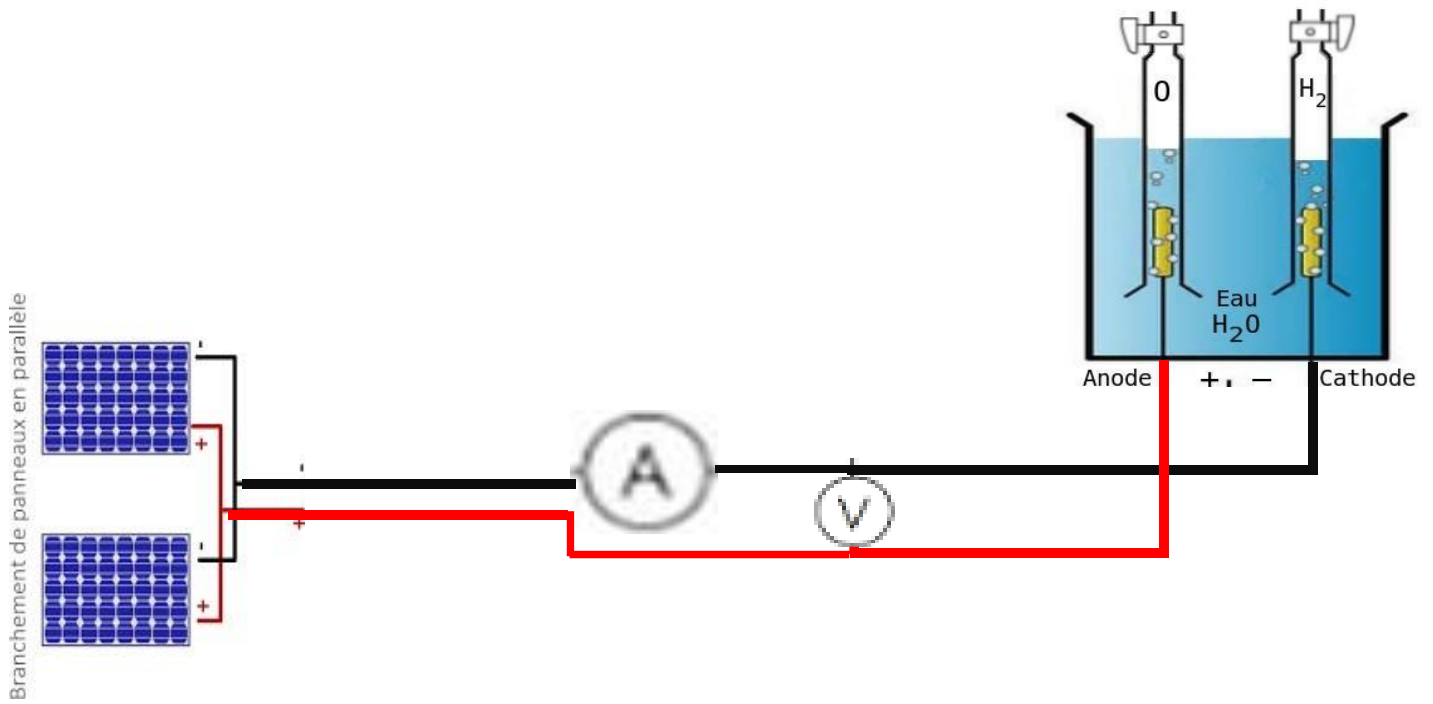
V = la longueur la largeur la hauteur

$$V = 27 \times 23 \times 18 = 11178 \text{ cm}^3 = 11.178 \text{ L}$$

4.2. LE TEST :

4.2.1. EXPERIENCE 1 :

4.2.1.1. LE MONTAGE DE L'EXPERIENCE 1 :



Deux panneaux de 50 w

Figure 56 : montage de l'expérience 1

On a fait cette expérience le 13/02/2023 à 10h jusqu'à 12h qui contient une électrolyse alcaline alimentée par les deux panneaux de 50Wc qui sont monté en parallèle. De puissance totale

$$P_t = 100W$$

$$V_t = 18,24V$$

$$I_t = I_1 + I_2 = 5,4 A$$



Figure 57 : expérience 1

Tableau 13 : les mesures de l'expérience 1

t (min)	T _e (°)	T _a (°)	E (w/m ²)	V _{H₂} (cm ³)	T _p (°)	U ₁ (V)	I ₁ (A)	Δv ₁
1	23	23	527,32	1,5	25	18,18	3.96	0
2	24	23	561,69	4	27	18,02	4.04	2,5
3	24	23	539,17	5	29,8	17,83	3,94	1
4	24	23	564,139	7	32	17,81	4,05	2
5	24	23	575,35	9	33	17,91	4,08	2
6	24	23	553,79	10	35	17,91	4,06	1
7	24	23	555,44	11,9	36	17,98	4,07	1.9
8	24	23	575,91	13	36	17,83	4,09	1.1
9	24	23	564,18	15	36	17,83	4.05	2
10	24	23	590,92	18	36	17,83	4.1	3
11	24	23	593,51	21	36	17,83	4.2	3
12	24	23	579,07	22	36	17,83	4.09	2
13	24	23	553	23	36	17,83	4.06	1
14	24	23	500,86	23.5	36	17,83	3.80	0.5
15	24	23	533,25	26	36	17,83	3.99	2.5
16	24	23	532,46	27	36	17,83	3.97	1
17	24	23	593,51	30	36	17,83	4.22	3
18	24	23	593,51	32,5	36	17,83	4.22	2.5

T_e : température d'eau

T_a : température ambiante

T_p : température de panneau

E : L'éclairement

U₁ : la tension

I₁ : le courant

V_{H₂} : le volume d'hydrogène

Δv₁ : Le volume remplie à chaque minute

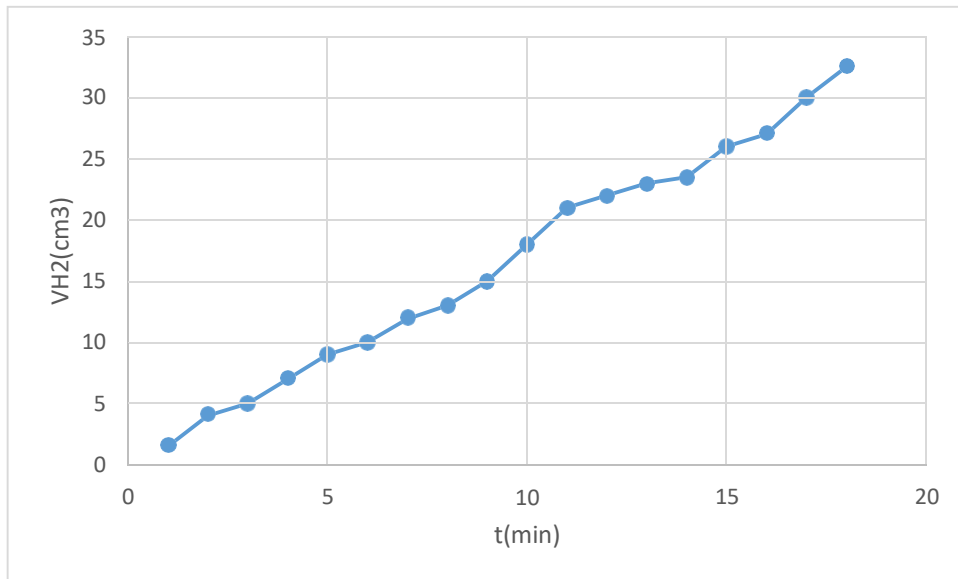


Figure 58 : courbe de la variation de volume H₂ en fonction de temps

Commentaire 1 :

A travers la courbe de la variation de volume H₂ en fonction de temps on remarque qu'il faut 18 min pour produire 32.5 cm³ d'hydrogène.

Graphe 2 :

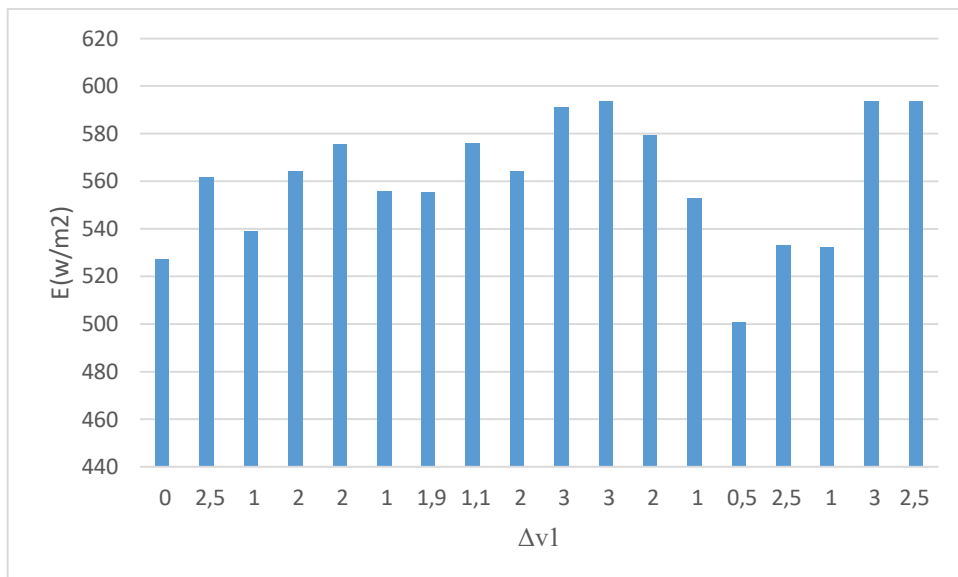


Figure 59 : la courbe de la variation de volume H₂ en fonction de temps

Commentaire 2 :

En observant d'après la courbe de variation l'éclairement en fonction de Δ_{v1} on peut dire que l'éclairement et la différence de volume Δ_{v1} sont simultanés.

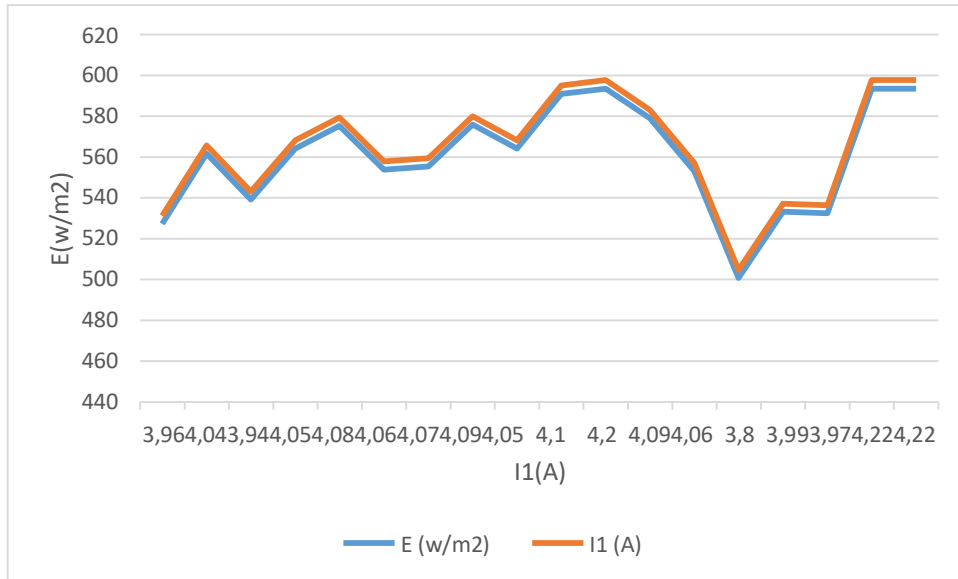


Figure 60 : Courbe de variation de courant en fonction de l'éclairement

Commentaire 3 :

D'après le Courbe de variation de courant I_1 en fonction de E on remarque que le courant I_1 varie proportionnellement avec l'éclairement ou il atteint son maximum 593.51. w/m^2

Graphe 4 :

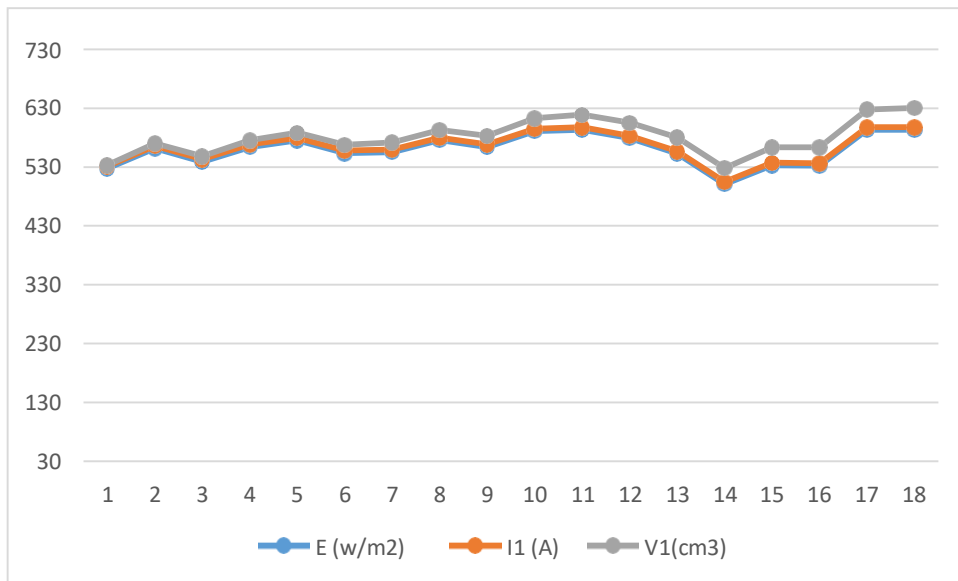


Figure 61 : la variation de H_2 , I_1 et l'éclairement

Commentaire 4 :

On remarque que l'éclairement et l'ampérage sont des paramètres qui influencent la production de H_2 .

➤ **Résultats :**

D'après l'expérience 1 on peut dire que le volume de H_2 augmente par l'augmentation de l'éclairement et l'ampérage.

4.2.2. EXPERIENCE 2 :

4.2.2.1. LE MONTAGE DE L'EXPERIENCE 2 :



Figure 62 : montage de l'expérience 2

On a fait cette expérience le 13/02/2023 à 12h jusqu'à 14h qui contient une électrolyse alcaline alimentée par les deux panneaux de 80Wc qui sont monté en parallèle. De puissance totale

$$P_t=160W$$

$$V_t=18V$$

$$I_t= I_1+I_2= 8,8 A$$

Tableau 18 : les mesuré de l'expérience 2

t (min)	T _e (°)	T _a (°)	E (w/m ²)	V _{H₂} (cm ³)	T _p (°)	U ₂ (V)	I ₂ (A)	ΔV ₂ (cm ³)
1	23	31,7	608,3	3	36	17.83	8,04	0
2	24	31,7	608.3	6	36	17 .83	8,04	3
3	24	31,4	608.3	9	36	17.83	8,04	3
4	24	31,4	608.3	12	36	17,83	8,04	3
5	24	31,4	553,79	14	37	17,80	7,96	2
6	24	31,4	553.79	16	37	17,80	7,96	2
7	24	31,4	553.79	18	37	17,82	7,96	2
8	24	32	586,97	21	37	17,82	8	3
9	24	32	533,25	23	37	17,81	7,6	2
10	24	32	590,92	27	38	17,80	8,02	4
11	24	32	600,4	29	38	17,79	8,03	2
12	24	32	658,07	31	38	17,79	8.1	2
13	24	32	661,23	33,8	38	17,77	8.2	2.8

T_e : température d'eau

T_a : température ambiante

T_p : température de panneau

E : L'éclairement

U₂ : la tension

I₂ : le courant

V_{H₂}: le volume d'hydrogène

ΔV₂ : Le volume remplie à chaque minute

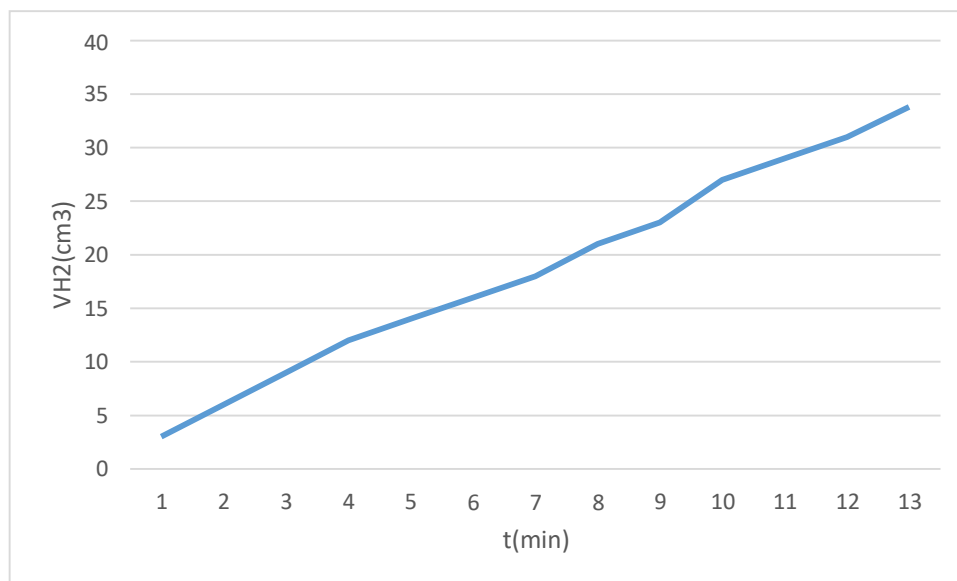


Figure 63 : la courbe de variation de volume de H₂ en fonction de temps

Commentaires 1 :

A travers la courbe de la variation de volume H₂ en fonction de temps on remarque qu'il faut 13 min pour produire 33,8 cm³ d'hydrogène.

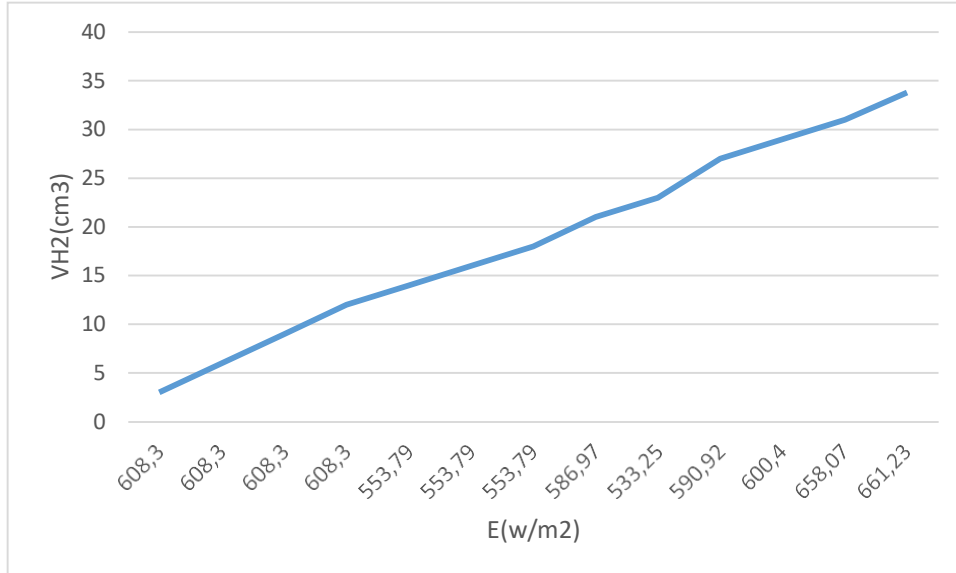


Figure 64 : la courbe de la variation de volume de H₂ en fonction de l'éclairement

Commentaire 2 :

En observant la courbe de variation H₂ en fonction de l'éclairement on peut dire que l'éclairement et la production d'hydrogène sont simultanés.

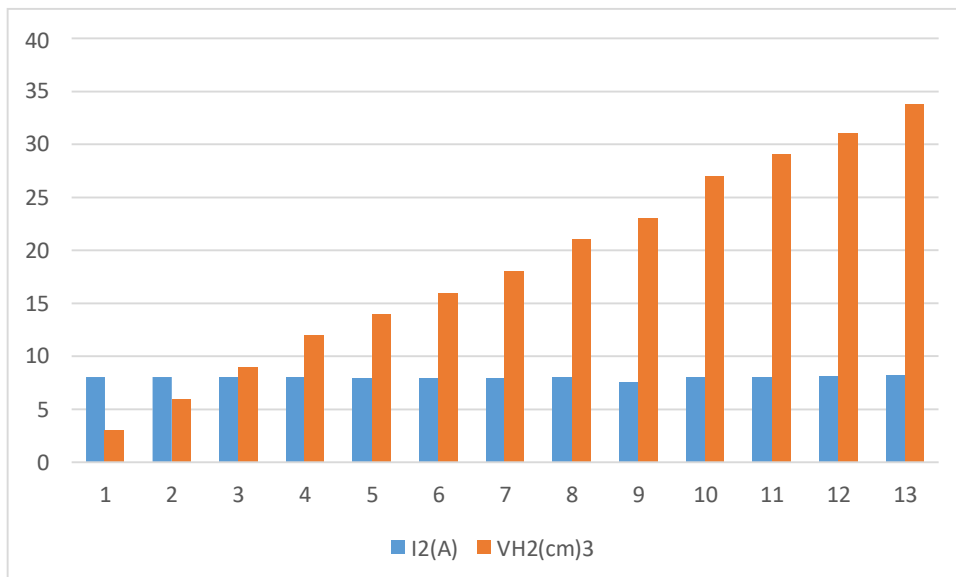


Figure 65 : la variation de ΔV_2 en fonction de courant I₂

Commentaire 3 :

D'après la courbe de la variation de ΔV_2 et I₂ on peut dire que le volume de ΔV_2 augmente par l'augmentation l'ampérage.

Graphe 4 :

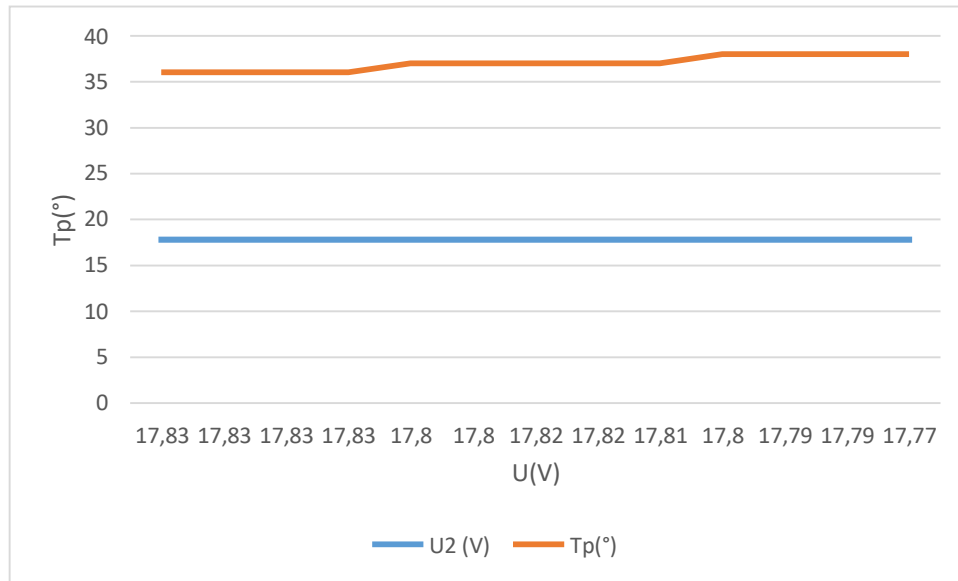


Figure 66 : variation de tension U_2 et la température de panneau

Commentaire 4 :

Nous notons que la relation entre la tension et la température est une relation inverse, car plus la température est élevée, plus la tension est faible

Résultat 2 :

D'après l'expérience 2 on peut dire que la température de panneau elle diminuée la performance de système, est donc elle diminuée la puissance totale, car la tension elle diminue.

➤ **Comparaison entre le PV 50W et le PV de 80W :**

Les paramètres	PV (50W)	PV (80W)
Temps de la production (min)	18	13
Le volume de l'hydrogène (cm ³)	32.5	33.8
Ampérage I_{max}	4.22	8.2
ΔVm (cm ³)	1.77	2.36
Voltage (V)	17.83	17.99

Résultats :

- Dans le panneau de 80W le temps de la production est moins de panneau de 50W
- Le volume de remplir le tube dans le panneau de 80W supérieur celle de 50W.
- Le volume remplir en minute de panneau de 50W est inférieur de 80W.
- Le voltage maximal de panneau de 80W plus que de 50W.

4.2.3. EXPERIENCE 3 : la production d'hydrogène par un système fermier PV-THERMIQUE

4.2.3.1. LE MONTAGE DE L'EXPERIENCE 3 :

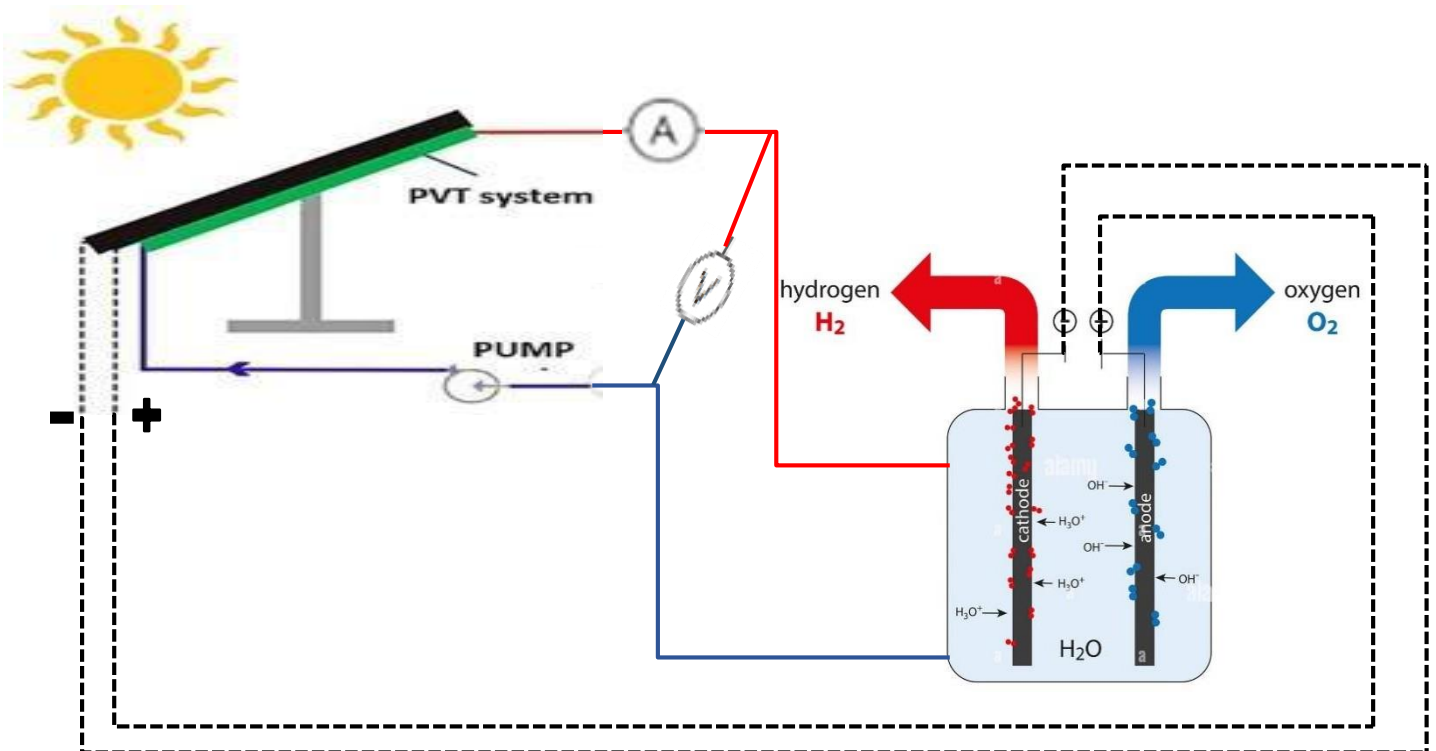


Figure 67 : montage de l'expérience 3 [73]

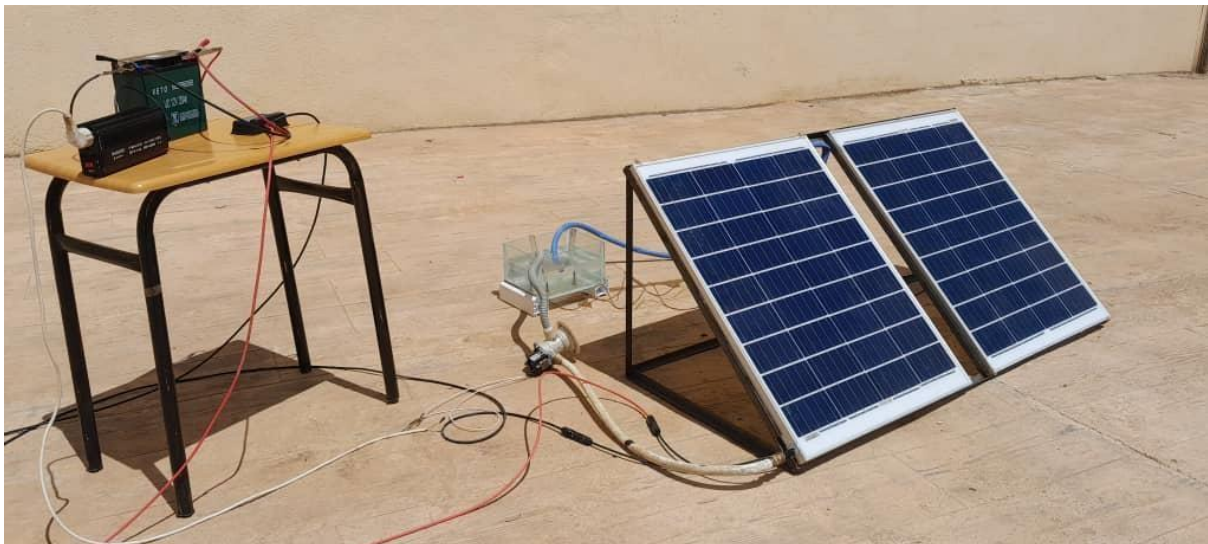


Figure 68 : Expérience 2

On a fait cette expérience le 29/05/2023 à 10h jusqu'13h qui contient une électrolyse alcaline alimentée par les deux panneaux de 80Wc qui sont monté en parallèle. De puissance totale $P_t=160W$

$$V_t=18V$$

$$I_t= I_1+I_2= 8,8 A$$

4.1.3. DEFINITION DE PANNEAU HYBRIDE

Le panneau solaire hybride appelé aussi capteur solaire mixte est un système qui utilise à la fois des capteurs thermiques et des capteurs photovoltaïques pour fonctionner.

Un tube de cuivre serpentin de 8m est utilisé à l'arrière du panneau solaire de type LAGUA Solar, de sorte qu'il forme un circuit fermé dans le but de chauffer l'eau de mer afin d'augmenter la production d'hydrogène vert et refroidi les cellules solaire pour augmenter l'efficacité de notre panneau , et à partir de là, nous disons que l'idée de l'innovation est d'utiliser un panneau hybride (PV-Thermique).



Figure 69 : Panneau Hybride

Tableau 19 : les mesuré de l'expérience 3

Temps (min)	$T_e(^{\circ})$	$E (w/m^2)$	$V_{H_2}(ml)$	$T_p(^{\circ})$	U(V)	I(A)	Δ_V
1	25	861,1	4	27,5	18.3	8,76	0
2	29	876,9	8	30	18.2	8,72	4
3	31	869	12	31,4	18.2	8,64	4
4	34	872,95	16	34,1	18.1	8,62	4
5	37	874,53	19	36,3	18.1	8,6	3
6	40,5	879,27	23	37,2	18	8,58	4
7	42,5	880,85	26	40,6	18	8,56	3
8	46,8	884,8	29	42,3	18	8,56	3
9	49	887,17	31	43,5	18	8,56	2
10	52	900,6	34	44,8	17.9	8,56	3

T_e : température d'eau

T_p : température de panneau

E : L'éclairement

U : la tension

I : le courant

V_{H_2} : le volume d'hydrogène

Δ_V : Le volume remplie à chaque minute

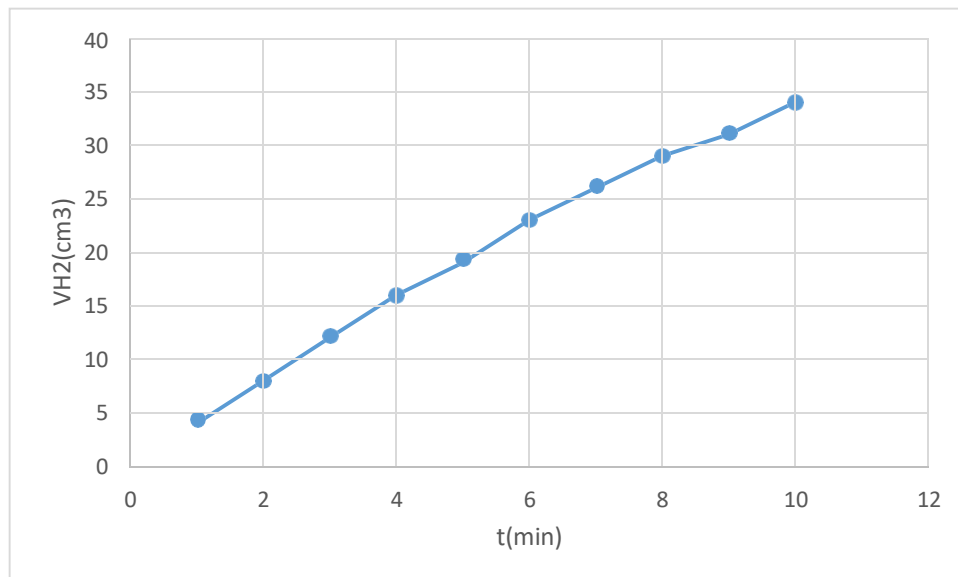


Figure 70 : variation de volume V_{H_2} en fonction de temps

Commentaire 1 :

D'après la courbe de la variation de volume H₂ en fonction de temps on remarque qu'il faut 10 min pour produire 34 cm³ d'hydrogène.

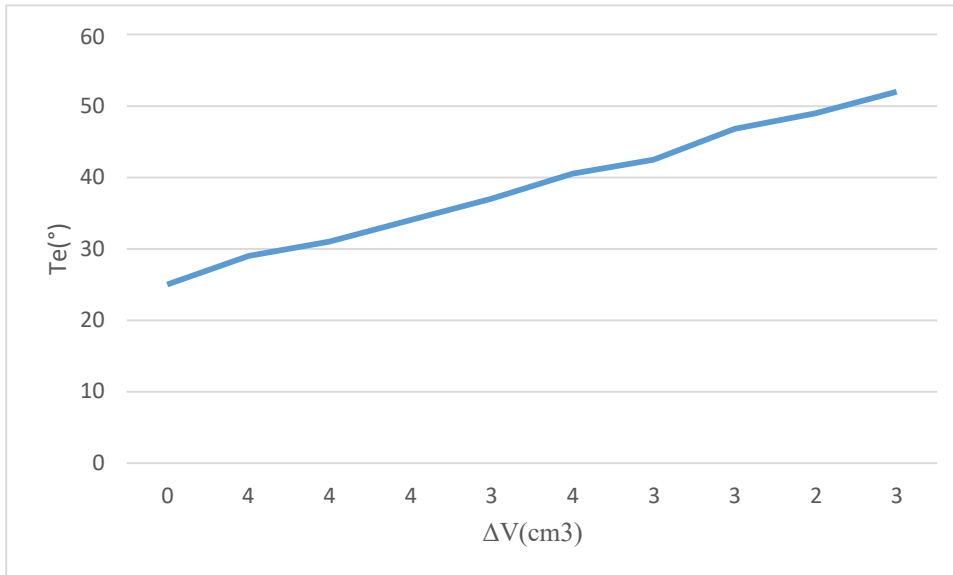


Figure 71 : la variation de T_e en fonction de ΔV

Commentaire 2 :

La courbe de la variation de T_e en fonction de ΔV elle est linéaire ce qui montre que le volume de ΔV augmente par l'augmentation de la température d'eau.

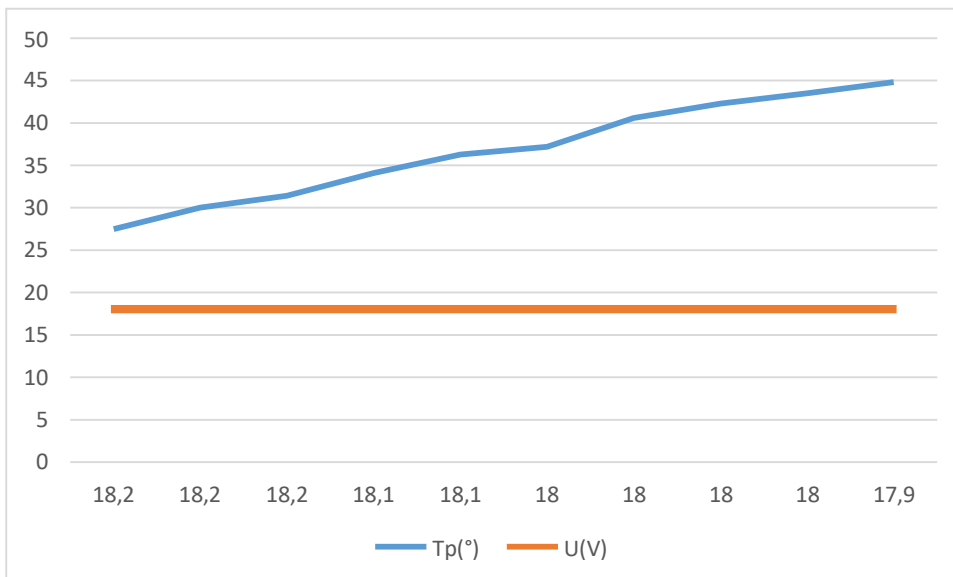


Figure 72 : variation de tension U et la température de panneau

Commentaire 3 :

Nous notons que la relation entre la tension et la température est une relation inverse, car plus la température est élevée, plus la tension est faible

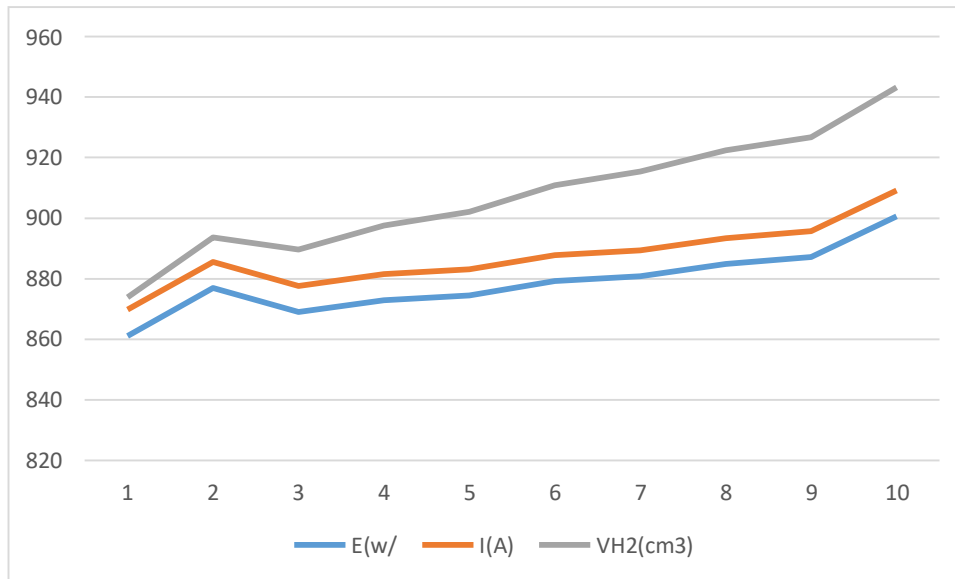


Figure 73 : variation de l'éclairement, volume de H₂ et l'ampérage

Commentaire 4 :

On remarque que l'éclairement et l'ampérage sont des paramètres importants qui influencent la production de H₂.

➤ Résultats :

D'après l'expérience 3 on peut dire que le volume de H₂ augmente par l'augmentation de la température d'eau, l'éclairement et l'ampérage.

4.3. CONCLUSION :

D'après notre expérience on déduit que trois paramètres principaux qui influencent sur la production d'hydrogène vert à partir de l'énergie photovoltaïque.

Les paramètres sont la température de l'eau et l'éclairement et le courant.

L'augmentation :

- De l'éclairement adapter une augmentation de courant.
- Le courant électrique est directement proportionnel avec le volume de la production d'hydrogène.
- Circuit fermé paramètre d'augmenter la température d'eau de mer. On voit que l'eau chaude influence sur la production d'hydrogène.
- Utilisation des sources naturelles photovoltaïque et solaire thermique pour produire un hydrogène vert n'est pas polluant.
- Des sources d'énergies renouvelables représentées dans l'énergie solaire ont été exploitées comme source principale de courant électrique dans l'analyse de l'eau, assurant le fonctionnement d'une pompe de circulation, et l'énergie solaire thermique comme source de chauffage de

L'eau, comme nous l'avons remarqué c'est un facteur majeur d'augmentation de la production d'hydrogène vert.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le travail présenté dans cette mémoire concerne l'étude d'une méthode de production d'hydrogène à partir du couplage d'un générateur hybride (photovoltaïque, thermique) et d'un électrolyseur alcalin.

L'électrolyse alcaline est considérée par beaucoup comme une technologie d'avenir, car elle peut bénéficier des nombreux développements de la technologie alcaline, et des réductions de coûts associées. Cependant, cette technologie n'est pas encore largement utilisée dans la production mondiale d'hydrogène. Tout cela justifie la poursuite des recherches.

L'objectif global de notre travail est d'étudier un système ferme pour produire la quantité maximale d'hydrogène vert par électrolyse de l'eau de mer à haute température, en utilisant des panneaux hybride pour produire l'énergie électrique nécessaire à l'électrolyse de l'eau, et d'étudier les paramètres qui influencent la production d'hydrogène vert (intensité et la température d'eau).

Les résultats montrent que ce système produit 34 ml d'hydrogène vert pendant 10 minutes par électrolyse alcaline à une température de l'eau de 52°C.

REFERENCES

- [1] <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/649/5/2/211260> [2]
- <https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement-2015-2-page-24.htm> [3]
- <https://www.blog-jardin.fr/quels-sont-les-risques-de-lorage-sur-la-piscine/>
- [4] <https://log.logcluster.org/fr/notions-de-base-en-electricite>
- [5] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.assistancescolaire.com%2Fleve%2F3e%2Fphysique-chimie%2Fviser-une-notion%2Fla-tension-electrique-3_pc_18%2Fprint%3Fprint%3D1%26printSheet%3D1&psig=AOvVaw25D3wYrRI9nZo3Wy6qvxB6&ust=1687596097702000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCLi-8cX_2P8CFQAAAAAdAAAAABAD
- [6] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ohm_\(unit%C3%A9\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ohm_(unit%C3%A9))
- [7] [https://www.greensystemes.com/actualites-du-monde-de-lenergie/quelle-est-la-difference-entre-puissance-et-energie/#:~:text=En%20fait%2C%20la%20puissance%20est,%C3%A9nergie\)%20pendant%20un%20certain%20temps.](https://www.greensystemes.com/actualites-du-monde-de-lenergie/quelle-est-la-difference-entre-puissance-et-energie/#:~:text=En%20fait%2C%20la%20puissance%20est,%C3%A9nergie)%20pendant%20un%20certain%20temps.)
- [8] https://uel.unisciel.fr/physique/continu/continu_ch01/co/apprendre_ch1_04.html
- [9] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.automation-sense.com%2Fblog%2Ftutoriels-automatisme%2Fdifference-entre-courant-alternatif-et-courant-continu.html&psig=AOvVaw0QkWIIT9aoKaOstU1TyE-K&ust=1687596420597000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCNiDteCA2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>
- [10] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.automation-sense.com%2Fblog%2Ftutoriels-automatisme%2Fdifference-entre-courant-alternatif-et-courant-continu.html>
- [11] http://photovoltaique-solaires.blogspot.com/2012/07/branchement-des-panneaux-solaire-en_19.html
- [12] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fent2d.ac-bordeaux.fr%2Fdisciplines%2Fsti-college%2Fc3-mmei-3-4a-exemples-de-sources-denergie-utilisees-par-les-etres-humains-charbon-petrole-bois-uranium-aliments-vent-soleil-eau-et-barrage-pile%2F&psig=AOvVaw0O9M9-uZXY9uCwInbm1m-N&ust=1687596520240000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCMixyZGB2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>
- [13] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3D-ntrzT2T8sY&psig=AOvVaw0O9M9-uZXY9uCwInbm1m-N&ust=1687596520240000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCMixyZGB2f8CFQAAAAAdAAAAABAI>
- [14] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_non_renouvelable
- [15] <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-fossiles/tout-savoir-petrole>
- [16] <https://www.europe-energie.com/blog/les-4-sources-denergies-non-renouvelables/>

- [17] <https://opera-energie.com/energie-solaire/>
- [18] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.lenergiétoutcompris.fr%2Factualites-conseils%2Fc-est-quoi-l-energie-solaire-48577&psig=AOvVaw0RRchKAYejg0sTugfMbRIz&ust=1687596953734000&source=ima_GES_cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCJC2o92C2f8CFQAAAAAdAAAAABAD
- [19] <https://echoomagazine.com/energie-eolienne/>
- [20] <https://www.mon-energie-verte.com/le-point-sur-lenergie-hydraulique/>
- [21] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrog%C3%A8ne#Isotopes_et_propri%C3%A9t%C3%A9s_nucl%C3%A9aires
- [22] <https://www.aquaportail.com/definition-3919-hydrogene.html>
- [23] https://www.researchgate.net/figure/Principales-caracteristiques-de-lhydrogene_tbl1_292986671
- [24] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/production-de-lhydrogene>
- [25] https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/methane_ch4.php4
- [26] https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_013_14.pdf
- [27] https://www.maisondelenergie.fr/sites/maisondelenergie.fr/files/hydrogene_0.pdf
- [28] <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-renouvelables/tout-savoir-hydrogène>
- [29] <https://www.ontario.ca/fr/page/hydrogene-bas-carbone>
- [30] <https://cordis.europa.eu/article/id/418019-water-electrolysis-a-promising-remedy-for-the-off-gri-Solari-énergie-Storage-problème/Fr>
- [31] <https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/energie/lhydrogene-turquoise-une-solution-viable-sans-co2/>
- [32] https://www.palaisdecouverte.fr/fileadmin/fileadmin_Palais/fichiersContribs/ressources-en-ligne/revue-decouverte/complements/343_dec_06/PMILLET_n343_p17-25_w.pdf
- [33] https://fr.wikipedia.org/wiki/William_Nicholson_%28chimiste%29
- [34] <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-soleil/qu-est-que-rayonnement-ultraviolet.html>
- [35] <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiereunivers/soleil.aspx?Type=Chapitre&numero=1>
- [36] <https://www.ummt0.dz/dspace/bitstream/handle/ummt0/845/PG018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [37] <https://www.cder.dz/spip.php?article40>

- [38] oad.uadb.edu.sn/mod/book/tool/print/index.php?id=2448&chapterid=1520
- [39] <https://astronomes.com/histoire-astronomie/lanalyse-spectrale/>
- [40] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FSpectre-du-rayonnement-solaire-6_fig1_311509207&psig=AOvVaw2ShXFw3b8Mwf4Upe3HSoGq&ust=1687597940609000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCKjn5LWG2f8CFQAAAAAdAAAABAD
- [41] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fenergieplus-lesite.be%2Ftheories%2Fclimat8%2Fensoleillement-d8%2F&psig=AOvVaw2IF-tQw8lLgEqBLd5TfgcU&ust=1687598059491000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCKD8pe2G2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>
- [42] https://fr.wikipedia.org/wiki/Orbite_de_la_Terre
- [43] <https://www.numerama.com/sciences/608523-quest-ce-quune-annee-bissextile.html>
- [44] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fastranis.com%2Fvariations-contraintesterre%2F&psig=AOvVaw3iZWSj3Mvr1zgR_Rp0nBF_&ust=1687598194585000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCNjg86yH2f8CFQAAAAAdAAAAABAD
- [45] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.connaissancedesenergies.org%2Ffiche-pedagogique%2Fsolaire-photo-voltaïque&psig=AOvVaw04hl5PYF9ascFJgkrfE8p&ust=1687598275839000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCPC-2tOH2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>
- [46] <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-mat%C3%A9riel/caract%C3%A9ristiques-des-panneaux-photo-volta%C3%AFque>
- [47] https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photo-volta%C3%AFque
- [48] https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQU10eqJwfy5Sxx9GwLLyZ3I-77N_kETtC0aeg7vICm&s
- [49] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.freepik.com%2Fphotos-vecteurs-libre%2Fpanneau-solaire&psig=AOvVaw3zyNA8gYQIOATYFDlsir6g&ust=1687598642194000&source=images&cd=vfe&ved=0CA8QjhxqFwoTCLir2pWJ2f8CFQAAAAAdAAAAABAE>
- [50] <https://www.nouvelr-energie.com/pv/champ-photo-voltaïque-reglementation>
- [51] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fculturesciences.chimie.ens.fr%2Fthematiques%2Fchimie-du-vivant%2Fphotosynthese-artificielle-transformer-le-soleil-Encarburants&psig=AOvVaw2o56hVU8oXEnAEz76JgPVz&ust=1687598820939000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCKjJ2N2J2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>
- [52] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.futura-sciences.com%2Fplanete%2Fdossiers%2Fdeveloppement-durable-cellules-photo-voltaiques-cœur-panneaux-solaires-1688%2Fpage%2F5%2F&psig=AOvVaw0YQ3er8nF5Nx9V6iIwM9W&ust=16875987847>

[57000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCJjn58yJ2f8CFQAAAAAdAAAAABAD](#)

[53] <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/inclinaison-panneau-solaire-orientation/>

[54] <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/ orientation-panneau-solaire-orientation/>

[55] <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/in-panneau-solaire-orientation/>

[56] <https://studylibfr.com/doc/5008199/page-de-garde>

[57] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Latitude#:~:text=La%20latitude%20est%20une%20coordonn%C3%A9e,et%2090%C2%B0%20aux%20p%C3%B4les.>

[58] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Latitude#:~:text=La%20latitude%20est%20une%20coordonn%C3%A9e, et%2090%C2%B0%20aux%20p%C3%B4les.>

[59] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.dekloo.net%2Fprojets%2Fphotovoltaique-autoconsommation%2Fcaracteristiques-panneau-photovoltaique%2F689&psig=AOvVaw0Nzs1QJOYqUH1vmLS1NbJR&ust=1687599188999000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCODa0IeL2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>

[60] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/chimie/l-electrolyse-de-l-eau-c1057>

[61] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_du_gaz_%C3%A0_1%27eau#:~:text=La%20r%C3%A9action%20du%20gaz%20%C3%A0,%2C%20lib%C3%A9rant%2042%20kJ%2Fmol.

[62] <https://www.theses.fr/2017CLFAC008.pdf>

[63] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.discoverthegreentech.com%2Fhydrogene%2Fproduction%2Felectrolyse%2Fcalcaire%2F&psig=AOvVaw0imP3lf7_otcOhiVkmUoQD&ust=1687599525510000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCKDZpqeM2f8CFQAAAAAdAAAAABAD

[64] https://www.google.com/search?q=%C3%A9lectrolyse+%C3%A0+membrane+%C3%A9lectrolytique+polym%C3%A8re+mat%C3%A9riau+du+catalyseur+sur+l%27anode&sa=XVe=2ahUKEwjBkvWgjNn_AhWu_7sIHUwlBKkQ6BMoAHoECBoQAg

[65] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.wikipedia.org%2Fwiki%2F%25C3%2589lectrolyse_%25C3%25A0_haute_temp%25C3%25A9rature&psig=AOvVaw3hbyiZeiPw8i1_YIjfeMj3&ust=1687599607222000&source=images&cd=vfe&ved=0CA8QjhxqFwoTCMDsss6M2f8CFQAAAAAdAAAAABAE

[66] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectrolyse_de_1%27eau

[67] <https://learnandconnect.pollutec.com/guide-hydrogene-vert/production-hydrogene-vert-sources-energie-renouvelable/>

[68] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.echosciences-normandie.fr%2Farticles%2Fune-usine-d-hydrogene-vert-en-2023-en-normandie&psig=AOvVaw1EUWf7ebKUqtUP9XVPEOQh&ust=1687599765797000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjhxqFwoTCOi7up6N2f8CFQAAAAAdAAAAABAD>

[69] <https://www.mediachimie.org/actualite/qu%E2%80%99est-ce-que-1%E2%80%99hydrog%C3%A8ne-%C2%AB-vert-%C2%BB>


[70] <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/rendement-et-puissance-crete-des-cellules-photovoltaïques/>

[71] <https://www.usinenouvelle.com/article/le-reservoir-s-adapte-a-l-hydrogene-liquide.N44875>

[72] <https://theses.hal.science/tel-01680851v2/document>

[73] <https://fr.wikipedia.org/wiki/>

ANNEXE



WWW.LAGUASOLAIR.COM

Rated Maximum Power(Pmax)	80W
Open-Circuit Voltage(Voc)	22.32V
Short-Circuit Current(Isc)	4.80A
Voltage at Pmax(Vmp)	18.0V
Current at Pmax(Imp)	4.44A
Nominal Operating Cell Temp(NOCT)	48±2°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	18A
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Cell Technology	POLY

WARNING ELECTRICAL HAZARD

Solar modules generate electricity as soon as they are exposed to sunlight. One module on its own is below the safety extra low volt level. Multiple modules connected in series (summing the voltage) or in parallel (summing the current) represent a danger.

MADE IN CHINA
At technical data at standard test condition

SolarPro Solar panel
MONO CRYSTALLINE SOLAR MODULE

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS(STC)	
Maximum Power(Pmax)	50W
Maximum Power Current(Imp)	2.70A
Maximum Power Voltage(Vmp)	18.24V
Open Circuit Voltage(Voc)	21.8V
Short Circuit Current(Isc)	2.97A

STC:1000W/m², 25°C, AM1.5

DANGER!
1.ELECTRIC SHOCK
The connection of two or more modules in series results in the accumulation of voltage and imposed danger.
2.WORK ON LIVE PARTS
When working and wiring, use and wear protective equipment (insulated tools, insulated gloves, etc.)

WARNING!

- 1.Arcing
Modules generate direct current(DC)when exposed to light
- 2.Safe Installation
Do not carry out installation work in strong winds. Secure yourself and other persons against falling. Secure work materials against dropping. Ensure a safe working environment so as to prevent accidents.
- 3.Fire protection/explosion protection
Modules must not be installed in the vicinity of highly flammable gases, vapors or dusts(e.g. Filling stations, gas tanks, paint spraying equipment).
4. Do not use damaged modules. Do not dismantle modules.

MADE IN CHINA



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية

السياسة وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -

Business Model Canevas

نموذج العمل التجاري

تاريخ الابتداء:

الموظفون:

الاسم: زكريا

اللقب: صاري حسون

الطالب:

الاسم: جمال وكوثر

اللقب: فرتول وكحلول

رمز المشروع: FT-29 label

اسم المشروع:

Montage de prototype de production
d'hydrogène vert à partir des source naturelle

1- Value proposition :**1- القيمة المقترحة**

Maître en place UN système fermé (PV-thermique) qui permet de :
D'augmentation de la production d'hydrogène vert par effet de l'augmentation de la température d'eau.

Installer un système autonome qui permet une alimentation autonome (d'oxygène ET d'hydrogène).

Exploiter l'hydrogène pour produire de la chaleur en mélangeant avec du gaz méthane.

Il peut également être utilisé dans les moteurs de voiture :

- Soit pour produire de l'électricité avec une batterie
- Soit pour produire de l'énergie thermique par combustion

Gaz sans effet de serre ET non-toxique.

Grande capacité énergétique par unité de masse (3 fois plus que le pétrole).

Sa masse volumique est très basse à température et pression ambiantes.

Il est inodore, incolore, susceptible d'être utilisé avec des dommages négligeables pour l'environnement.

2- Customer segments:**2- شرائح العملاء:**

Secteur sanitaire comprenant les hôpitaux, les polycliniques ET les dispensaires.

Éclairage public.

Les industries comme les raffineries ET la chimie, sont très consommatrices de l'hydrogène.

Les bases de Ville.

3- Customer relationships : **3- العلاقات مع العملاء :**

Vente le système.
Fournir une assistante technique pour aider les clients à installer et à utiliser le prototype.
Offrir un service après-vente pour la maintenance et la réparation.
Répondre aux questions et résoudre les problèmes liés au prototype de la production d'hydrogène vert.

4- Channels : **4- القنوات :**

Les publicités dans les réseaux sociaux.
 Créé un site pour l'entreprise.
 Faire des formations.
 Plates-formes de l'entreprise.
 La chambre de commerce.
 Vente par calmande.
 Email ET téléphone.

5- Key partners :



5- الشراكات الرئيسية :

Ateliers de verre, de fer, des plaques photovoltaïques.
 Fournisseurs des matériaux (charbon, cuivre, aluminium...) selon la disponibilité ET le prix.
 Laboratoire de recherche académique ET pédagogique ET privé pour l'analyse.
 Centre i2e université Abou bekr balkaid Tlemcen.
 Agence nationale de développement de l'entrepreneuriat.

➤ صندوق دعم مؤسسات ناشئة.

6- Key activités :



6- الأنشطة الرئيسية :

Chercher des informations sur la production d'hydrogène à échelle réduite (effet d'expérience) pour créer UN modèle sur une grande échelle.
 Créer une équipe de travail.
 Des personnes qualifiées dans le domaine.
 Tester la fiabilité du système.
 Montage du système sera sur place selon la nature de la demande clientèle.
 Rassembler l'équipement de l'installation du prototype.

**7- Key
resources :**



7- الجوارد الرئيسية:

Expertise technique pour étude, dimensionnement, conception ET fabrication de la technologie de la production d'hydrogène vert.

Personnel qualifiée pour l'étude, la conception, l'installation, la maintenance et la réparation de l'équipement de la production d'hydrogène vert.

Financement pour la recherche ET le développement de la technologie de la production d'hydrogène vert à partir d'énergie solaire photovoltaïque ET l'eau de mer.

Accès à des matériaux peut coûteux pour la fabrication des appareils.

8-

**Cost
structure :**



8- هيكل التكاليف:







Deux panneaux photovoltaïques de 80w. (14000*2)= 28000 DA	Aquarium de 30*25*20 (électrolyse). 3500 DA
Un tube serpentin Accrocher dans l'arrière-plan de panneaux pour chauffer l'eau. 5500 DA	Un support pour les deux panneaux. 4000 DA
Deux charbons (anode et cathode). 500 DA	Une pompe. 3500 DA
Deux tube de mesure 1400 DA	Les accessoires (colle silicone, peinture, câble...). 4000 DA
Le transport 10000 DA	Les frais de montage. 5000 DA

✓ **TOTALE : 65400 DA.**

9- Revenue streams :**9- مصادر الإيرادات:**

- ❖ Prix d'étude et dimensionnement à partir de : 30000 DA.
- ❖ Prix de conception et d'installation à partir de : 50000 DA.
- ❖ Prix totale de prototype réduit à partir de : 80000 DA.

<p>partners </p> <p>. Laboratoire de recherche</p> <p>Fournisseurs des matériaux</p> <p>Ateliers de verre, de fer, des plaques photovoltaïques</p> <p>Agence nationale de développement de l'entrepreneuriat</p> <p>صندوق دعم مؤسسات ناشئة</p> <p>Centre i2e université Aboubekr balkaid Tlemcen</p>	<p>Activités </p> <p>.Crée une équipe de travail.</p> <p>.Des personnes qualifient dans le domaine.</p> <p>Tester la fiabilité de système.</p> <p>Montage de système sera sur place selon la nature de la demande clientèle.</p> <p>Rassembler l'équipement de l'installation du prototype.</p> <hr/> <p>Ressources clés</p> <p>-Expertise technique pour l'appareil.</p> <p>-Personnel qualifié et financement.</p> <p>-Accès des matériaux couteux.</p>	<p>Propo</p> <p>valeur</p> <p>. Maître en place UN système fermé (PV-thermique) qui permet de :</p> <p>D'augmentation de la production d'hydrogène vert par effet de l'augmentation de la température d'eau.</p> <p>Installer un système autonome qui permet une alimentation autonome (d'oxygène ET d'hydrogène).</p> <p>Il est inodore, incolore, susceptible d'être utilisé avec des dommages négligeables pour l'environnement.</p>	<p>Relation </p> <p>Vente le système.</p> <p>Fournir une assistante technique</p> <p>Offrir un service après-vente pour la maintenance et la réparation</p> <p>Répondre aux questions et résoudre les problèmes liés au prototype</p> <hr/> <p>Canaux</p> <p>-Vente directe. -Les plates-formes des entreprises. -Les champs de commerce. -Les réseaux sociaux.</p>	<p>Clients </p> <p>- Secteur sanitaire comprenant les hôpitaux, les polycliniques ET les dispensaires.</p> <p>Éclairage public.</p> <p>Les industries comme les raffineries ET la chimie, sont très consommatrices de l'hydrogène.</p> <p>Les bases de Ville.</p>
---	--	--	--	--

Coûts



TOTALE : 65400 DA

Deux panneaux photovoltaïques de 80w.
(14000*2)= 28000 DA

Un tube serpentin Accrocher dans l'arrière-
plan de panneaux pour chauffer l'eau.
5500 DA

Deux charbons (anode et cathode).
500 DA

Aquarium de 30*25*20 (électrolyse).
3500 DA

Un support pour les deux panneaux.
4000 DA

Deux charbons (anode et cathode).
500 DA

Une pompe. 3500 DA

Les accessoires (colle silicone, peinture,
câble....). 4000 DA

Le transport 10000 DA

Les frais de montage. 5000 DA

Revenue



Prix d'étude et dimensionnement à
partir de : 30000 DA.

Prix de conception et d'installation à
partir de : 50000 DA.

Prix totale de prototype réduit à partir de
: 80000 DA.

-Taux de profits : 80%.

ملخص:

نظرًا لزيادة في النمو السكاني، أصبحت الطاقة من الموارد الأحفورية (النفط أو الفحم أو الغاز الطبيعي أو الطاقة النووية غير كافية لتلبية احتياجات الطاقة المتزايدة في العالم ولها تأثير كبير على البيئة علاوة على ذلك، هذه الطاقات ليست متجددة لذلك من الضروري إيجاد حل قابل للتطبيق يعتبر إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة حلاً للمستقبل. على سبيل المثال، تعتبر الجزائر واحدة من الدول المهمة التي لديها قدرات بيئية هائلة لاستغلال هذه الطاقات وهذا ما دفعنا للقيام بهذا العمل الذي يتركز على دراسة نظام تحسين وإنتاج الهيدروجين الأخضر عن طريق التحليل الكهربائي باستعمال الطاقة الشمسية ومياه البحر بهدف أن يكون الهيدروجين مصدر للطاقة الكهربائية من أجل استخدامه كوقود لما له من خصائص كيميائية وفيزيائية مميزة ولا يتسبب في أي انبعاثات ملوثة

كلمات المفتاحية: الهيدروجين الأخضر، تحليل كهربائي للماء، طاقة الشمسية، ماء البحر

Abstract:

Due to the acceleration of population growth, energy from fossil resources (oil, coal, natural gas or nuclear) is insufficient to meet the growing energy needs of the planet and has a significant impact on the environment.

Moreover, these energies are not renewable. A workable solution must therefore be found.

Producing electricity from renewable energies is a solution for the future. For example, Algeria is considered as one of the important countries that have enormous environmental capacities to exploit these energies.

This is what prompted us to carry out this work which relates to the study of the system for the improvement and production of green hydrogen by electrolysis from solar energy and sea water, hydrogen being a source of electrical energy in order to use it as fuel because of its distinctive chemical and physical properties and does not cause any polluting emissions.

Keywords : Green hydrogen, Water electrolysis, solar energy, Sea water.

Résumé

En raison de l'accélération de la croissance démographique, l'énergie issue des ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel ou nucléaire) est insuffisante pour répondre aux besoins énergétiques croissants de la planète et a un impact important sur l'environnement.

De plus, ces énergies ne sont pas renouvelables. Il faut donc trouver une solution viable.

Produire de l'électricité à partir d'énergies renouvelables est une solution d'avenir. Par exemple, l'Algérie est considérée comme l'un des pays importants qui disposent d'énormes capacités environnementales pour exploiter ces énergies.

C'est ce qui nous a poussés à réaliser ce travail qui porte sur l'étude du système d'amélioration et de production d'hydrogène vert par électrolyse à partir d'énergie solaire et d'eau de mer, l'hydrogène étant une source d'énergie électrique afin de l'utiliser comme carburant car de ses propriétés chimiques et physiques distinctives et ne provoque aucune émission polluante.

Mots clés : Hydrogène vert, Électrolyse de l'eau, Energie solaire, Eau de me

