

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

Etude de la Nature d'Eau d'El Oued sur l'Electrolyse

Devant le jury composé de :

Annan Adel

Président

Miloudi Khaled

Examineur

Attia Mohammed El Hadi

Encadreur

Présent Par :

Moumén Bekkouche Mohammed Khemais

Doudi Taha

2017-2018

Remerciements

Nous adressons mes remerciements

- ❖ *À Dieu Puissant : de nous somme donner la force et le courage pour réaliser ce travail modeste.*
- ❖ *À la direction et faculté de technologie département de génie mécanique.*
- ❖ *À l'encadrement : ATTIA MOHAMMED EL HADI pour la qualité de formation donnée, Votre gentille, vôtre courtois, votre disponibilité constante, votre ardeur dans le travail, Merci pour tous ce que vous avez fait pour la réussite de ce travail.*
- ❖ *Aux membres de jurys : pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre notre travail.*

- ❖ *À tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, Si par mégarde, nous avons oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous*

Dédicace

A mes parents pour tout leur amour qui sera éternel

A ma mère

A ma famille

A mes amis

*Pour tous ceux qui ont contribué à l'encouragement de loin
ou à proximité.*

Khemais et Taha

SOMMAIRE

Liste des figures	I
Liste des tableaux	III
Liste des abréviations.....	IV
Nomenclature.....	V
Introduction Générale	1

Chapitre I : Electrolyse de l'eau : production d'hydrogène

I.1. Caractéristiques de l'hydrogène.....	4
I.2. Utilisations industrielles de l'hydrogène	5
I.2.1. Industrie électronique.....	5
I.2.3. Industries chimiques	5
I.3. Modes de production d'hydrogène	6
I.4. Avantages et inconvénients de l'hydrogène.....	6
I.4.1. Les avantages	6
I.4.2. Les inconvénients.....	6
I.5. Méthodes de production d'hydrogène	7
I.5.1. Procède de production d'hydrogène	7
I.5.2. Productions de l'hydrogène à partir des énergies fossiles	9
I.5.2.1. Le vaporeformage	9
I.5.2.2. L'oxydation partielle.....	9
I.5.2.3. Le reformage autotherme	10
I.5.3. Production d'hydrogène par décomposition d'eau	11
1.5.3.1 Production Par électrolyse de l'eau	11
1.5.4. Electrolyse de l'eau	11

I.5.4.1. Historique de l'électrolyse de l'eau	11
1.5.4.2. L'électrolyse de l'eau	11
1.5.4.3. Principe de l'électrolyse de l'eau	12
I.5.4.4. Thermodynamique de l'électrolyse de l'eau	12
I.5.4.5. Les différentes technologies d'électrolyseurs	14
I.5.4.6. Comparaison des différentes technologies d'électrolyse de l'eau	17
1.5.5. Electrolyse de l'eau par photovoltaïque	18
I.6. Conclusion	19

Chapitre II : Etude la nature d'eau d'El-Oued

II.1. Contexte climatologie	22
II.2. Les précipitations	24
II.3. La température	24
II.4. L'Evaporation	25
II.5. L'humidité	26
II.6. L'insolation	26
II.7. Données hydrogéologiques.....	26
II.7.1. Région du Souf	27
II.7.1.1. La nappe phréatique.....	27
II.7.1.2. La nappe du Complexe Terminal	28
II.7.1.3. La nappe du continental intercalaire	28
II.8. Région d'Oued Righ	28
II.8.1. Ressources en eau	28
II.8.1.1. Complexe Terminal	29
II.8.2. La nappe du continental intercalaire.....	29
II.9. Vers une gestion rationnelle des ressources en eaux	30

II.10. Pollution par les Nitrates NO_3	31
II.11. Qualité microbiologique de l'eau	32
II.12. Qualité des eaux physique et chimiques	32
II.12.1. La Conductivité électrique.....	32
II.12.2. Potentille d'hydrogène (pH).....	33
II.12.3. Turbidité	33
II.12.4. Le Chlorure (Cl^-).....	33
II.12.5. Le Sodium (Na^+).....	34
II.12.6. Le Potassium (K^+).....	34
II.12.7. Le Sulfate (SO_4^{2-})	35
II.12.8. Le fluor (F^-) dans les eaux de CT et de Cl.....	36
II.13. Conclusion	36

Chapitre III : Partie Expérimental

III.1. Description de l'électrolyseur de l'eau.....	38
III.1.1. Dans la cathode	39
III.1.2. Dans l'anode.....	39
III.2. Matériel disponible.....	39
III.2.1. PH mètre digital.....	39
III.2.2. Appareil de mesure conductivité (Yakamoz TDS & EC)	40
III.2.3. Caractéristiques de générateur utilisé.....	41
III.2.4. Hydroxide Potassium (KOH)	42
III.2.5. Eau distillée	44
III.3. Paramètres de calcul.....	44
III.4. Resultats et discussion.....	45
III.4.1. Electrolyse de l'eau distillée.....	45

III.4.2. Electrolyse de l'eau d'El-oued	51
III.5. Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	58
Références bibliographique	

Liste des figures

Figure I.1 : Répartition des modes de production d'hydrogène actuels [5].	8
Figure I.2 : Procède de production d'hydrogène [7].	8
Figure I.3 : Procédé de reformage auto thermique [13].	10
Figure I.4 : Principe d'électrolyse de l'eau [19].	12
Figure I.5 : Principe de l'électrolyse alcaline [40].	15
Figure I.6 : Principe schématique de l'électrolyse PEM [23].	16
Figure I.7 : Principe de l'électrolyse à haute température selon le type d'électrolyte [23].	17
Figure I.8 : Rendements des différentes technologies électrolyseurs [22].	18
Figure II.1 : Situation géographique de la wilaya d'El-Oued [28].	21
Figure II.2 : Les frontières de la région du Souf [25].	22
Figure II.2 : La variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations 2017.	24
Figure II.3 : La variation moyenne mensuelle interannuelle de la température 2017.	25
Figure II.4 : La variation moyenne mensuelle interannuelle d'Evaporation 2017.	26
Figure II.5 : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued [35].	28
Figure II.6 : Création des nouveaux périmètres agricoles autour de la ville d'El-Oued [30]. .	31
Figure II.7 : Ghout récemment remblayé par les autorités publiques [30].	31
Figure III.1 : Schéma du procédé	38
Figure III.2 : Schéma de l'électrolyseur de l'eau.	38
Figure III.3 : PH mètre digital.	40
Figure III.4 : Image de générateur utilisé.	41
Figure III.5 : L'hydroxyde potassium.	43
Figure III.6 : L'eau distillée.	43
Figure III.7 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.	45
Figure III.8 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.	45

Figure III.10 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.	47
Figure III.11 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.	48
Figure III.12 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.	49
Figure III.13 : Comparaison de production d'hydrogène en fonction de temps.	50
Figure III.14 : Comparaison de production d'oxygène en fonction de temps.	50
Figure III.16 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.	52
Figure III.17 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.	53
Figure III.18 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.	53
Figure III.19 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.	55
Figure III.20 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.	55
Figure III.21 : Comparaison de production d'hydrogène en fonction de temps.	55
Figure III.22 : Comparaison de production d'oxygène en fonction de temps.	56

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène [4.3].	4
Tableau II.1 : Données climatiques période 2017 [26].	23
Tableau II.2 : Variations de la CE dans les eaux de CT et de CI [36].	32
Tableau.II.3 : Les teneurs de Sodium Na ⁺ dans les eaux de CT et de CI [36].	33
Tableau.II.4 : Les teneurs de Sodium Na ⁺ dans les eaux de CT et de CI [36].	33
Tableau.II.5 : Les teneurs de Potassium (K ⁺) dans les eaux de CT et de CI [36].	34
Tableau.II.6 : Les teneurs de Sulfate SO ₄ ²⁻ dans les eaux de CT et de CI [36].	35
Tableau.II.7 : Les teneurs de fluor (F ⁻) dans les eaux de CT et de CI [36].	35
Tableau III.1 : Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH.	44
Tableau III.2 : Modifications dans les paramètres	45
Tableau III.3 : Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH + 30 g/l sel.	45
Tableau III.4 : Modifications dans les paramètres avec 30 g/l sel.	47
Tableau III.5 : Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH + 60 g/l sel.	48
Tableau III.6 : Modifications dans les paramètres avec 60 g/l sel.	49
Tableau III.7 : Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH	50
Tableau III.8 : Electrolyse de l'eau d'El-oued + 1mol KOH.	52
Tableau III.9 : Modifications dans les paramètres.	53
Tableau III.10 : Electrolyse de l'eau d'El-oued.	53
Tableau III.11 : Modifications dans les paramètres.	55

Liste des abréviations

PCS : Pouvoir calorifique supérieur.

PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

Cp : Capacité thermique massique à pression constante.

Cv : Capacité thermique massique à volume constante.

ATR: Auto therme.

PEM: Proton Exchange Membrane.

WE-NET: World Energy – Network.

PEC : électrodes photo actives.

IEA : International Energie Agency.

A.N.R.H : L'agence National des Ressources Hydriques.

OMS : organisation mondiale de santé.

PH : Potentille d'hydrogène.

AFNOR : Recueil de normes françaises. Eaux.

KOH : Hydroxyde de potassium.

H₂O : Eau.

H₂ : Hydrogène.

O₂ : Oxygène

Nomenclature

PCS : Pouvoir calorifique supérieur	(Kj/Kg)
PCI : Pouvoir calorifique inférieur	(Kj/Kg)
p : masse volumique de la vapeur	(Kg/m ³)
T : Température de flamme dans l'air	(K)
V : Vitesse de détonation dans l'air	(Km/s)
Cp : Capacité thermique massique à pression constante	(J/Kg. k)
Cv : Capacité thermique massique à volume constante	(J/Kg. k)
δ: Conductivité thermique du gaz	(W/m. k)
Q : Débit volumique d'hydrogène	(ml/min)
T: temps	(min)
Pa: Puissance absorbée par l'électrolyseur	(w)
W : Energie électrique consommée	(w.s)
U : tension de générateur	(v)
I : courant de générateur	(A)
V _{H2} : volume d'hydrogène	(ml)
V _{O2} : volume d'oxygène	(ml)
T: La temperature de la lotion	(°C)
m:Poids	(g)

Introduction générale

Introduction générale

L'augmentation du prix de pétrole, sa raréfaction future et l'émission de gaz à effet de serre, ont provoqué un regain d'intérêt de la part de l'opinion et des pouvoirs publics pour l'emploi d'énergies alternatives.

Ainsi, l'utilisation d'hydrocarbures peut être substituée par d'autres sources d'énergie pour la production d'électricité. En revanche les carburants fossiles restent actuellement incontournables comme source d'énergie. Pour remplacer les moteurs à hydrocarbures, un grand espoir est placé dans les piles à combustible [1].

La production propre d'hydrogène est un des enjeux majeurs actuels de l'industrie en raison de l'importance grandissante de ce gaz dans les secteurs chimique, pétrolier, énergétique ou des transports. En effet, l'hydrogène peut être utilisé directement dans les moteurs à combustion interne ou encore dans les piles à combustible pour produire de l'électricité. Si l'utilisation d'hydrogène est propre puisque les rejets associés sont essentiellement de l'eau, l'hydrogène n'existe pas à l'état naturel. Il faut donc le produire à partir de composés riches en atomes d'hydrogène « eau, biomasse, hydrocarbures, etc. » en fournissant de l'énergie.

A l'heure actuelle, la production de l'hydrogène revient beaucoup plus chère que l'utilisation d'hydrocarbures, ce qui est le principal frein au développement des piles à combustibles. Paradoxalement, le procédé actuel le moins cher pour produire l'hydrogène consiste à craquer les hydrocarbures, ce qui ne résout pas les problèmes précités. Par conséquent, l'augmentation constante et inéluctable du prix du pétrole pourra rendre la production de l'hydrogène compétitive dans les années à venir [2].

La production de l'hydrogène à faible coût à partir d'une sources renouvelable (biomasse, eau) est un des grands défis de la recherche énergétique.

L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est le processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique. La première électrolyse (électrolyse de l'eau) a été réalisée le 2 mai 1800 par deux chimistes britanniques, William Nicholson (1753-1815) et Sir Anthony Carlisle 1768-1842, quelques jours après l'invention de la première pile électrique (publication soumise le 20 mars 1800 dans une lettre en français au président de la Royal Society, Joseph Banks) par Alessandro Volta et grâce à celle-ci [3].

L'électrolyse peut être menée à des fins : Préparatifs, elle permet de réaliser des oxydations et des réductions, par conséquent elle modifie la nature des espèces dissoutes (changement du degré d'oxydation en chimie minérale ou de fonction en chimie organique), Séparatives, elle Effectue une séparation par électrolyse consiste à éliminer une espèce dissoute sous forme d'un solide déposé sur l'électrode ou le faire dégager sous forme de gaz. Les conditions opératoires et le milieu ont une influence sur la qualité du dépôt et son Adhérence et Analytiques, Dans ce dernier cas, soit on mesure la quantité d'électricité mise en jeu au cours de la réaction électrochimique, soit on mesure un dépôt sur l'électrode. On opère le plus souvent à potentiel ou à intensité constante. Un avantage de cette méthode est que l'on maîtrise parfaitement les conditions opératoires [3].

L'objectif principal de cette étude est un résumé des nouvelles technologies utilisées pour la production d'hydrogène et d'étude de la possibilité Produire l'hydrogène de l'eau d'El Oued est une manière facile et peu coûteux.

- Le chapitre I : étudier les propriétés de l'hydrogène et savoir comment le produire et concentrer sur la méthode d'électrolyse.
- Le chapitre II : connaissance de l'emplacement géographique de la ville d'El Oued et étude des sources d'eau et de ses composants chimiques.
- Le chapitre III : étudier l'effet de la salinité sur le débit d'hydrogène et d'oxygène et étudier la possibilité d'électrolyse l'eau d'El Oued.

Enfin, une conclusion générale est présentée et dans laquelle on retrouve une récapitulation des résultats obtenus montrant les points les plus importants qui ressortent au terme de cette étude et des perspectives éventuelles pour la poursuite de ce travail.

Chapitre I :

Electrolyse de l'eau :

production d'hydrogène

Le nom hydrogène vient des deux mots : hydro = eau, et gène = générateur, donc le mot hydrogène signifie « générateur d'eau », c'est l'élément le plus abondant dans l'univers « Il compose 75% de la masse de toute la matière dans les étoiles et les galaxies. », c'est le carburant du soleil « chaque seconde 620 millions de tonnes d'hydrogène sont converties en 615,7 millions de tonnes d'hélium » [11].

I.1. Caractéristiques de l'hydrogène

Rappelons que l'hydrogène est sans couleur, sans odeur, sans goût, inflammable et non toxique. Lorsqu'il est condensé à son point d'ébullition, l'hydrogène devient un liquide incolore dont le poids est de $\frac{1}{14}$ fois celui de l'eau. En raison de sa très basse température, l'hydrogène liquide rend très friable les matériaux qui sont en contact direct avec lui. En raison de ses propriétés chimiques, l'hydrogène est fondamentalement un agent réducteur et il est surtout employé comme tel dans l'industrie chimique, si on considère l'aspect physiologique, l'hydrogène est non toxique mais est asphyxiant en trop grande quantité dans l'air [6].

Tableau I.1 : Caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène [4.3].

Caractéristiques	Valeur numérique
PCS (Pouvoir calorifique supérieur)	12770 Kj/Nm^3 – 141860 Kj/Kg
PCI (Pouvoir calorifique inférieur)	10800 Kj/Nm^3 – 119930 Kj/Kg
Masse volumique du gaz à P_{atm} et 273K	0.08988 Kg/Nm^3
Masse volumique de la vapeur à P_{atm} et 20.3K	1.34 Kg/m^3
Température de flamme dans l'air à 300K	2318k
Vitesse de détonation dans l'air	2.0 Km/s
Cp (Capacité thermique massique à pression constante)	14266 $J/Kg.k$
Cv (Capacité thermique massique à volume constante)	10300 $J/Kg.k$
Conductivité thermique du gaz	0.1897 $W/m.k$

I.2. Utilisations industrielles de l'hydrogène

Il est produit environ 45 millions de tonnes d'hydrogène par an dont 10% en Europe. Un certain nombre de grands producteurs d'hydrogène sont des firmes européennes : Air Liquide, Air Product, Linde, Messer Griesheim [8].

L'hydrogène est couramment utilisé dans un grand nombre de secteurs industriels :

I.2.1. Industrie électronique

L'hydrogène est utilisé pour l'élaboration de cristaux de semi-conducteurs de silicium. I.2.2

I.2.2. Hydrogène carburant

La température de flamme très élevée « 2700°C » atteinte avec l'oxygène la fait choisir sous forme liquide comme propulseur des fusées et engins spatiaux.

I.2.3. Industries chimiques

Les utilisations de l'hydrogène sont très variées dans ce domaine.

- ✓ Synthèse de l'ammoniac par réaction avec l'azote pour fabriquer essentiellement des engrais, mais aussi des explosifs, des matières colorantes.
- ✓ Raffinage : hydro sulfuration des fuels pour éliminer le soufre, hydrosulfuration pour améliorer les lubrifiants et pour produire des essences spéciales.
- ✓ Synthèse du méthanol par réaction du gaz à l'eau pour la fabrication de caoutchoucs, de résines et de produits de base pour la synthèse chimique comme l'acide acétique, le chlorure de méthyle, les esters...
- ✓ Chimie organique : hydrogénation d'une part d'un certain nombre de matières pour la production de colorants et d'autre part de précurseurs des sulfamides ou des vitamines.
- ✓ Chimie minérale : production d'eau oxygénée. Les utilisations de l'hydrogène dans l'industrie sont donc très diversifiées [8].

I.3. Modes de production d'hydrogène

Comme nous l'avons mentionné, l'hydrogène n'est pas directement disponible dans la nature. Il a cependant l'avantage de pouvoir être produit à partir des trois grandes sources que sont les énergies fossiles, nucléaire et renouvelable. Mais pour être économiquement et écologiquement viable, la production d'hydrogène doit répondre à trois critères [9].

- Compétitivité : les coûts de production ne doivent pas être trop élevés.
- Rendement énergétique : la production d'hydrogène ne doit pas nécessiter trop d'énergie.
- Propreté : le processus de fabrication doit être non polluant sous peine d'annuler l'un des principaux atouts de l'hydrogène.

I.4. Avantages et inconvénients de l'hydrogène

I.4.1. Les avantages

- L'avantage majeur est que l'hydrogène produit environ 2.8 fois l'énergie par unité de masse que l'essence.
- Quand l'hydrogène est brûlé, la seule émission qu'il fait est la vapeur d'eau, donc un avantage important de l'H₂ est une fois brûlé, le CO₂ n'est pas produit.
- L'H₂ est l'élément le plus abondant dans l'univers « eau, », ce qui représente environ $\frac{3}{4}$ de toutes les matières.
- Réduction de la dépendance du pétrole.
- Non polluant.
- Non toxique.
- Très léger : diffusion aisée dans l'eau.
- Transport aisé.
- Facile à produire.
- Combustible idéal des piles [9].

I.4.2. Les inconvénients

- Sa légèreté implique une densité énergétique volumique moins favorable au transport et au stockage sous forme gazeuse, que pour le gaz naturel.
- Ses limites d'inflammabilité et de détonation avec l'air sont plus larges que celles du gaz naturel. En dehors d'une situation dite « confinée » « c'est-à-dire que le gaz est emprisonné avec de l'air dans un volume fermé ».
- L'hydrogène est moins dangereux que le gaz naturel. En situation confinée, l'énergie explosive théorique par m³ de gaz est 3,5 fois plus faible pour l'hydrogène. L'énergie minimale à fournir pour l'enflammer est 10 fois plus faible que pour celle d'hydrocarbures classiques.

- Sa flamme est presque invisible.
- Son image dans le public n'est pas bonne et son acceptabilité n'est donc pas encore acquise [9].

I.5. Méthodes de production d'hydrogène

I.5.1. Procède de production d'hydrogène

Afin de répondre à la demande déjà existante et celle nécessaire dans la perspective de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique, le développement de procédés intégrant les contraintes que nous avons détaillées est nécessaire. Actuellement, la production d'hydrogène par les procédés maîtrisés est réalisée à 95% en utilisant des ressources fossiles « figure 1 », en particulier par vaporeformage du gaz naturel2 « 48% ». Le vaporeformage du gaz naturel consiste à faire réagir l'hydrocarbure avec de la vapeur d'eau dans une gamme de température comprise entre 973 K et 1373 K. Cette réaction a lieu en deux étapes qui produisent finalement de l'hydrogène et du dioxyde de carbone. La moyenne des seules émissions de dioxyde de carbone liées à la consommation de méthane par ce procédé est de 9 kg d'hydrogène. La production d'hydrogène à partir d'autres ressources fossiles « hydrocarbures 30% et charbon 18% » est réalisée principalement par le procédé d'oxydation partielle. Le composé carboné réagit avec de l'oxygène et de la vapeur d'eau pour réaliser une combustion incomplète, produisant du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Les émissions de CO_2 de ce type de procédés contribuent fortement à l'augmentation de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère [5].

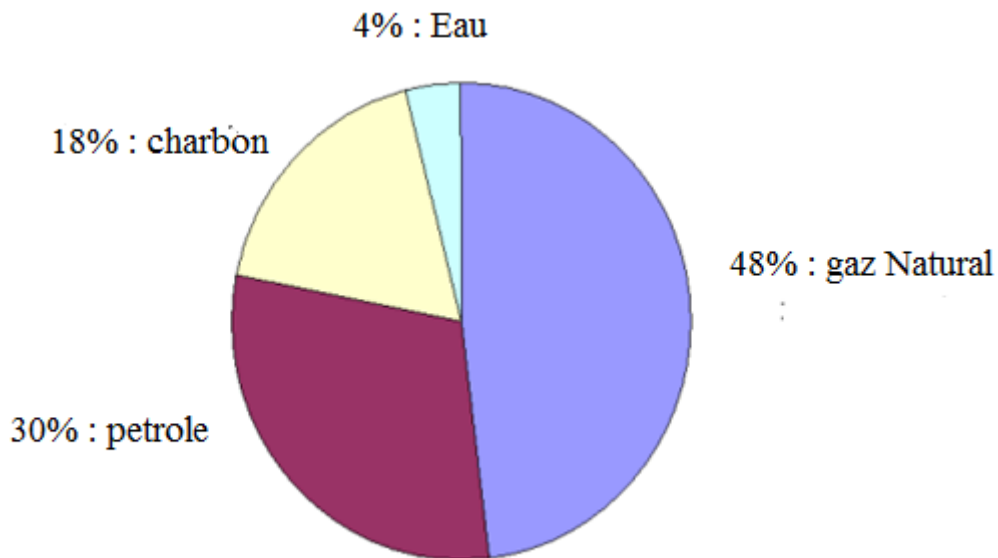


Figure I.1 : Répartition des modes de production d'hydrogène actuels [5].

Les différentes méthodes de synthèse de l'hydrogène vont fortement dépendre de sa source et sont décrits ci-dessous :

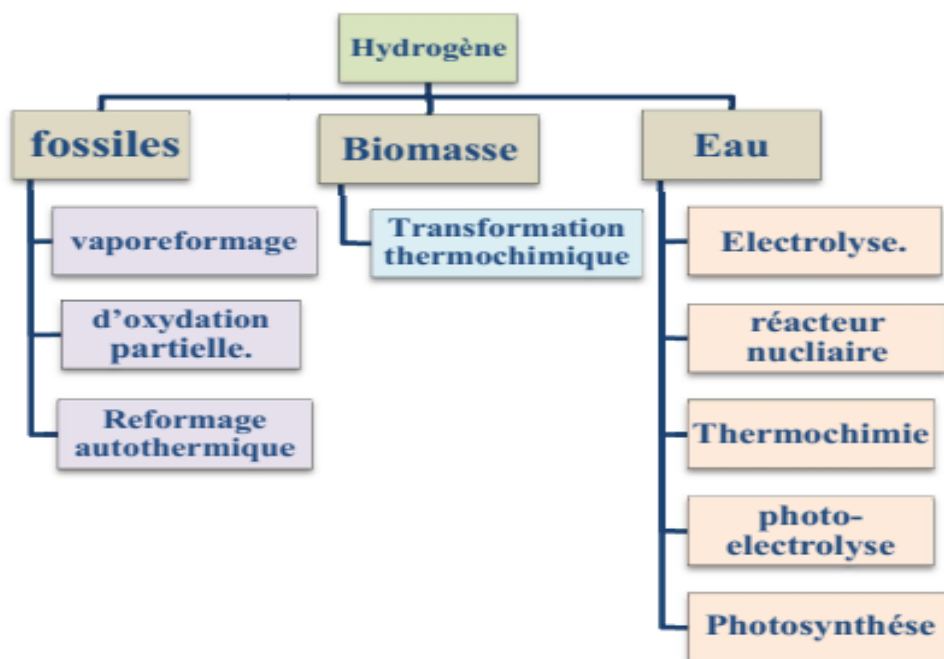


Figure I.2 : Procède de production d'hydrogène [7].

I.5.2. Productions de l'hydrogène à partir des énergies fossiles

De par leur disponibilité, leur prix, leur intégration dans le raffinage et la pétrochimie et leur bonne réactivité chimique, les hydrocarbures, assurent plus de 90% de la fabrication traditionnelle de l'hydrogène. Sans surprise, c'est la matière première dominante « sauf en Chine et en Inde ». La structure des combustibles fossiles à une complexité croissante à mesure que l'on passe des gaz aux liquides, puis aux solides, l'homme les manipule depuis la révolution industrielle et a développé des procédés pour les transformer en produit utilisable plastic, parfums, médicaments, carburant et de l'hydrogène. Certain de ces procédés admet plusieurs types de matières premières bien sûr avec des modifications mais le principe reste le même [6].

I.5.2.1. Le vaporeformage

Le vaporeformage, ou reformage à la vapeur, consiste à transformer les hydrocarbures en gaz de synthèse par réaction avec de la vapeur d'eau et en présence d'un catalyseur à base de nickel, à haute température « 840 à 950°C » et à pression modérée « 20 à 30 » bar Le gaz de synthèse obtenu n'est pas un mélange simple d'hydrogène et de monoxyde de carbone. du fait des différentes réactions mises en jeu, il contient également du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau [7].



Le monoxyde de carbone produit dans la réaction réagit aussi avec l'eau selon l'équation suivante :



I.5.2.2. L'oxydation partielle

On peut synthétiser l'hydrogène par l'oxydation des hydrocarbures en présence d'air ou d'oxygène pur, cette procédure appelée l'oxydation partielle qui est également un processus de production maîtriser [12].

Dans le cas du méthane, l'oxydation partielle de ce dernier peut être décrite par les équations suivantes :



I.5.2.3. Le reformage autotherme

Le reformage Autotherme « ou ATR » est un procédé particulièrement intéressant. On l'utilise essentiellement sur gaz naturel. Il est basé sur l'association, au sein d'un même réacteur, d'une oxydation partielle à l'oxygène pur, suivie d'une zone catalytique de vaporeformage. Sa conception permet de compenser les réactions endothermiques du vaporeformage par les réactions exothermiques de l'oxydation partielle. Dans ce procédé, le gaz naturel et l'oxygène sont mélangés en parallèle à de la vapeur d'eau avant d'être préchauffés. Ils sont ensuite dirigés vers le réacteur « catalyseur à base de nickel, pression de 20 à 60 bars et température de 900 à 1100°C », pour la production de gaz de synthèse. Le rapport $\frac{H_2}{CO}$ « naturel » du gaz de synthèse obtenu est compris entre 2 et 2.8, mais le procédé possède la souplesse nécessaire pour ajuster ce rapport entre 1 et 3.5 selon les besoins de l'utilisateur final : une augmentation de la quantité de vapeur d'eau injectée permet d'augmenter ce rapport, tandis que le recyclage total ou partiel du CO_2 en sortie de réacteur permet de le diminuer [14].

Le reformage autotherme est une combinaison de l'oxydation partielle et du vaporeformage présentée dans les équations suivantes :

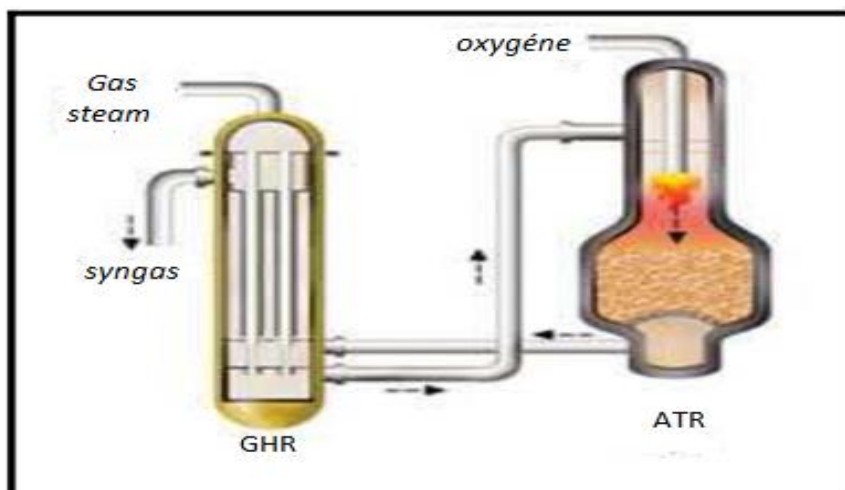
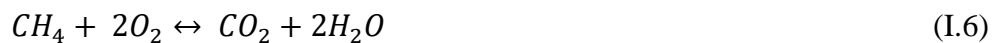


Figure I.3 : Procédé de reformage auto thermique [13].

I.5.3. Production d'hydrogène par décomposition d'eau

1.5.3.1 Production Par électrolyse de l'eau

La production d'hydrogène par la technique d'électrolyse est actuellement très intéressante, car elle utilise une source d'énergie non productrice de gaz à effet de serre « énergie renouvelable ». De plus, elle reste la technique de base pour fournir aux applications qui exigent de petits volumes d'hydrogène de grande pureté, notamment l'industrie des semi-conducteurs et de l'alimentaire [14].

Le processus d'électrolyse ne nécessite pas des parties mobiles. Cette technique est très propre et rentable, et peut produire plus de 99.98% d'hydrogène gaz pur [10].

Ce processus repose sur la dissociation de la molécule d'eau en ses deux éléments Constitutifs, « H₂ et O₂ » par l'effet de l'énergie électrique [12].

1.5.4. Electrolyse de l'eau

1.5.4.1. Historique de l'électrolyse de l'eau

C'est à William Nicholson, chimiste britannique du XVIII^e siècle (1753-1815), 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 [17].

1.5.4.2. L'électrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau consiste à séparer l'eau H₂O en hydrogène H₂ et oxygène O₂ lors d'une réaction d'oxydo-réduction. Le procédé industriellement disponible à l'heure actuelle consiste à réaliser cette électrolyse à l'aide d'électricité. Au regard du coût de la production par électrolyse, seul 4% de l'hydrogène est actuellement produit par électrolyse dans les cas où l'électricité est bon marché ou lorsqu'une haute pureté d'hydrogène est nécessaire [18].

1.5.4.3. Principe de l'électrolyse de l'eau

L'eau ne se décompose pas spontanément en hydrogène et en oxygène. Il faut lui fournir de l'énergie pour cela. L'électrolyse de l'eau est donc une réaction électrochimique (forcée), qui se fait dans un appareil particulier appelé électrolyseur. Dans un tel appareil, on injecte un courant

électrique « à l'aide d'un générateur électrique » et de l'eau liquide, et l'on récupère en sortie de l'hydrogène et de l'oxygène gazeux. On fait donc de la chimie, c'est-à-dire que l'on transforme un composé chimique « l'eau » en d'autres composés chimiques (hydrogène et oxygène), avec de l'électricité [17].

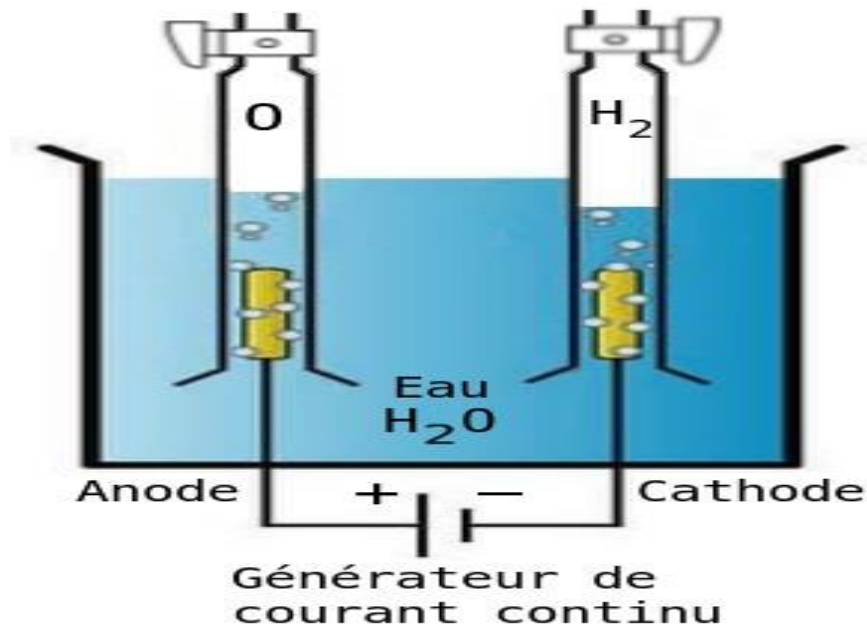
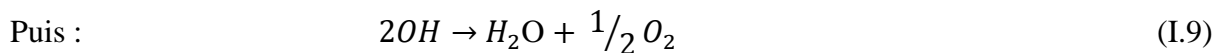
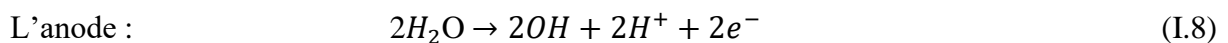
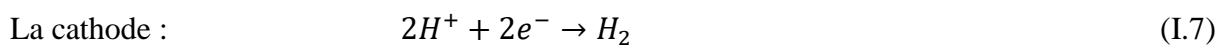


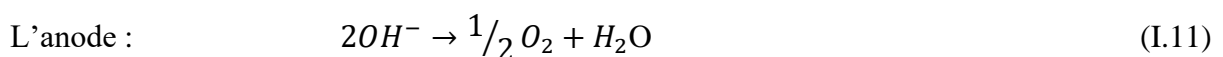
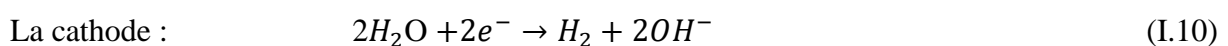
Figure I.4 : Principe d'électrolyse de l'eau [19].

I.5.4.4. Thermodynamique de l'électrolyse de l'eau

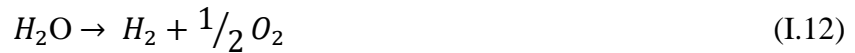
En solution acide, on admet généralement que la décomposition de l'eau s'effectue suivant les réactions [18].



En lotion alcaline, par contre, les ions OH^- prédominent et le phénomène est habituellement exprimé par :



Dans les deux cas, la réaction globale s'écrit :



$\Delta H = 285 \text{ kJ/mol } H_2O$ enthalpie de dissociation de l'eau.

L'équation de Nernst exprime la tension de décomposition réversible sous la forme [21] :

$$E_{rev} = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_{H_2} P_{O_2}^{\frac{1}{2}}}{a_{H_2O}} \quad (I.13)$$

R : constante molaire des gaz (= 8,314 4 J/mol).

T(K) : température thermodynamique.

F : constante de Faraday (= 96 487 c/mol).

$E(V)_0$: tension de décomposition réversible dans les conditions normales (0 °C pression atmosphérique)

$P_{H_2} = P_{O_2} = P(P_a)$: pression de service de l'électrolyseur.

a_{H_2O} = Activité de la lotion.

D'où [21] :

$$E_{rev} = E_0 + \frac{3RT}{4F} \ln P - \frac{RT}{2F} \ln a_{H_2O} \quad (I.14)$$

Cette tension de décomposition réversible s'établit à 1,229 V dans les conditions normales.

À température ambiante (20 °C), on a [21].

$$E_{rev} = 1.233 + 0.0435 \lg P \quad (I.15)$$

Un accroissement de pression augmente la tension de décomposition réversible, mais, en pratique, le fonctionnement irréversible des électrolyseurs industriels a pour effet de réduire la tension de cellule effective à densité de courant et température constantes lorsque la pression augmente.

La tension thermomètre correspond au fonctionnement isotherme de l'électrolyseur. Elle s'exprime par [21] :

$$E_{rev} = \frac{\Delta H}{2F} = 1.48 V \quad (\text{à } 298 K) \quad (\text{I.16})$$

✓ Rendement énergétique

Le rendement énergétique d'un électrolyseur en générale est donné par le rapport entre la quantité d'énergie théorique W_t et la quantité d'énergie réelle W_r nécessaire pour électrolyser une quantité donnée de matière produite [7].

$$\varepsilon = \frac{W_t}{W_r} \quad (\text{I.17})$$

Avec : $W_r = U.I.t$ (I.18)

Où I est le courant 'A' et t le temps

W_t Peut être défini à partir de la tension réversible d'électrolyse E_{rev} ou de la tension thermo neutre E_{th} :

$$W_t = E_{rev}.U.t \quad (\text{I.19})$$

$$W_t = E_{th}.U.t \quad (\text{I.20})$$

Le rendement de la réaction d'électrolyse peut se définir de deux façons différentes :

Rendement énergétique : $\varepsilon_{\Delta G} = \frac{E_{rev}}{U}$ (I.21)

Rendement enthalpique : $\varepsilon_{\Delta H} = \frac{E_{th}}{U}$ (I.22)

✓ Rendement Faradique

Le rendement faradique « ε_F » exprime l'efficacité coulomb que des processus aux interfaces. il dépend de la densité de courant « j » s'exprime sous la forme :

$$\varepsilon_F = 2F \frac{FH_2}{J} \quad (\text{I.23})$$

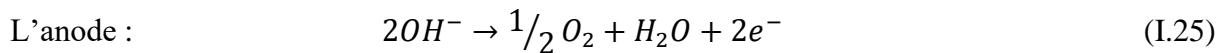
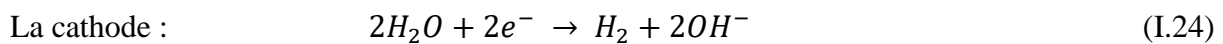
Le rendement faradique est en général proche de 1. Cependant, en électrolyse de l'eau l'étanchéité des séparateurs aux gaz (hydrogène et oxygène) n'est pas totale : H_2 peut diffuser vers l'anode et O_2 vers la cathode pour se recombiner et redonner de l'eau (phénomène de « cross over »), ce qui tend à diminuer l'efficacité faradique

I.5.4.5. Les différentes technologies d'électrolyseurs

❖ Electrolyseurs alcalins

Electrolyse alcaline est la technologie la plus répandue pour la production d'hydrogène électrolytique mais également pour la production de nombreux composés chimiques dont le chlore. Elle bénéficie ainsi d'une très grande maturité industrielle [20].

Dans un électrolyseur à technologie alcaline, l'électrolyte est une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium (KOH). La conduction ionique est alors assurée par les ions hydroxyde (OH^-) et potassium (K^+). Les réactions anodiques et cathodiques sont décrites ci-dessous :



La figure ci-après illustre de manière schématique l'électrolyse alcaline.

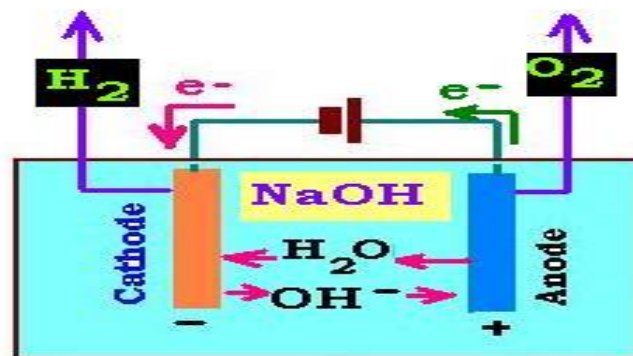
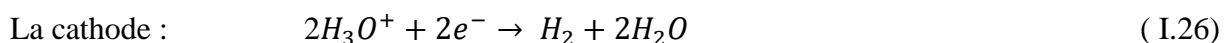
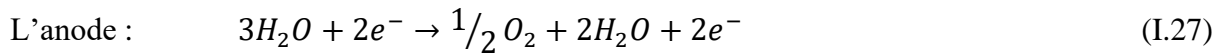


Figure I.5 : Principe de l'électrolyse alcaline [40].

❖ Electrolyseurs PEM

Le principe de fonctionnement d'un électrolyseur PEM « Proton Exchange Membrane » est fondé sur le même concept qu'une pile à combustible PEM. La principale caractéristique de l'électrolyseur PEM est son électrolyte solide, constitué d'une membrane polymère. Il assure ainsi la conduction des ions hydronium (H_3O^+) produits à l'anode et permet la séparation des gaz produits (H_2 et O_2), selon les réactions ci-dessous :





Le principe de l'électrolyse PEM est décrit schématiquement par la figure I.6. Les performances de l'électrolyseur PEM dépendent essentiellement des caractéristiques de la membrane et des catalyseurs utilisés. Ces deux composants constituent encore aujourd'hui les principaux verrous technologiques de l'électrolyse PEM [22].

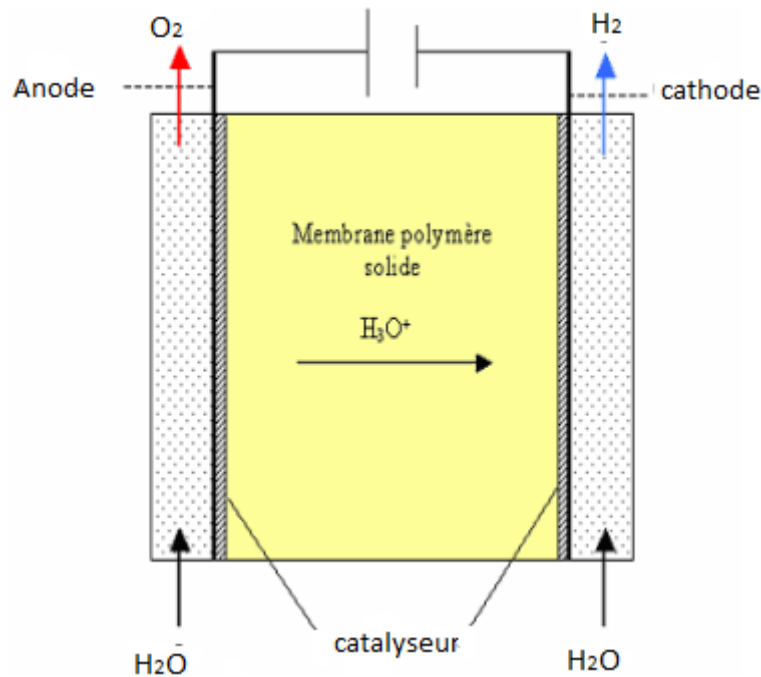
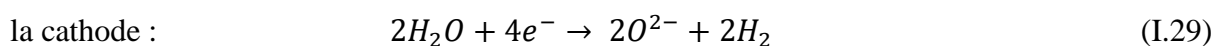
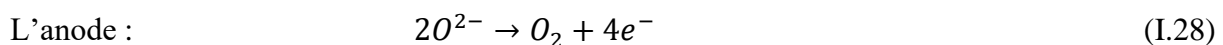


Figure I.6 : Principe schématique de l'électrolyse PEM [23].

❖ Electrolyseurs à haute température

Le principe de l'électrolyse à haute température (Figure 1.7) repose sur la décomposition des molécules d'eau sous forme vapeur au niveau de la cathode. Cette décomposition dépend alors de la nature de l'électrolyte. Celui-ci peut assurer soit une conduction protonique soit une conduction d'ions superoxydes O^{2-} . Les réactions mises en jeu au niveau des électrodes sont décrites ci-dessous en fonction du type d'électrolyte [12].

- Electrolyte à conduction d'ions superoxydes :



- Electrolyte à conduction protonique :

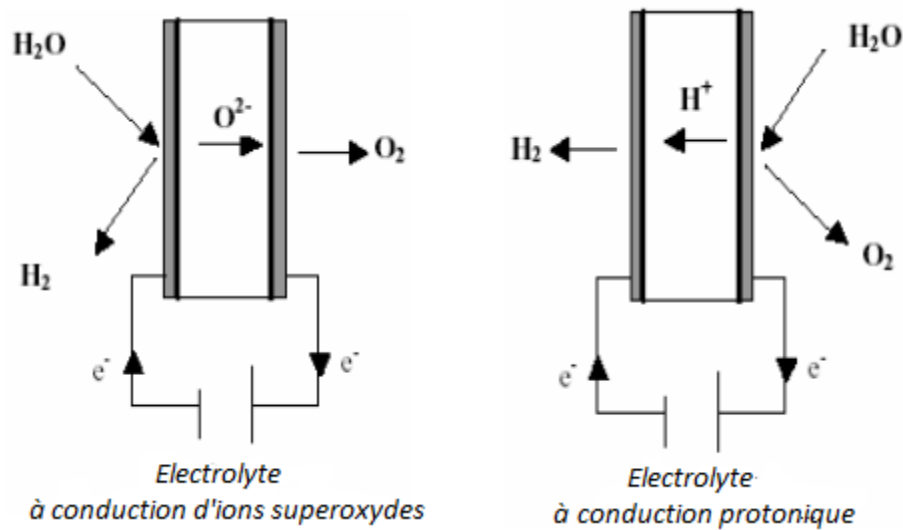
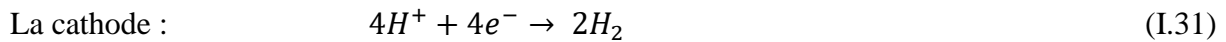
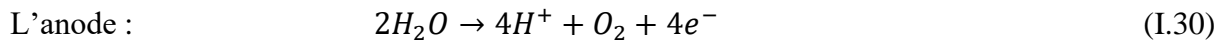


Figure I.7 : Principe de l'électrolyse à haute température selon le type d'électrolyte [23].

I.5.4.6. Comparaison des différentes technologies d'électrolyse de l'eau

Depuis 1998, une étude bibliographique est menée sur l'électrolyse de l'eau en technologie alcaline dans le cadre du programme WE-NET « World Energie – Network ». Cette étude a pour but de comparer cette technologie par rapport à l'électrolyse PEM de l'eau. La figure I.9 permet ainsi d'esquisser une première comparaison. On constate que la technologie alcaline à haute température et haute pression « dite technologie avancée » possède actuellement les meilleurs rendements pour des densités de courant inférieures à $1 A/cm^2$ [22].

Quand les objectifs du programme WE-NET concernant l'électrolyseur PEM « rendement de 90% pour une densité de courant de $1 A/cm^2$ » seront atteints, cette technologie sera alors beaucoup plus intéressante que celle citée précédemment, les conditions de température et de pression étant beaucoup moins pénalisantes d'un point de vue énergétique. En outre l'absence de liquides corrosifs « KOH pour l'électrolyse alcaline » favorisera son utilisation :

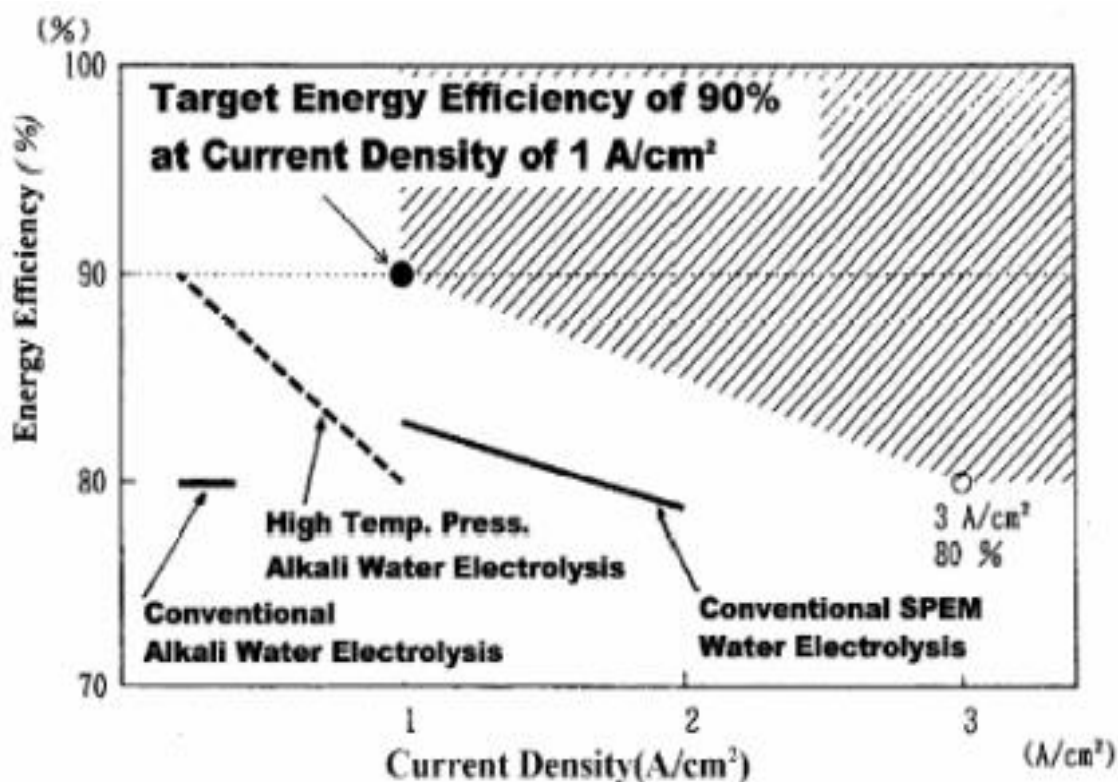


Figure I.8 : Rendements des différentes technologies électrolyseurs [22].

La très bonne fiabilité de la technologie alcaline est vraisemblablement un de ses principaux avantages. On annonce des durées de vie de 10 ans voire 30 ans avec une importante fréquence d'utilisation. La technologie alcaline est donc excellente d'un point de vue économique.

1.5.5. Electrolyse de l'eau par photovoltaïque

La photo-électrolyse de l'eau est la dissociation par le courant électrique produit par l'éclairage d'une photo catalyseur à semi-conducteur. Des cellules photo électrochimiques (PEC) « électrodes photo actives » immergées dans un électrolyte aqueux ou dans l'eau et illuminées par la lumière solaire peuvent décomposer l'eau en hydrogène et en oxygène. Sous leur forme la plus simple, elles peuvent être décrites comme des dispositifs photovoltaïques/électrolytiques intégrés ou monolithiques. Une large variété de processus PEC et de photo catalyse susceptibles de dissocier l'eau sont étudiés de par le monde. Des études ont été menées en particulier par l'International Energy Agency (IEA) [7].

Bien qu'intrinsèquement simples, les aspects scientifiques et de développement des matériaux de cellules.

PEC pour la production d'hydrogène en sont encore au stade préliminaire de la recherche fondamentale.

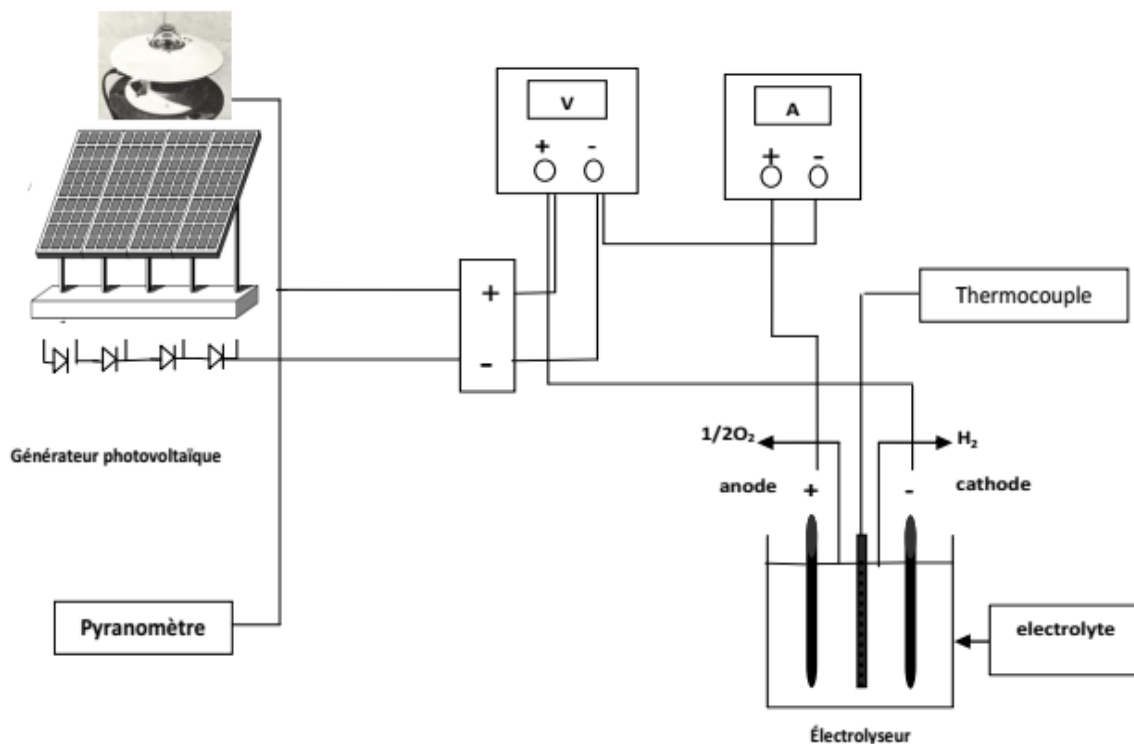


Figure I.9 : Schéma de Electrolyse de l'eau par photovoltaïque [7].

I.6. Conclusion

La production d'hydrogène devra être multipliée par 20 d'ici 2050 pour assurer 20% de la demande énergétique. Pour parvenir à ce niveau de production les techniques les plus prometteuses à moyen terme sont l'électrolyse et les cycles thermochimiques. La production par voie biologique ou solaire n'interviendra probablement qu'en seconde génération. A court terme, les développements s'axeront probablement sur les techniques de reformage.

La production à partir de la biomasse est également un procédé prometteur à étudier. Il va notamment présenter des risques similaires à ceux rencontrés dans le reformage auto thermique.

Chapitre II : Etude la nature d'eau d'El Oued

La wilaya d'El-Oued, avec ses 30 communes et 12 daïras, occupe une superficie de 44586 km² avec une population de 652210 habitants « Recensement de 2006 », soit une densité de 15 habitants/km². Elle est située au Sud-Est de l'Algérie, limitée à l'Ouest par la wilaya de Djelfa, au sud et au sud-ouest par la wilaya de Ouargla, au Nord par la wilaya de Biskra, de Tébessa et Khenchela et à l'Est par la république Tunisienne (figure 1 et 2) [28].



Figure II.1 : Situation géographique de la wilaya d'El-Oued [28].

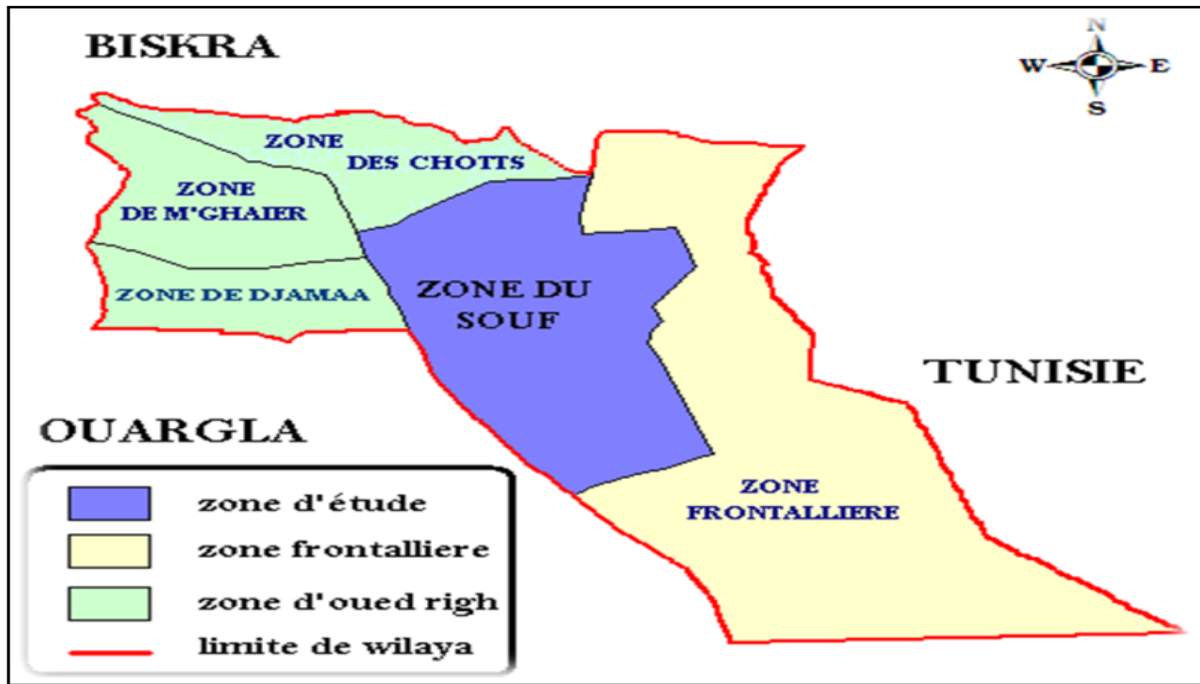


Figure II.2 : Les frontières de la région du Souf [25].

II.1. Contexte climatologie

Le climat d'El-Oued est un climat saharien se caractérise par un faible taux des précipitations et des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif. Comme référence l'en l'absence des stations climatiques couvrant toute la Wilaya, on prendra la station de Guemar pour caractériser la zone d'étude. Les coordonnées géographiques de cette station sont :

- Code A.N.R.H : 13 04 14
- Altitude : 64 m
- Longitude : 06°47' E, Latitude : 33°30' N

Pour étudier les données de cette station, nous nous sommes basés sur une série de mesures s'étalant sur ans (2017). Cette série est la plus récente et ne présente pas de lacunes « voire tableau 1 suivant » [27].

Tableau II.1 : Données climatiques période 2017 [26].

Mois	Température $T_{\text{moy}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Vent (m/s)
Janvier	10,8	8	80,30	64,89	1,83
Février	13	8	93,10	56,24	2,34
Mars	16,5	11	167,70	49,49	2,85
Avril	20 ,7	7	203	43,43	3,08
Mai	25,5	5	288,5	38,5	3,07
Juin	30,2	2	337,7	34,74	2.92
Juillet	33,4	0	361,5	31,90	2.45
Août	32,6	1	321,3	34,63	2.17
Septembre	29	5	184.2	46,93	2.20
Octobre	22,6	8	144 ,8	52,7	1,69
Novembre	15,9	11	105,2	60,04	1,60
Décembre	11,2	8	87,3	66,80	1,56
Moyenne	21,78	6.16*	197.88*	48,35	2,31

II.2. Les précipitations

Les précipitations sont un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Les variations moyennes mensuelles interannuelles des précipitations d'une durée d'observation de ans 2017 sont de l'ordre de 70,29 mm, resserrées dans le tableau 1. La pluviométrie maximale est de l'ordre de 11 mm enregistré pendant le mois de Janvier, et le minimum est de l'ordre de 0 mm enregistré pendant le mois de Juillet. « Figure 2 » [27].

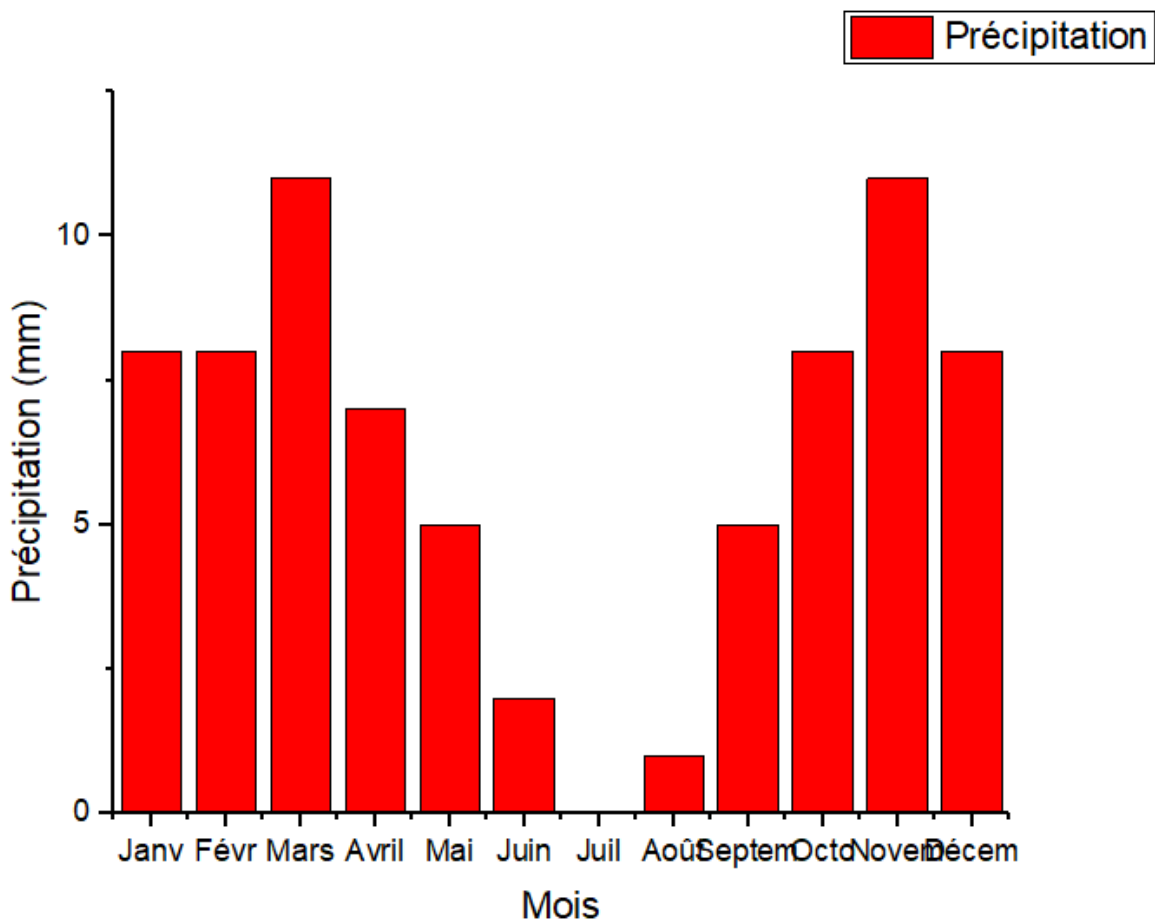


Figure II.2 : *La variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations 2017.*

II.3. La température

Les températures de la station de Guemar nous ont été fournées par l'ONM pour une période de ans « 2017 ».

D'après le tableau 1, les données climatiques de la période 2017, montre la variation moyenne mensuelle d'une période froide qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril avec un minimum durant le mois de Janvier « 10,8°C », alors que la période chaude commence à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre avec un maximum de température relevé pendant le mois de Juillet « 33,4°C » [27].

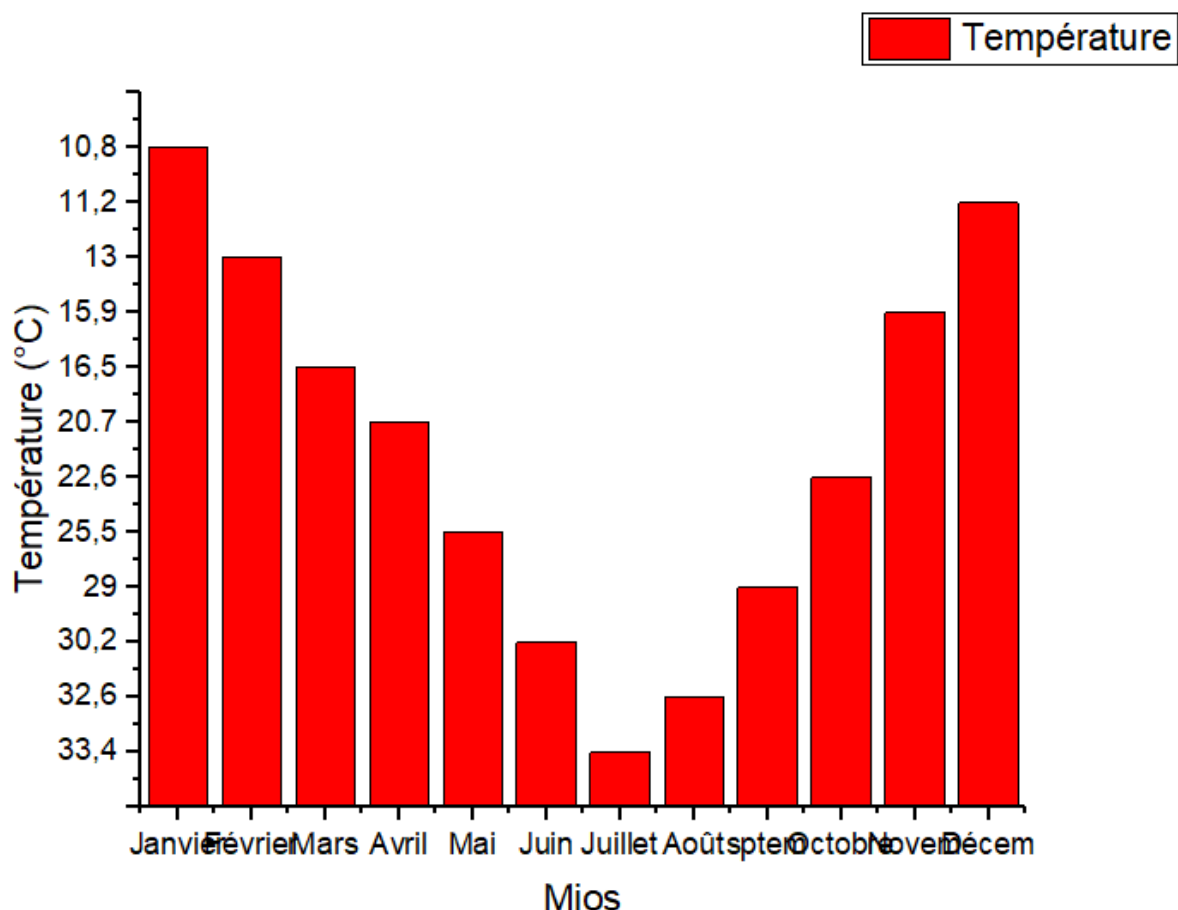


Figure II.3 : La variation moyenne mensuelle interannuelle de la température 2017.

II.4. L'Évaporation

Le terme d'évaporation désigne les pertes en eau des nappes d'eau libres sous forme de vapeur (lacs, retenues, mares), alors que l'évapotranspiration regroupe les pertes du sol : absorption de l'eau par le couvert végétal ou animal, et restitution à l'atmosphère par transpiration.

L'évapotranspiration est liée à un certain nombre de paramètres climatiques tels que température, vent, humidité, rayonnement etc. L'enregistrement de facteur d'évaporation au cours des dernières années, révèle des valeurs importantes entre 250 mm et 300 mm, peuvent être interprété sans une augmentation significative, la figure.4 représente les changements relatifs de la période 2017 [27].

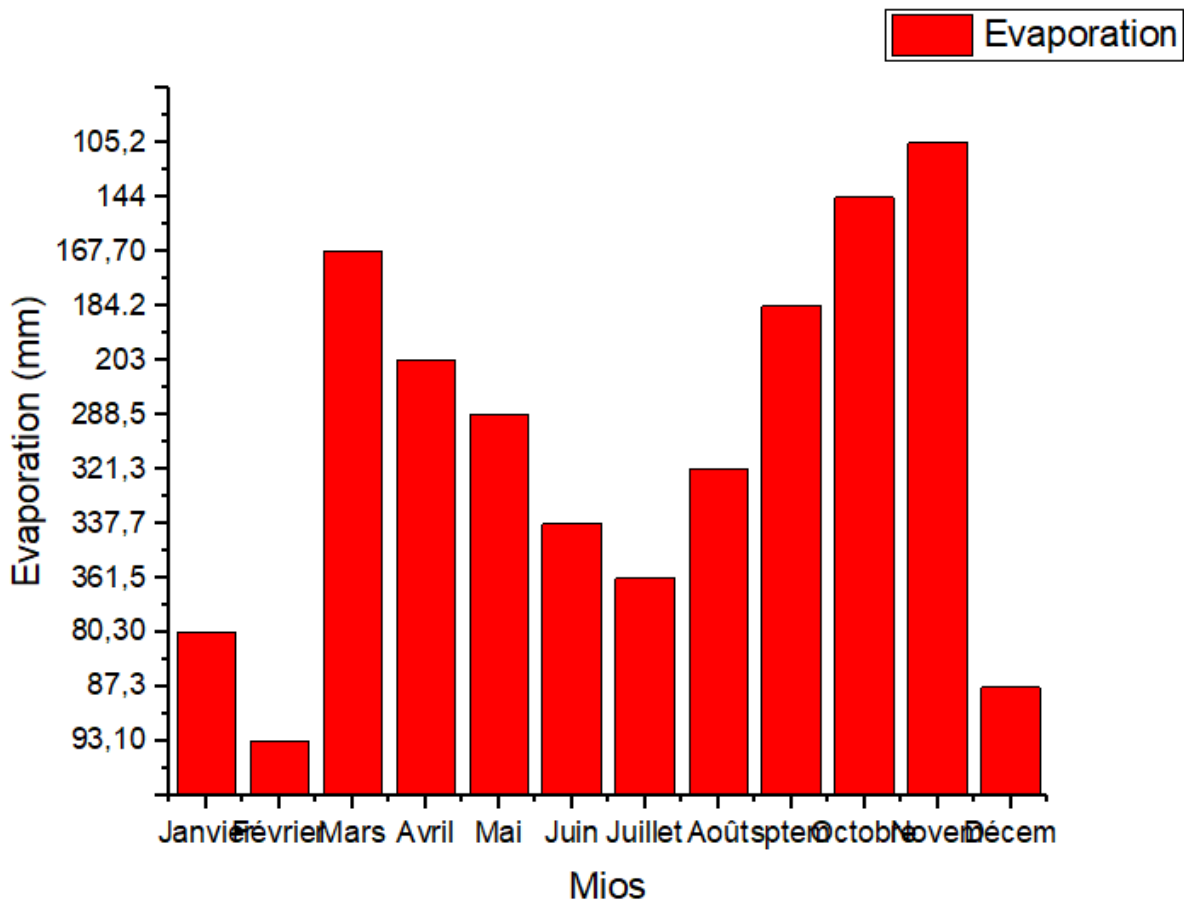


Figure II.4 : La variation moyenne mensuelle interannuelle d'Evaporation 2017.

II.5. L'humidité

L'humidité relative de l'air est faible, de l'ordre de 31,9% en Juillet et atteignant un maximum de 66,8% en décembre. La moyenne annuelle est de 48,35% [28].

II.6. L'insolation

L'ensoleillement est de 274,6 h/mois, avec un maximum de 344,9 heures en Juin et un minimum de 204,5 heures en Décembre. La durée d'insolation moyenne annuelle calculée entre 2016 et 2017 est de 3295,2 h/mois, soit 9,02 h/jour [28].

II.7. Données hydrogéologiques

La wilaya d'El Oued se subdivise en deux vallées distinctes : Souf et Oued Righ Nord. Elles présentent des potentialités en eau assez importantes, représentées par trois types d'aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique, les autres sont captifs, correspondant aux nappes du complexe terminal et du continental intercalaire [25].

II.7.1. Région du Souf

La région du Souf regroupe toute la vallée du Souf y compris les régions de Ben Guecha, Taleb Larbi et Douar El Ma. Elle est limitée au Nord par le chott Melghir et le chott Merouane, au Sud par l'extension de l'Erg oriental, à l'Ouest par l'Oued Righ et à l'Est par la frontière tunisienne. Les potentialités en eau dans cette grande région sont de l'ordre de 318 Hm³/an.

II.7.1.1. La nappe phréatique

La majorité des échantillons se coïncident sur les pôles caractérisant les faciès sulfatés magnésique et sulfaté sodique. La représentation des échantillons sur le diagramme de Richards « Figure 5 » montre que, les eaux de la nappe phréatique sont très minéralisées et de mauvaise qualité pour l'irrigation. L'origine de la salinité des eaux de la nappe libre est la dissolution des évaporites et la concentration des sels à la suite de l'évaporation de l'eau dans les zones où la nappe se trouve à une faible profondeur et dans les zones agricoles male drainé où on constate que l'évaporation de l'eau est très importante, on ajoute aussi la salinisation des eaux d'origine anthropique, causé par l'évacuation des eaux usées industrielles ou domestiques.

La teneur en fluor dans les eaux de la nappe phréatique est supérieure à l'énorme de l'OMS « 1.5 mg/l », elle varie entre 2 et 6 mg/l, plus de 60% de la superficie des forages présentant une teneur en fluor comprise entre 3 et 4 mg/l. la partie située à l'est de la vallée se distingue International Journal for environnement & global climat Change par une forte teneur de 4 à 6mg/l. la faible teneur en fluor « 2 mg/l », se localise l'extrémité nord de l'aire d'étude [35].

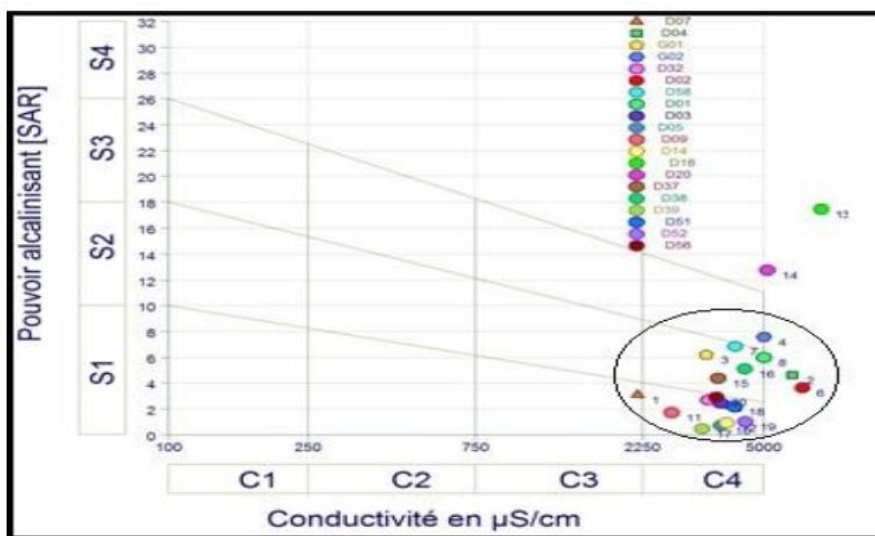


Figure II.5 : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued [35].

II.7.1.2. La nappe du Complexe Terminal

Cette nappe est captée à une profondeur comprise entre 200 et 500 m. Le nombre de forages exploités pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable est de 187 forages avec un débit d'exploitation moyen par forage allant de 25 à 35 l/s. Le débit total pompé en 2004 est de 61 Hm³/an. Le niveau hydrostatique, selon les zones, fluctue entre 10 et 60 m, La salinité de l'eau oscille entre 2 et 3 g/l.

II.7.1.3. La nappe du continental intercalaire

Trois forages exploitent cette nappe, dont deux destinés à l'alimentation en eau potable et un pour l'irrigation. Ces nappes sont captées à 1900 m. Le résidu sec varie entre 2 à 3 g/l avec une température de plus de 60°C. Le débit extrait, en 2004, sur toute la vallée est de l'ordre de 10,09 Hm³/an [28].

II.8. Région d'Oued Righ

II.8.1. Ressources en eau

Les ressources en eau dans la région sont considérables, surtout depuis la découverte de l'albien. Le débit est estimé à 10097 l/s en 1990 « BNEDER, 1994 ».

Cependant, la qualité de ces eaux peut poser certains problèmes, il s'agit d'eau sulfatée, calcimagnésique plus ou moins prononcée.

Les résultats des analyses effectuées à l'I.N.RAA. de Sidi Mehdi montrent que l'eau provenant de l'albien est moins salée, avec un résidu sec de 2 à 2.7 g/l, mais chaude « plus de 50°C », par contre celle provenant du Miopliocène est froide, mais plus salée, avec un résidu sec de 5 à 7 g/l.

II.8.1.1. Complexe Terminal

Les nappes du Complexe Terminal sont empilées en système compliqué et diversifiées, elles s'écoulent du Sud vers le Nord.

✓ La nappe phréatique

Est constituée d'un ensemble de lentilles entrecoupées et argiles gypseuses dont les minéraux perméables renferment les eaux captives les plus proches de la surface. Son emploi dans la palmeraie est trop délicat à cause de sa forte salinité « plus de 15g/l » d'où la nécessité du drainage.

✓ La nappe du Miopliocène

Est rencontrée à une profondeur de (60 à 80 m), ces eaux sont très salées (5 à 7g/l), son toit est constitué de calcaire plus ou moins gréseux.

✓ La nappe du Sénonien

Elle est située à une profondeur de (100-200 m) et elle est contenue dans les calcaires du sénonien supérieur et de l'éocène inférieur.

✓ La nappe du Continental Intercalaire

Dans cette zone région, la nappe est captée par 17 forages, dans 08 sont en service, avec un débit moyen oscillant entre 150 et 180 l/s par forage. La profondeur de cette nappe est de 1800 à 2100 m. La salinité varie entre 2 et 3 g/l de résidu sec selon les zones. Cette nappe est utilisée uniquement pour l'alimentation en eau potable dans la région de Djamaa. La température de l'eau est de plus de 60°C. Les eaux de cet aquifère présentent un résidu sec variant entre 1,8 à 2,1 g/l. Le faciès chimique dominant est de type sulfaté magnésien au Sud, tandis qu'au Nord, il est sulfaté sodique [29].

II.8.2. La nappe du continental intercalaire

Dans cette zone région, la nappe est captée par 17 forages, dans 08 sont en service, avec un débit moyen oscillant entre 150 et 180 l/s par forage. La profondeur de cette nappe est de 1800 à 2100 m. La salinité varie entre 2 et 3 g/l de résidu sec selon les zones. Cette nappe est utilisée uniquement pour l'alimentation en eau potable dans la région de Djamaa. La température de l'eau est de plus de 60°C. Les eaux de cet aquifère présentent un résidu sec variant entre 1,8 à 2,1 g/l. Le faciès chimique dominant est de type sulfaté magnésien au Sud, tandis qu'au Nord, il est sulfaté sodique [28].

II.9. Vers une gestion rationnelle des ressources en eaux

A l'échelle communale, à partir de l'an 2001, les élus locaux ont pris des mesures concrètes qu'ont été appliquées au début au niveau de la commune de Guemar puis exécutées sur tout le territoire de la Wilaya, parmi ces mesures :

La réduction des horaires d'allocations d'AEP « 02 heures/24 heures au lieu de 24 heures/24 heures pour chaque cité ».

- La création de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique pour l'agriculture.

- L'arrêt d'exécution des nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI remplacés par des puits dans la nappe phréatique.
- Développement des zones agricoles irriguées depuis la nappe phréatique : le développement d'exploitations agricoles irriguées depuis la nappe phréatique dans ou aux alentours des zones touchées joue un rôle important pour stabiliser ou inverser la tendance à la remontée, ces exploitations rejetant dans l'atmosphère 10000 à 15000 m³ d'eau/ha par an.
- La mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles « irrigués par les méthodes modernes à savoir l'aspersion et la localité » a eu un impact positif remarquable par une stabilisation ou même une baisse du niveau piézométrique dans certaines des zones affectées comme le cas des environs du Centre Universitaire d'El-Oued (Figure 6).
- Remblayage des Ghouts (Figure 7).

Le remblayage des Ghouts ennoyés n'est pas une mesure pour inverser le phénomène, mais permet de limiter la prolifération de moustiques et les décharges en milieu urbain. Il évite que l'eau de la nappe se charge en sels par évaporation [30].



Figure II.6 : *Création des nouveaux périmètres agricoles autour de la ville d'El-Oued [30].*



Figure II.7 : Ghout récemment remblayé par les autorités publiques [30].

II.10. Pollution par les Nitrates NO_3

Le taux des Nitrates dans la nappe phréatique d'El-Oued, varient entre 1,5 et 220 mg/L, les valeurs les plus faibles sont mesurées dans les plantations de Mahri, à l'ouest de l'Ogla et Bayadha, à Sidi Abdalah et au sud de Kouinine, due à la dilution des eaux de la nappe phréatique par les apports des nappes profondes de CT et dans les ghouts ennoyés recouverts de roseaux à la suite de leur utilisation pour la croissance des roseaux et au niveau du rejet d'El-Oued, où l'oxygène nécessaire à la respiration des microorganismes est assuré par la dénitrification des nitrates. Les valeurs de NO_3 dans la plupart des forages sont supérieures à l'énormes (50 mg/L), Ils proviennent essentiellement des eaux usées et des fosses perdues, dans les zones urbaines, surtout à la partie sud est comme, l'est Bayadha, El-Oued et Robbah, et des activités agricoles dans d'autres régions comme la plantation de Ogla, Nakhla et Khobna [31.32].

II.11. Qualité microbiologique de l'eau

L'analyse microbiologique des eaux de nappe phréatique d'El-Oued, montre que : a l'exception des forages D04, G01 et G02 qui situe dans les régions éloigne du centre-ville, tous les forages analysés, sont contaminer par les coliformes thermo tolérants « Escherichia coli, Enterobacter cloacae, Salmonella, Yersinia enterocolitica, etc. », streptocoques fécaux (genres Enterococcus et Streptococcus) et bactéries aérobies, ce qu'ils rendre inaptes à la

consommation. Ses microorganismes proviennent de fosses septiques et des fuites dans le réseau d'assainissement, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières et du rejet d'eaux superficielles [32.33].

II.12. Qualité des eaux physique et chimiques

II.12.1. La Conductivité électrique

La conductivité indique la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle dépend de la présence des ions et de leur concentration relative, ainsi que de la température à laquelle s'opère la mesure. La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation globale de 33 l'eau Elle s'effectue à l'aide d'un conductimètre [38.39].

Les valeurs mesurées de la conductivité dans les nappes de complexe terminal et la nappe de continental intercalaire, dépassent les normes ($>1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$) de potabilité de l'OMS, voir supérieure $2500 \mu\text{S.cm}^{-1}$, et communiquent une minéralisation excessive [36].

Tableau II.2 : Variations de la CE dans les eaux de CT et de CI [36].

Nappe	CT	CI
Paramètre	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)
Moy	3635	2810
Min	2790	2470
Max	4480	3150

II.12.2. Potentille d'hydrogène (PH)

Pour cette détermination, nous utilisons une méthode électro métrique avec électrode combinée selon la norme AFNOR. Cette méthode consiste à plonger dans l'échantillon, (une électrode spécifique) [37].

II.12.3. Turbidité

Méthode néphélo-métrique, le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux

particules en suspension. Le photomultiplicateur d'électron situé à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie lumineuse en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité [37.38].

II.12.4. Le Chlorure (Cl⁻)

Les teneurs de Sodium Na⁺ dans les eaux de soit dans les nappes de complexe terminal soit dans la nappe de continental intercalaire, dépassant la valeur guide situable pour l'eau de boisson (250 mg. l⁻¹).

Tableau.II.3 : Les teneurs de Sodium Na⁺ dans les eaux de CT et de CI [36].

Nappe	CT	CI
Paramètre	Cl ⁻ (mg. l ⁻¹)	Cl ⁻ (mg. l ⁻¹)
Moy	713.5	541.4
Min	455.1	492.8
Max	982.3	590

II.12.5. Le Sodium (Na⁺)

Pour des considérations liées à des critères gustatifs, l'OMS recommande une valeur limite de 200 mg/L alors que les directives du conseil des communautés Européennes indiquent comme niveau guide 20 mg/L de sodium et comme concentration maximale admissible 150 mg/L avec un percentile de 80.

L'existence de Sodium est liée, essentiellement, à la dissolution de l'Halite. En effet, le sodium, de même que pour les chlorures, affiche des teneurs élevées et non homogènes dans les eaux du complexe terminal CT, avec des valeurs maximales de plus de 982 mg/l. Les eaux de continental intercalaire, présentant des teneurs moins élevées, mais elles sont toujours très supérieur à 150 mg/l [36].

Tableau.II.4 : Les teneurs de Sodium Na⁺ dans les eaux de CT et de CI [36].

Nappe	CT	CI
Paramètre	Na ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)

Moy	629.2	344.5
Min	335	228
Max	923.6	461.1

II.12.6. Le Potassium (K^+)

Le Potassium provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence la Sylvie (KCl), ou par suite d'altération des argiles potassiques dans les deux aquifères étudiées. Les teneurs en potassium observées dans les eaux des deux nappes (Tableau.5) dévoilent des valeurs élevées par rapport les valeurs guides. Les directives du conseil des communautés Européennes indiquent comme teneur de potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 10 mg/L et une concentration maximale admissible de 12 mg/L.

Les valeurs maximales sont enregistrées dans les eaux du CT, avec 73 mg/l, et dans les eaux du CI, avec 50 mg/l. Ces valeurs sont, relativement élevées [36].

Tableau.II.5 : Les teneurs de Potassium (K^+) dans les eaux de CT et de CI [36].

Nappe	CT	CI
Paramètre	K^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)
Moy	41	36
Min	9	22
Max	73	50

II.12.7. Le Sulfate (SO_4^{2-})

La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation. Suivant ceux-ci, et selon l'intolérance des consommateurs, il est susceptible d'en résulter des troubles gastro-intestinaux, en particulier chez l'enfant. Toutefois l'action laxative plus importante en présence de magnésium s'estompe rapidement avec l'accoutumance. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur « goût, corrosion », l'OMS recommande comme

valeur limite 250 mg/L. Les directives du Conseil des Communautés Européennes indiquent un niveau guide de 25 mg/L (SO_4) et une concentration maximale de 250 mg/l.

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses. Les concentrations des sulfates observées (Tableau.6) sont très fortes. Les eaux du complexe terminal CT, présentent des concentrations moyennes de 1495 mg/l, alors que les eaux de continental intercalaire CI présente des concentrations moyennes de 930 mg/l [36].

Tableau.II.6 : Les teneurs de Sulfate SO_4^{2-} dans les eaux de CT et de CI [36].

Nappe	CT	CI
Paramètre	$\text{SO}_4^{2-}(\text{mg. l}^{-1})$	$\text{SO}_4^{2-}(\text{mg. l}^{-1})$
Moy	1495	930
Min	800	780
Max	2190	1080

II.12.8. Le fluor (F^-) dans les eaux de CT et de CI

Les concentrations du Fluor enregistrées dans les eaux de la nappe de CT est généralement supérieur à l'énorme de l'OMS « 1.5 mg/l », elles oscillent entre 1.24 et 3.79 mg/l, dans la nappe de CI les valeurs enregistrées sont acceptables, elles oscillent entre 0.35 et 1.02mg/l, dans les eaux de CI.

Tableau.II.7 : Les teneurs de fluor (F^-) dans les eaux de CT et de CI [36].

Nappe	CT	CI
Paramètre	$\text{F}^- (\text{mg. l}^{-1})$	$\text{F}^- (\text{mg. l}^{-1})$
Moy	2.51	0.68
Min	1.24	0.35
Max	3.79	1.02

II.13. Conclusion

Cette campagne a concerné les deux principaux aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire dans les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued et Biskra, à différents niveaux aquifères. Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux.

Il nous a été possible d'étudier l'évolution des principaux paramètres de qualité physico-chimique tant du point de vue géographique que géologique. En particulier, les conductivités sont variables selon la région considérée et diminue avec la profondeur de l'aquifère en allant de la nappe phréatique vers la nappe Albienne.

Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium. Les cartes de minéralisation dressées indiquent un accroissement de ce paramètre dans le sens de l'écoulement des eaux. Quant au fluor, les teneurs les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quel que soit la région considérée. Concernant la nappe des sables et des calcaires, les teneurs dépassent dans tous les cas la norme de potabilité.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non-conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal).

Chapitre III : Partie Expérimental

III.1. Description de l'électrolyseur de l'eau

Elle comprend un électrolyseur, un générateur de tension, un voltmètre et un chronomètre, PH mètre. Appareil de mesure conductivité, Tubes à essai 10 ml, sel, eau distillée, eau d'El-oued.

L'électrolyseur est un bain électrolytique rempli d'eau avec une salinité de 1 mol de KOH pour que la lotion devienne conductrice. Les électrodes sont en charbon durant les essais. Les gaz générés (hydrogène et oxygène) sont récupérés dans des burettes en verre et l'alimentation se fait par le biais d'un générateur de tension continue.

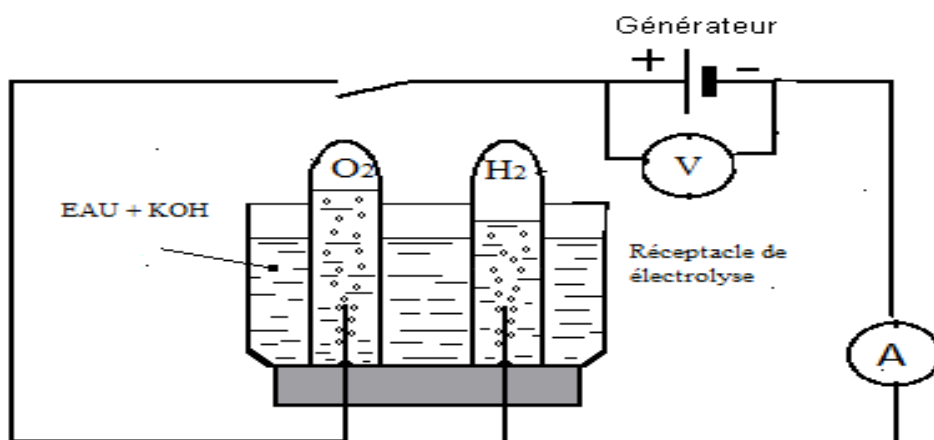


Figure III.1 : Schéma du procédé.



Figure III.2 : Schéma de l'électrolyseur de l'eau.

III.1.1. Dans la cathode

Les ions positifs (K^+) sont attirés vers la cathode, chaque ion est entouré d'un cortège de molécules d'eau.

Certaines des molécules d'eau se séparent en un ion H^+ et un ion OH^- . Les ions H^+ se combinent avec des électrons de l'électrode et deviennent des atomes d'hydrogène (H).

En suite elles se regroupent en paires et s'en vont vers la surface de l'eau sous forme de molécules d'hydrogène (H_2).

Pour former deux molécules de H_2 suivant la réaction :



III.1.2. Dans l'anode

Les ions négatifs (OH^-) sont attirés vers l'anode, chaque ion est entouré d'un cortège de molécules d'eau.

Certaines des molécules d'eau se séparent en un ion O^{2-} et 2 ions H^+ . Les deux électrons en trop de chaque ion O^{2-} se font arracher par l'anode et deviennent des atomes d'oxygène (O).

En suite les atomes d'oxygène se groupent par paires et s'en vont vers la surface de l'eau sous forme de molécules d'oxygène (O_2). Les quatre électrons captés par l'électrode positive sont attirés vers la source de tension. Les ions H^+ restés autour des ions négatifs vont éventuellement se combiner avec des ions OH^- restés autour des ions positifs pour former des molécules d'eau.

La réaction à cette électrode s'écrit donc :



III.2. Matériel disponible

III.2.1. PH mètre digital

Pour mesurer le potentiel hydrogène (appelé plus communément pH) dans l'eau ou de toute autre solution aqueuse, vous aurez besoin d'un pH-mètre.

Il fonctionnant à piles il affichant la valeur numérique du pH (pH neutre, pH acide ou pH basique) et d'un embout fait à partir d'une électrode de verre à plonger dans la lotion aqueuse pour effectuer le contrôle du pH et s'assurer que le degré d'acidité de l'eau n'est pas trop élevé ni trop bas. Le testeur de pH calcule le rapport entre la concentration d'ions H_3O^+ (définition du pH) et la différence de potentiel électrochimique qui se passe dans l'électrode de verre. L'électrode du pH mètre est composée de deux petites électrodes : un standard dont le potentiel est stable et fixe, et une autre dont le potentiel est variable.



Figure III.3 : *PH mètre digital.*

III.2.2. Appareil de mesure conductivité (Yakamoz TDS & EC)

C'est un testeur TDS mètre numérique pour tester la qualité de l'eau, vérifier les performances de votre filtre à eau,

- Plage de température d'utilisation est 0-50 °C
- Dessiné selon l'ergonomie, Poignée plus confortable et portable.
- Faible consommation d'énergie et arrêter automatiquement.

- L'option de nouvelle technologie permet aux résultats des tests plus précise.il a grand écran LCD facile à lire.

Les Etapes en Utilisant quand le test de qualité de l'eau :

- Veuillez retirer le manchon d'électrode
- Appuyez sur le bouton d'interrupteur, ensuite, mettez l'électrode dans la solution mesurée
- Attendez jusqu'à ce que la valeur est stable, appuyez sur le bouton de Hold et lisez le TDS chiffre affichée sur l'écran LCD
- Quand la lecture est terminée, appuyez sur le bouton d'interrupteur pour fermer TDS testeur, essuyez l'électrode, puis houssez manchon de protection d'électrode.



Figure III.4 *Mesure conductivité (Yakamoz TDS&EC).*

III.2.3. Caractéristiques de générateur utilisé

- ✓ Alimentation DC stabilisée ajustable 0-30V DC/0-5A.
- ✓ Alimentation DC variable.
- ✓ Tension d'entrée : 230V AC 50Hz.
- ✓ Tension de sortie : 0-30V DC réglable.
- ✓ Courant de sortie : 0-5A DC réglable.

- ✓ Ondulation : = 20mV.
- ✓ Protection : limitation de courant.
- ✓ Afficheurs : Volt : Led – 3 caractères.
- ✓ Précision : 1%.
- ✓ Ampère : Led – 3 caractères.
- ✓ Précision : 2%.
- ✓ Transformateur toroïdal.
- ✓ Refroidissement par ventilation : >50°C.
- ✓ Température de fonctionnement : 0~ 40°C.
- ✓ Poids : 4.1 Kg.



Figure III.4 : Image de générateur utilisé.

III.2.4. Hydroxide Potassium (KOH)

L'hydroxyde de potassium ou potasse est un produit chimique, utilisé essentiellement lors de la fabrication des produits fertilisants et des savons. La formule chimique de l'hydroxyde de potassium est KOH. L'hydroxyde de potassium est également un additif alimentaire (acidifiant), noté E525. Il ne représente pas de danger pour l'organisme, étant donné que son dosage est infime dans les aliments. En surdose, l'hydroxyde de potassium peut en revanche être très dangereux: il s'attaque notamment au système digestif et respiratoire.



Figure III.5 : L'hydroxyde potassium.

III.2.5. Eau distillée

Cette eau est faite dans El-Oued , et cette eau Contient de l'acidité $PH=7.03$ et conductivité $\delta = 57\mu s/cm$ et température $25^{\circ}C$.



Figure III.6 : L'eau distillée.

III.3. Paramètres de calcul

- Débit volumique d'hydrogène : $Q=V/t$ (III.1)

- Puissance absorbée par l'électrolyseur : $Pa = U*I$ (III.3)

$$\blacksquare \text{ Energie électrique consommée : } W = Pa * t \quad (\text{III.4})$$

$$\blacksquare \text{ Rendement utile : } \eta_{ul} = PCI * \frac{V}{P_{ab} * t} \quad (\text{III.5})$$

III.4. Resultats et discussion

III.4.1. Electrolyse de l'eau distillée

Tableau III.1 : Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH.

T(min)	I(A)	U(V)	T(°C)	VH ₂ (ml)	VO ₂ (ml)	QVH ₂ (ml/min)	QVO ₂ (ml/min)
0	0,16	12	27	0	0	0	0
1	0,16	12	27	0.3	.0.15	0.3	0.15
2	0,16	12	27	1	0.6	0.5	0.3
3	0,16	12	27	2.2	.1.9	0.73	0.63
4	0,14	12	27	3.9	2.7	0.975	0.65
5	0,14	12	27	5	3.3	1	0.66
6	0,14	12	27	6.9	4.3	1.15	0.71

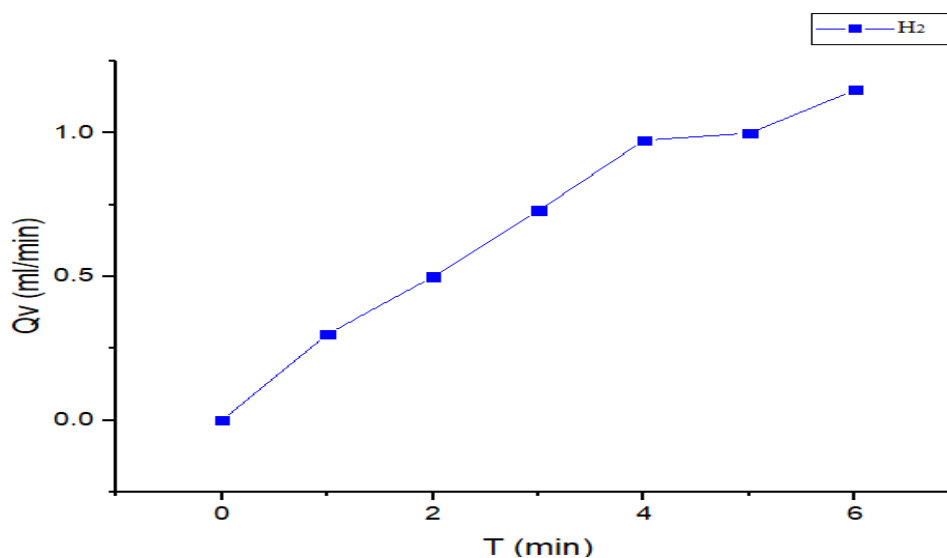


Figure III.7 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.

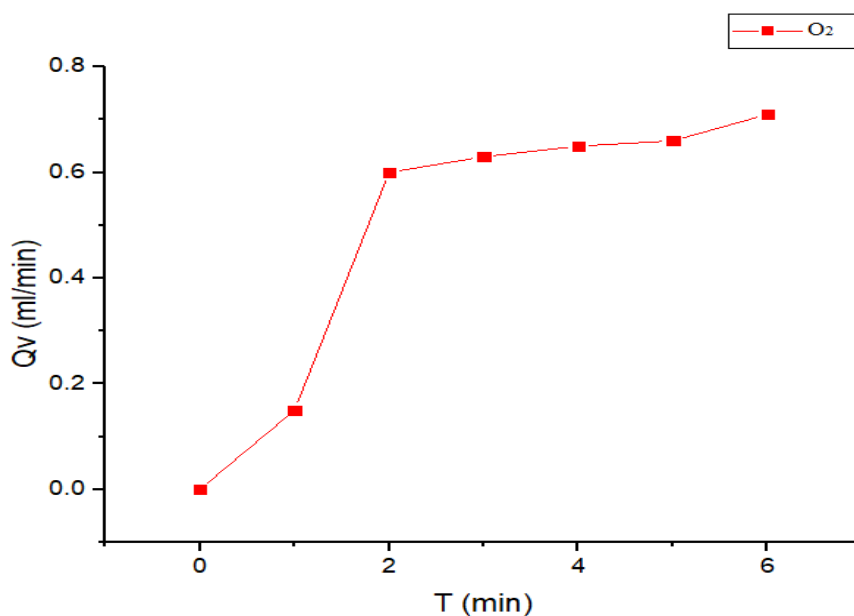


Figure III.8 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.

La figures (III.8) et (III.7) ci-dessus représente l'évolution de production d'hydrogène et d'oxygène en fonction de temps. d'électrolyseur à température et concentration d'électrolyte KOH constantes et tension constantes ($T=27^{\circ}\text{C}$, $n=1\text{mol}$, $U=12\text{v}$). Dans cette figure. on observe le débit d'hydrogène et d'oxygène augmentent avec le temps.

Tableau III.2 : Modifications dans les paramètres.

Paramètres	Au début l'essai	À la fin l'essai
PH	13.66	7.8
T($^{\circ}\text{C}$)	27	22

Tableau III.3 : Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH + 30 g/l sel.

T(min)	I(A)	U(V)	T($^{\circ}\text{C}$)	VH ₂ (ml)	VO ₂ (ml)	QVH ₂ (ml/min)	QVO ₂ (ml/min)
0	0.19	12	26	0	0	0	0
1	0.19	12	27	0.5	.0.25	0.5	0..25
2	0.19	12	27	1.5	0.7	0.75	0.35

3	0.19	12	27	2.6	2.2	0.86	0.73
4	0.21	12	27	4.5	3	1.12	0.75
5	0.21	12	27	5.9	3.8	1.18	0.76
6	0.21	12	27	7.2	4.9	1.2	0.81

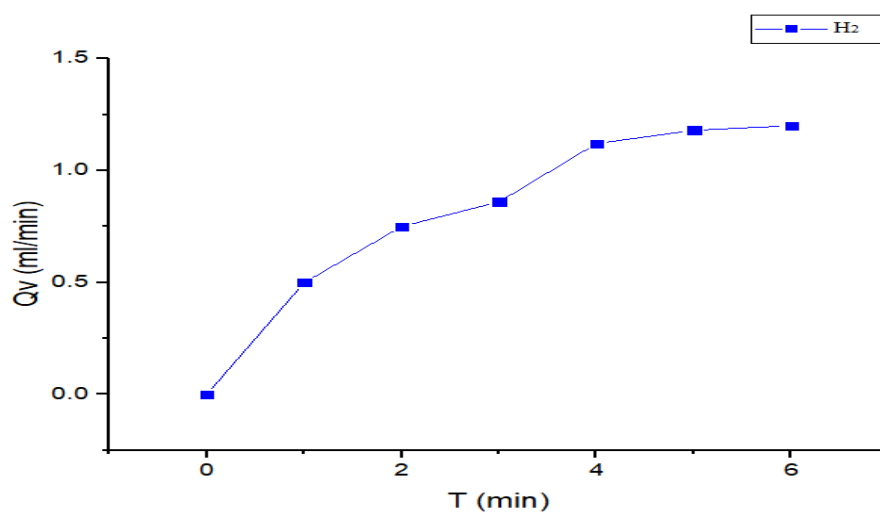


Figure III.9 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.

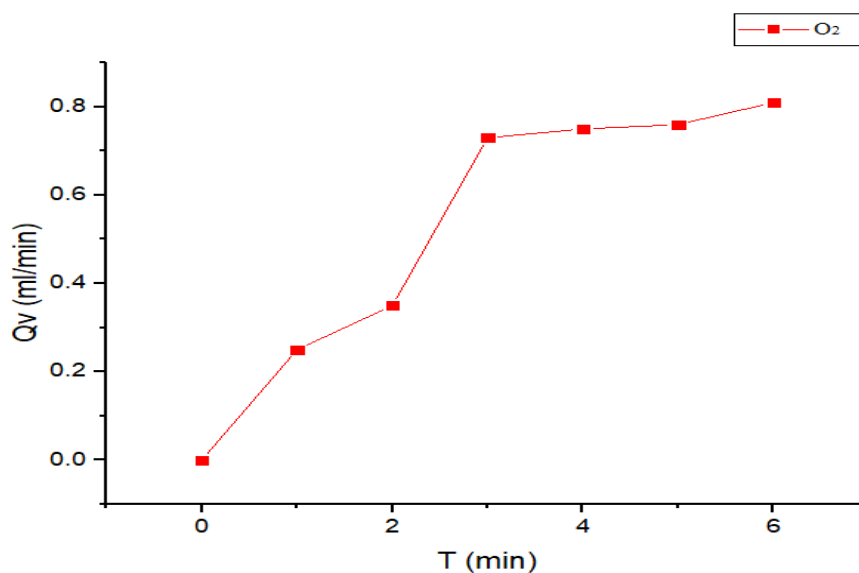


Figure III.10 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.

La figures (III.9) et (III.10) montre que le débit d'hydrogène et d'oxygène augmentent avec le temps, et montre l'influence positive de la salinité sur le débit d'hydrogène produit suite à l'amélioration de la conductivité dans la lotion.

Tableau III.4 : *Modifications dans les paramètres avec 30 g/l sel.*

Paramètres	Au début l'essai	À la fin l'essai
PH	13.68	13.65
T(°C)	27	27

Tableau III.5 : *Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH + 60 g/l sel.*

T(min)	I(A)	U(V)	T(°C)	VH ₂ (ml)	VO ₂ (ml)	QVH ₂ (ml/min)	QVO ₂ (ml/min)
0	0.19	12	26	0	0	0	0
1	0.19	12	27	1	0.4	1	0.4
2	0.19	12	27	2.1	1.1	1.05	0.55
3	0.19	12	27	3.2	2.9	1.06	0.96
4	0.19	12	27	5.2	4.1	1.3	1.02
5	0.19	12	27	6.9	5.5	1.38	1.1
6	0.19	12	27	8.8	7.1	1.46	1.18

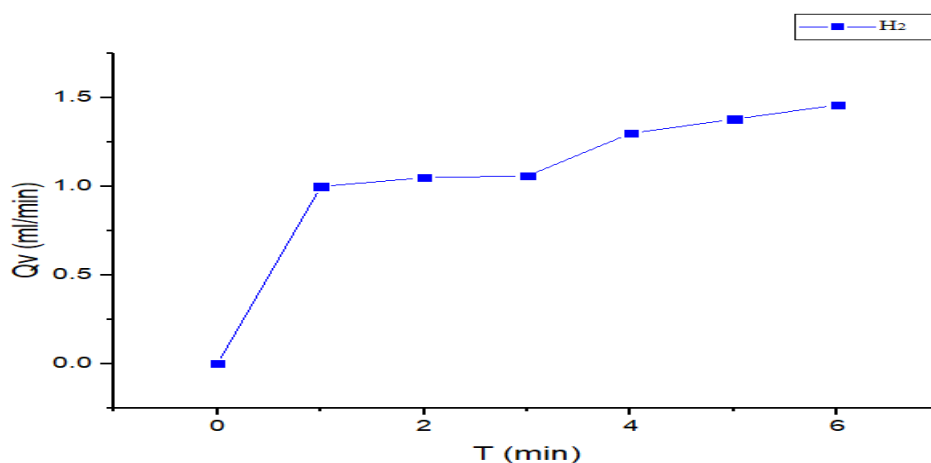


Figure III.11 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.

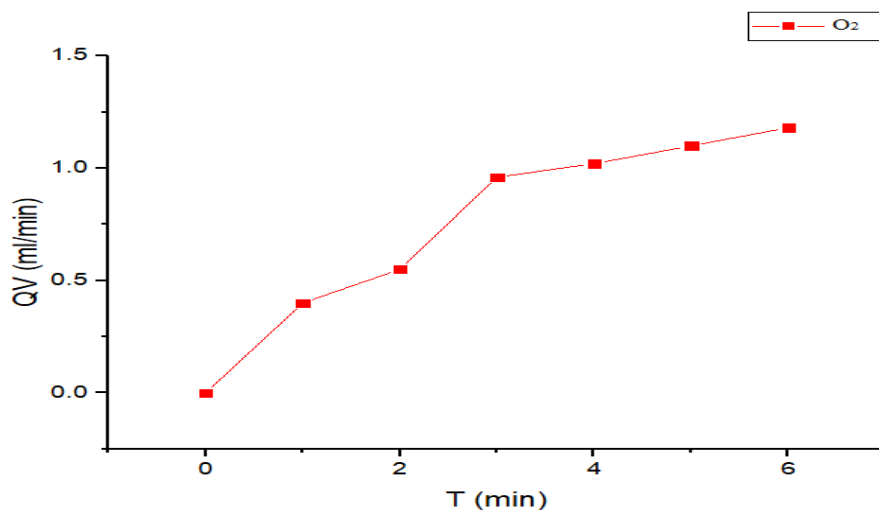


Figure III.12 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.

La figure (III.12) et (III.11) montre que l'évolution du débit d'oxygène en fonction du temps, montre une augmentation de débit d'hydrogène et l'oxygène haut d'essai antérieure.

Tableau III.6 : Modifications dans les paramètres avec 60 g/l sel.

Paramètres	Au début l'essai	À la fin l'essai
PH	.13.50	13.48
T(°C)	26	26

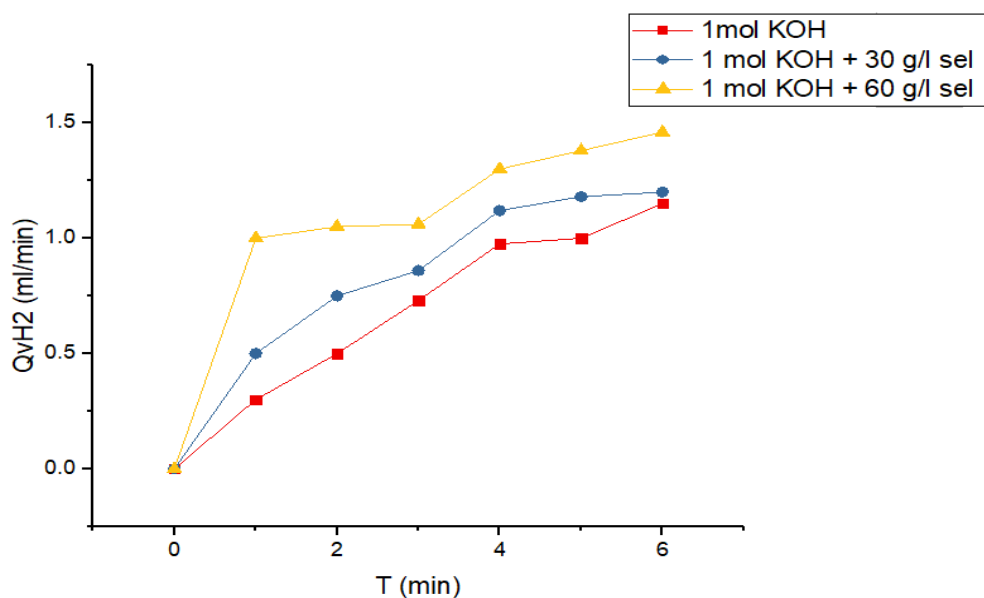


Figure III.13 : Comparaison de production d'hydrogène en fonction de temps.

La figure III.13 montre la comparaison de débit d'hydrogène en fonction du temps, entre les trois essais, où nous observons que le débit d'hydrogène augmente avec le temps dans toutes les essais, comme nous le notons une forte augmentation dans l'essai KOH avec 60 g/l sel, où il a donné en 6 min son débit de valeur 1.46 ml/min, cette essai a donné de meilleurs résultats que d'autres essais, suivi d'une essai de KOH avec 30 g/l sel avec une valeur de 1.2 ml/min et le dernier essai sans salinité avec une valeur 1.15 ml/min dans 6 min.

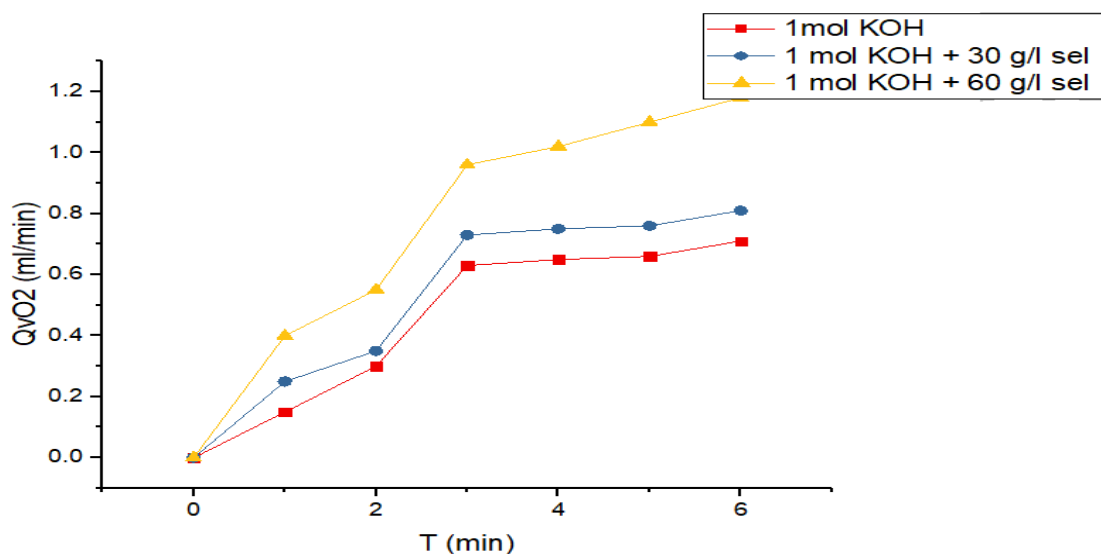


Figure III.14 : Comparaison de production d'oxygène en fonction de temps.

La figure III.14 représente une comparaison de débit d'hydrogène en fonction du temps, entre les trois essais, où nous observons que le débit d'oxygène augmente avec le temps dans toutes les essais, comme nous le notons une forte augmentation dans l'essai KOH avec 60 g/l sel, où il a donné en 6 min son débit de valeur 1.18 ml/min, cette essai a donné de meilleurs résultats que d'autres essais, suivi d'une essai de KOH avec 30 g/l avec une valeur de 0.81 ml/min et le dernière essai sans salinité avec une valeur 0.71 ml/min dans 6 min.

III.4.2. Electrolyse de l'eau d'El-Oued

Tableau III.7 : *Electrolyse de l'eau distillée + 1mol KOH.*

T(min)	I(A)	U(V)	T(°C)	VH ₂ (ml)	VO ₂ (ml)	QVH ₂ (ml/min)	QVO ₂ (ml/min)
0	0,16	12	27	0	0	0	0
1	0,16	12	27	0.3	.0.15	0.3	0.15
2	0,16	12	27	1	0.6	0.5	0.3
3	0,16	12	27	2.2	.1.9	0.73	0.63
4	0,14	12	27	3.9	2.7	0.975	0.65
5	0,14	12	27	5	3.3	1	0.66
6	0,14	12	27	6.9	4.3	1.15	0.71

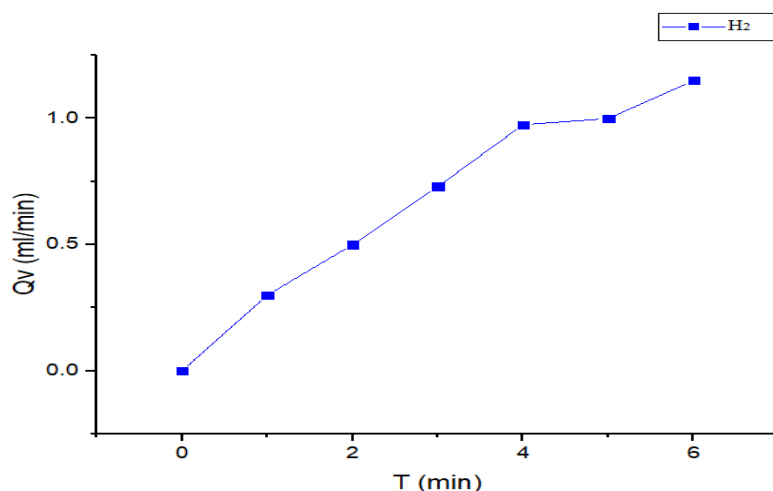


Figure III.15 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.

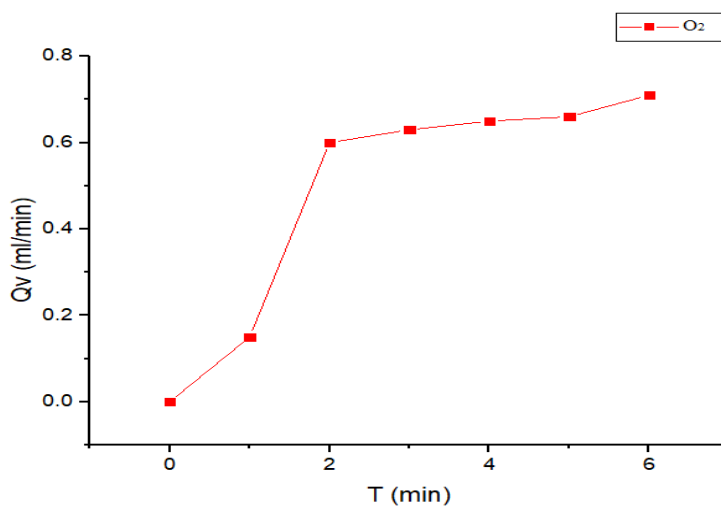


Figure III.16 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.

La figure III.15 et III.16 montre que l'évolution de production d'hydrogène et d'oxygène en fonction de temps. d'électrolyseur à température et concentration d'électrolyte KOH constantes (27°C, 1mol). Dans cette figure, on observe le débit d'hydrogène et d'oxygène augmentent avec le temps.

Tableau III.8 : Electrolyse de l'eau d'El-oued + 1mol KOH.

T(min)	I(A)	U(V)	T(°C)	VH ₂ (ml)	VO ₂ (ml)	QVH ₂ (ml/min)	QVO ₂ (ml/min)
0	0.13	12	28	0	0	0	0
1	0.13	12	28	0.4	.0.2	0.4	0.2

2	0.13	12	28	1.2	0.7	0.6	0.35
3	0.13	12	28	2.4	1.95	0.8	0.65
4	0.13	12	28	4.1	2.9	1.02	0.72
5	0.13	12	28	5.2	3.9	1.04	0.78
6	0.13	12	28	7.2	4.8	1.2	0.8

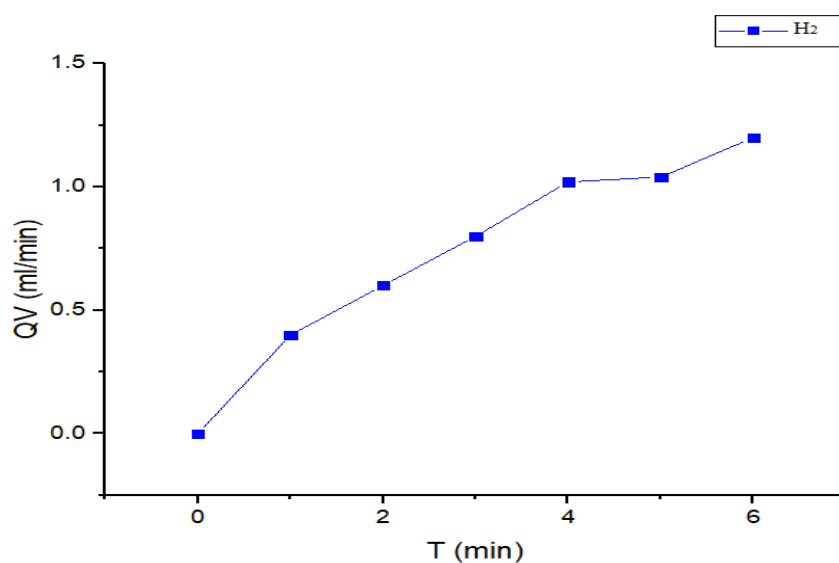


Figure III.17 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.

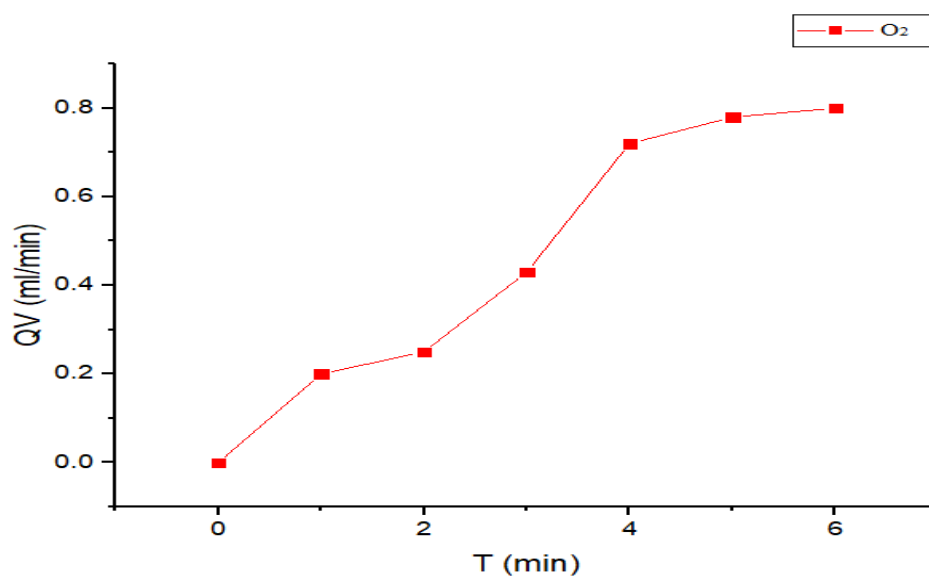


Figure III.18 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.

La figure (III.18) et (III.17) montre que l'évolution de débit d'oxygène et le débit d'hydrogène en fonction du temps. où nous notons un bon résultat dans le débit d'hydrogène et d'oxygène.

Tableau III.9 : *Modifications dans les paramètres.*

Paramètres	Au début l'essai	À la fin l'essai
PH	.13.53	13.47
T(°C)	28	28

Tableau III.10 : *Electrolyse de l'eau d'El Oued.*

T(min)	I(A)	U(V)	T(°C)	VH ₂ (ml)	VO ₂ (ml)	QVH ₂ (ml/min)	QVO ₂ (ml/min)
0	0.08	12	26	0	0	0	0
5	0.08	12	26	0.9	.0.7	0.18	0.15
10	0.08	12	26	2.9	1.1	0.29	0.3
15	0.08	12	26	4.5	.1.5	0.3	0.63
20	0.08	12	26	6.4	2	0.32	0.65
25	0.08	12	26	8.3	2.6	0.33	0.66
30	0.08	12	25	10.5	3.3	0.35	0.71

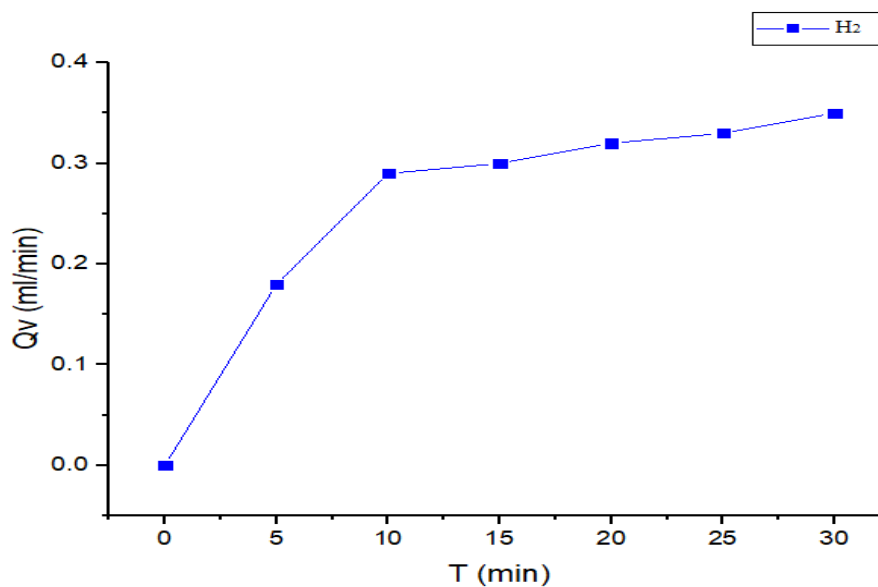


Figure III.19 : Evolution de production d'hydrogène en fonction de temps.

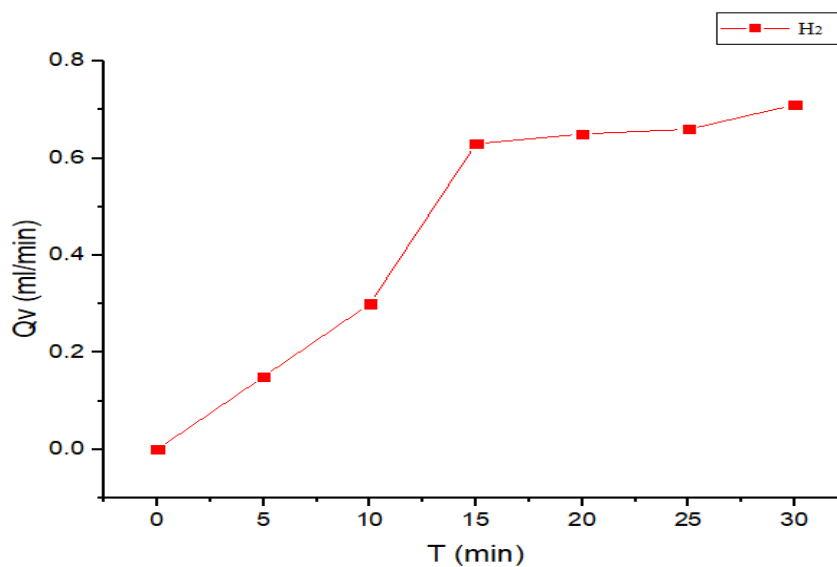
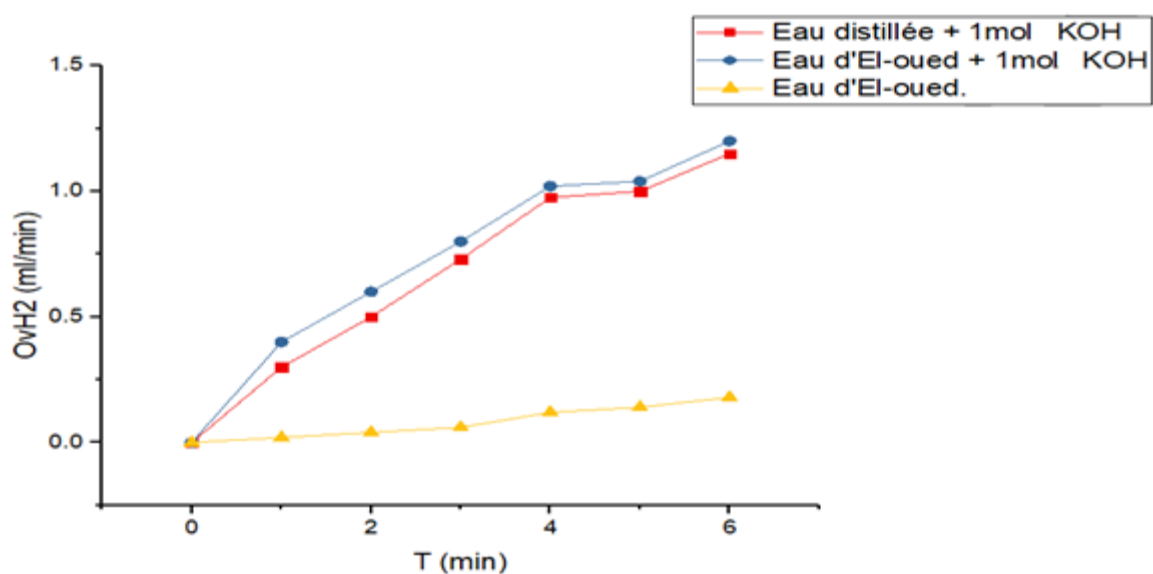


Figure III.20 : Evolution de production d'oxygène en fonction de temps.

La figure (III.20) et (III.19) présente le débit d'oxygène et d'hydrogène en fonction du temps. où nous notons le débit d'oxygène et d'hydrogène est très faible, alors il a fallu beaucoup de temps et il a donné un faible résultat.

Tableau III.11 : Modifications dans les paramètres.

Paramètres	Au début l'essai	À la fin l'essai
PH	10.42	9.15
T(°C)	26	25
$\delta(\mu s/cm)$	5768	5431

**Figure III.21** : Comparaison de production d'hydrogène en fonction de temps.

La figure III.21 montre qu'une comparaison de débit d'hydrogène en fonction de temps, où nous notons dans :

- ✓ Essai eau d'El-Oued avec 1 mol KOH, ça a donné un bon résultat, en 6 minutes, il a donné son débit de valeur $Q_{V_{H_2}} = 1.2 \text{ ml/min}$, c'est mieux que les autres essais.
- ✓ Essai eau distillée avec 1 mol KOH, a donné des résultats proches de l'essais antérieurs, où il a donné la valeur du débit 1.15 ml/min en 6 min.
- ✓ Essai eau d'El-Oued, a donné de très mauvais résultats par rapport aux essais antérieurs, quasi inexistant, où ils ont donné 0.15 ml/min en 6 min.

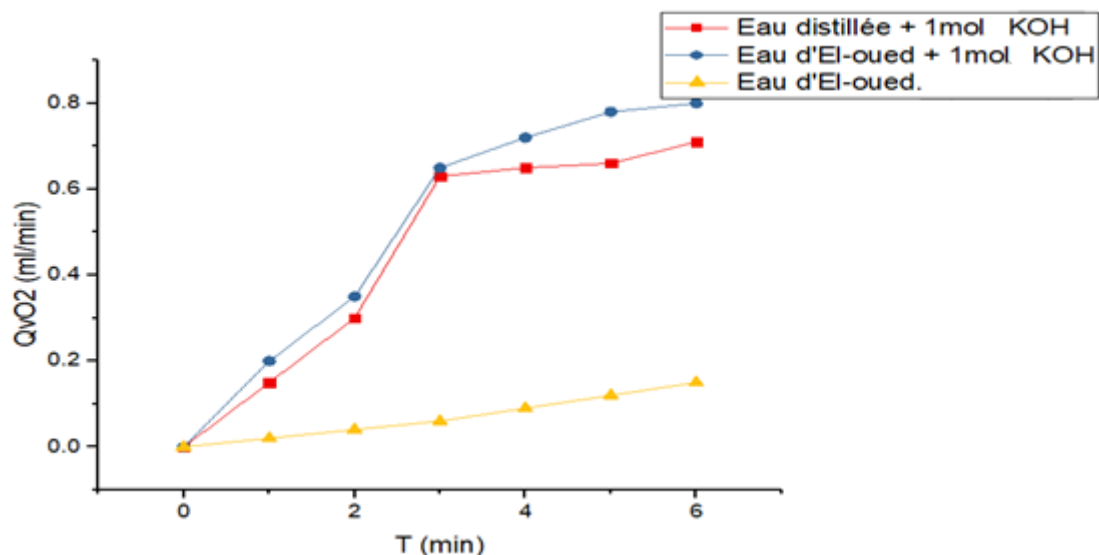


Figure III.22 : Comparaison de production d'oxygène en fonction de temps.

La figure III.22 montre qu'une comparaison de débit d'oxygène en fonction de temps, où nous notons dans :

- ✓ Essai eau d'El Oued avec 1 mol KOH, ça a donné un bon résultat, en 6 minutes, il a donné son débit de valeur $QV_{O_2} = 0.8 \text{ ml/min}$, c'est mieux que les autres essais.
- ✓ Essai eau distillée avec 1 mol KOH, a donné des résultats proches de l'essais antérieurs, où il a donné la valeur du débit 0.71 ml/min en 6 min
- ✓ Essai eau d'El Oued, a donné de très mauvais résultats par rapport aux essais antérieurs, quasi inexistante, où ils ont donné 0.15 ml/min en 6 min.

III.5. Conclusion

Cette étude démontre la possibilité de produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau d'El-Oued, mais nous avons besoin d'un temps plus long et d'une haute tension électrique ou d'un Poudre chimique, qui aide à l'électrolyse comme KOH, afin d'accroître et d'accélérer la quantité d'hydrogène produite.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le niveau atteint par la communauté scientifique dans le domaine de la chimie, l'électrochimie et l'électrolyse en particulier reste encore à un niveau bas surtout par rapport au besoin pressant de remplacement des énergies fossiles par les énergies propres.

Cette étude nous a permis de comprendre combien il est encore difficile de produire de l'hydrogène en grande quantité. La production par électrolyse demande des équipements très complexes, et une connaissance scientifique pluridisciplinaire. C'est ainsi qu'on a eu l'occasion de mettre en application beaucoup de nos connaissances acquises lors de notre formation. Elle nous a révélé toutes les difficultés qu'il y a à mener une étude de bout en bout, surtout quand il s'agit de faire une modélisation sans vraiment disposer toutes les données. Ce manque de données nous a empêché d'aller jusqu'au bout de l'étude de certains éléments de la chaîne comme, l'alternateur et l'électrolyseur. Les caractéristiques de ces éléments sont obtenues en général par commande accompagnée des données de fonctionnement.

Il faut noter que c'est très coûteux de produire de l'hydrogène par électrolyse, l'investissement est très lourd même avec une centrale électro-solaire thermodynamique. Si l'objectif d'utiliser la centrale est d'amoindrir le coût du mètre cube, il faut noter que l'installation des centrales d'énergies renouvelables coûte chère et la demande en hydrogène est encore très faible.

Faut-il donc produire pour que la demande suive ? Ou faut-il attendre que la demande soit suffisante pour la satisfaire ? Dans tous les cas la compétitivité de l'hydrogène devra passer par la diminution du coût de l'électricité et de l'amélioration du matériel de stockage toujours très cher.

On devrait peut-être y réfléchir et voir si c'est plus cher de s'offrir une énergie propre ou de subir la pollution des énergies fossiles et faire un gain d'argent.

Au demeurant, la valorisation de l'oxygène produite lors de l'électrolyse contribuerait à relever de façon significative le niveau de rentabilité de ce procédé.

De ce fait, comme toute œuvre scientifique de recherche, ce travail comporte certainement des insuffisances. Il conviendrait alors de le parfaire en modélisant toutes parties du système, en comparant les coûts de conception et de réalisation de certains appareils comme l'électrolyseur afin de diminuer le coût de l'investissement.

Dans ce mémoire, présente les résultats expérimentale la nature d'eau d'El Oued sur l'électrolyse de l'eau. En outre, nous avons étudié l'électrolyse de l'eau d'El Oued et de la comparer avec l'eau distillée et sa production d'hydrogène. Les différents résultats trouvés nous ont amenés aux constatations suivantes :

- la possibilité de remplacer l'eau distillée par l'eau d'El Oued, tout en maintenant la quantité d'oxyde de potassium.

- l'eau d'El Oued seule donne très peu de valeurs d'hydrogène dans l'électrolyse de l'eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] M M. Robert Galley et C. Gatignol, *Rapport sur les perspectives offertes par la technologie de la pile à combustible*, 2003.
- [2] C. Bailleux et P. clément, *L'hydrogène révolutionnaire, direction des études et recherches*, Edf, Paris, 1989
- [3] Peu difficile, *nouvelles technologies, l'hydrogène*, Article : 058, oct.-2015.
- [4] <http://www.echoslogiques.com/carburants1.php>, consulté le : 13/09/2013.
- [5] Rodrigo Rivera-Tinoco, *Etude technico-économique de la production d'hydrogène à partir de l'électrolyse haute température pour différentes sources d'énergie thermique*, Thèse l'école Nationale supérieure des mines de Paris 30 Mars 2009.
- [6] Oualid Mohammed, *Production de l'hydrogène à partir des énergies renouvelables*, université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Juin 2009.
- [7] Khellal Bassim. Boudid fares, *Etude d'une installation de production d'hydrogène photovoltaïque par électrolyse de l'eau*, rapporteur : Dr a. ait Yala Master Université de Bouira 2015.
- [8] A. Safidine, *Etude paramétrique du comportement d'une flamme d'hydrogène-oxygène dans un milieu confiné*, mémoire de Master, Université de Médéa, 2011.
- [9] <http://www.cea.fr/jeunes/themes/les-energies-renouvelables/1...> consulté le :
- [10] Hidrogeno y pilas de combustible, 2004.
(www.ucm.es/info/fisatom/docencia/masterfisica/aplicaciones/hidrogeno%20y%20pilas%20de%20combustible.ppt). 9/10/2013.
- [11] CEA (commissariat à l'Energie atomique), *le soleil de l'étoile à l'énergie domestique*, Issn 1637-5408, 2004.
- [12] M. Sahli, *Etude de la production d'hydrogène par électrolyse et pile à combustible*, mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2010.
- [13] JM. catalysés,(2011) <http://www.jmcatalysts.com/ptd/site.asp?siteid=495&pageid=523>
- [14] *Production d'hydrogène à partir des procédés de reformage et d'oxydation partielle*, mémento de l'hydrogène fiche 3.1.1, source : AFHYPAC -IFPEN, 2011.
- [15] L.f. Brown, *A comparative study of fuels for in-bord hydrogen production for fuel cell-powered automobiles*, International Journal of hydrogen energy, 26, 381-397, 2001.
- [16] P. Millet, *Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau sur membrane acide*, questions des sciences, découverte n° 343, 2006.
- [17] *Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau*, mémento de l'hydrogène fiche 3.2.1, afh2, 2004.
- [18] D. Tigreat, écrire un Rapport scientifique : *Les techniques de production de l'hydrogène et les risques associés*, Rapport n° dra-08-95313-07833b, 10/06/2008.

- [19] <http://energiein.e-monsite.com/pages/46-electrolyse-pour-moteur-thermique.html>
- [18] Morsk-hydro, *Procédé de préparation de cathodes actives pour des appareils électrochimiques*, Brevet Français, no 2381836, 22 sept. 1978.
- [20] Y.n. Morozov et V.B. Aleskovskiii, *soviet Electro hem*, 7, 9, p. 1220-1222 (1971).
- [21] Hashimoto, *Development of PEM water electrolysis type hydrogen production system for we-net*, proceedings of 14th when, Montreal, 2002.
- [22] J. Labbe, *L'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés*, Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'école des mines de Paris spécialité énergétique, 2006.
- [23] M. Viseur, *Etude de faisabilité de l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur alternatif d'énergie*, mémoire de Master, Université libre de Bruxelles, 2007-2008.
- [24] [A.N.R.H] : l'agence National des Ressources Hydriques.
- [25]
https://www.wunderground.com/history/airport/dauo/2017/4/4/monthlyhistory.html?req_city=eloued&req_statename=algeria&reqdb.zip=&reqdb.magic=&reqdb.wmo=
- [26] Achiri Oualid, Bouziane Yacine, *Diagnostic qualitatif des eaux potables distribuées pour l'alimentation dans la ville d'El Oued*, Master, Université El- Oued. Juin 2014.
- [27] Zobeidi Ammar, Pr. Saidi, Pr. Dada Moussa, Dr. Segni I. Mc., Pr. Messaitfa, *Distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments consommés dans la willaya d'El-Oued*, Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla,2010.
- [28] Chemala Oum Enounne, Mr Sakker Med, Mme Babahani, Mr Saggai Med, Mme Halimi h, *La situation des pieds mâles du palmier dattier (phoenix dactylifera l)*, dans la région d'El-Oued Righ, Magister, Université Kasdi Merbah - Ouargla,2006.
- [29] S. Khechana, f. Derradji et a. Erouiche, *La gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf (se Algérien)*, enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, Journal rev. SCI. Fond. App., vol. 2 n°. 2 (2010), p 22-36.
- [20] BG (Bureau d'étude Bonard et Gardel), vallée du Souf, *Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique*, Mission ii. (2002). 111p.
- [31] M. Djidel, *pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (samara septentrional, Algérie)*, th. Doctorat, (2008), Université de Annaba, 208 p.
- [32] A. Meziani, *La réutilisation des eaux usées dans la région du Souf-Sahara Algérien*, revue Canadian Journal of Technologie and Scientifique Management, vol.1(2012), issue1, p.1-06.
- [33] De (Direction de l'environnement d'El-Oued), *Rapport de dégâts de la remontée des eaux et pollution de la nappe superficielle d'El-Oued*, (2009), p 19.

[34] Boualem Bouselsal, et Nacer Kherici, *Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement*, cas de la région d'el-Oued (se Algérie), Journal d'Afrique science 10(3) (2014) 161 – 170.

[35] Samia Hadj-Saïd, Nacer Kherici, *Qualité des eaux des aquifères de Sahara septentrionale cas des eaux des aquifères d'el-Oued (se Algérie)*, International Journal for environnement & global climat change, vol 2, issue 3, 2014, p 25-29.

[36] L'Azhar graini.,2011, *Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique*, mémoire de magister, université Ferhat Abbas Sétif. p106.

[37] Sari Hassiba., 2014.contribution à l'étude de la qualité chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen). Mémoire Magister. Université Aboubekr Belkaid Tlemcen. p92.

[38] Mbeukam Kamgang Elisabeth., 2013. Evaluation de la qualité bactériologique et physico – chimique des eaux du lac municipal d'Akon linga. Département des sciences biologiques. Université de Yaounde i. p60.

[39] <http://scientificsentence.net/chemistry/index.php?key=yes&integer=electrolyse>.

Titre du mémoire : Etude de la nature d'eau d'El oued sur l'électrolyse
Master : Energétique

Résumé :

L'hydrogène est un vecteur énergétique qui n'est pas directement disponible dans la nature : il doit donc être fabriqué avant d'être stocké et utilisé. Il est essentiellement obtenu par reformage ou gazéification d'hydrocarbures et par électrolyse de l'eau.

Dans cette étude, nous avons étudié expérimentale la nature d'eau d'El Oued sur l'électrolyse de l'eau. L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'électrolyse de l'eau d'El Oued et de la comparer avec l'eau distillée et sa production d'hydrogène. En conséquence, l'étude expérimentale a donné de bons résultats, à savoir la possibilité de remplacer l'eau distillée par l'eau d'El Oued, tout en maintenant la quantité d'oxyde de potassium. Cependant, l'eau d'El Oued seule donne très peu de valeurs d'hydrogène dans l'électrolyse de l'eau.

Mots clés : Electrolyse ; Production de l'Hydrogène ; Production de l'Oxygène ; Eau d'El Oued.

Report title: Study of the Nature of El Oued on electrolysis water.

Abstract:

Hydrogen is an energy carrier that is not directly available in nature, so it must be manufactured before it is stored and used. It is essentially obtained by reforming or gasification of hydrocarbons and electrolysis of water.

In this study, we experimentally studied the nature of El Oued water on the electrolysis of water. The main objective of this work is to study the electrolysis of El Oued water and to compare it with distilled water and its production of hydrogen. Consequently, the experimental study gave good results, namely the possibility of replacing the distilled water with El Oued water, while maintaining the quantity of potassium oxide. However, El Oued water alone gives very few hydrogen values in the electrolysis of water.

Keywords: Electrolysis; Hydrogen production; Oxygen production; Water of El Oued.

عنوان المذكرة: دراسة طبيعة ماء الوادي على التحليل الكهربائي

الملخص:

الهيدروجين هو ناقل للطاقة غير متاح مباشرة في الطبيعة ؛ يجب أن يتم تصنيعه قبل تخزينه واستخدامه. يتم الحصول عليه أساسا عن طريق إصلاح أو تغويز الهيدروكربونات والتحليل الكهربائي للمياه.

في هذه الدراسة، درسنا تجريبيا طبيعة مياه الوادي على التحليل الكهربائي. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة التحليل الكهربائي لمياه الوادي ومقارنتها بالماء المقطر وإنتاج الهيدروجين. وبالتالي، أعطت الدراسة التجريبية نتائج جيدة، وهي إمكانية استبدال الماء المقطر بمياه الوادي، مع الحفاظ على كمية من أكسيد البوتاسيوم. ومع ذلك، تعطي مياه الوادي وحدها عدد قليل جدا من قيم الهيدروجين في التحليل الكهربائي للماء.

الكلمات المفتاحية: التحليل الكهربائي; إنتاج الهيدروجين; إنتاج الأكسجين; مياه الوادي.