



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



Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen -

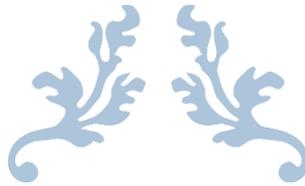
Faculté de technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : Génie Industriel option : Productique

Spécialité : ingénierie de production

Thème du projet
pour l'obtention
Master en



de fin d'étude
du diplôme de
Productique

REALISATION D'UN GÉNÉRATEUR D'HYDROGÈNE

Réalisé par :

- MEHDAOUI Younes
- KABOUCH Mohamed

Examiné par :

HADRI Abdelkader MAA UABBT

HASSAM Ahmed MCB UABBT

HOUBAD Yamina MAA UABBT

Invité :

MKEDDER Amine Ingénieur UABBT

Encadreur :

- Mlle. GHOMRI Latifa

Co-encadreurs :

- Mr. MEKAMCHA Khalid

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

Nous remercions Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de nous avoir appris ce que nous ignorions, de nous avoir donné la santé et tout dont nous nécessitons pour l'accomplissement de ce mémoire.

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué avec la collaboration de plusieurs personnes que nous remercions.

Nous adressons nos remerciements infinis à notre encadreur Monsieur Mademoiselle GHOMRI Latifa, et également à nos Co-encadreurs Monsieur MEKAMCHA Khalid, Enseignants à l'université de Tlemcen pour leurs encadrements, disponibilité et patience. Aussi, nous les remercions pour leurs encouragements, conseils et orientations tout au long de ce travail.

Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction, et avons trouvé auprès de vous le conseil et le guide qu'il nous fallait.

Egalement, nous remercions l'ensemble des professeurs et enseignants du département de Génie Electrique et Electronique de l'Université de Tlemcen qui ont participé à notre formation pendant toute notre formation universitaire. Et à tous ceux qui nous ont enseigné tout au long de notre vie scolaire.

Enfin, nous ne pouvons oublier de remercier nos amis, nos collègues et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste mémoire de fin d'étude :
A nos mères, nos pères et nos grands-parents
Aucune dédicace ne saurait exprimer notre respect et
notre amour
Pour l'amour que vous nous portez depuis notre
enfance.
A nos frères et sœurs et à toute notre famille.
A tous nos chers collègues de la Faculté de
Technologie de l'Université de Tlemcen.
Et à tous ceux qui nous ont enseigné tout au long de
notre vie scolaire
A tous nos amis.
A notre pays l'Algérie.

MEHDAOUI Younes
KABOUCH Mohamed

Sommaire :

CHAPITRE I : Méthodes de production d'hydrogène et son utilisation.....	11
Introduction	12
I.1) Histoire de la production de l'hydrogène.....	12
I.2) Méthodes de production d'hydrogène.....	13
I.2.1) Production d'hydrogène à partir des hydrocarbures.....	14
I.2.2) Production d'hydrogène par vapo-reformage	14
I.2.3) Oxydation partielle catalytique.....	16
I.2.4) Reformage autotherme.....	17
I.2.5) Production d'hydrogène par décomposition thermochimiques.....	17
I.2.6) Production à partir du charbon.....	18
I.2.7) Production à partir du nucléaire.....	19
I.2.8) Procédés biologiques.....	21
I.2.9) Procédés photo-électrochimiques.....	22
I.2.10.1) Electrolyse de l'eau.....	23
I.2.10.2) L'électrolyse de l'eau.....	23
I.2.10.3) Principe général.....	24
I.2.10.4) Tension de cellule.....	24
I.3) L'hydrogène et le nouveau monde énergétique :.....	26
I.3.1) Débit mensuel d'hydrogène produit.....	26
I.4) Stockage du dihydrogène.....	27

I.4.1) Le stockage haute pression.....	28
I.4.2) Le stockage basse pression.....	28
I.5) Usages de l'hydrogène.....	28
Généralités.....	28
I.6) L'hydrogène dans l'industrie.....	29
I.7) CONCLUSION.....	32
CHAPITRE II : Les outils utilisés.....	33
Introduction.....	34
II.1) Types de générateur	35
II.2) L'électrolyse de l'eau	36
II.3) Propriétés et applications.....	37
II.3.1) Propriétés de mise en forme.....	37
II.3.2) Propriétés physiques.....	37
II.3.3) Propriétés mécaniques.....	37
II.3.4) Propriété électrique.....	38
II.3.5) Propriétés magnétiques.....	38
II.4) Caractéristiques techniques.....	39
II.5) ARDUINO.....	42
II.5.1) Le logiciel.....	43
II.5.2) Présentation de la carte.....	43
II.5.3) Constitution de la carte.....	43
II.5.4) Le microcontrôleur.....	43

II.5.5) L'Alimentation.....	44
II.5.6) Programmable	44
II.5.7) Un programme.....	44
II.5.7) un logiciel	45
II.5.8) Un compilateur.....	45
II.6) Détecteur de gaz hydrogène MQ8	46
II.7) Les composants utilisés pour la réalisation.....	47
II.8) Le courant, la tension	48
II.8.1) La source d'énergie.....	49
II.9) Visualisation.....	49
II.9.1) La connectique.....	49
II.10) programme isis.....	50
II.11) Conclusion	50
CHAPITRE III : Réalisation du générateur d'hydrogéné.....	51
Introduction :.....	52
Notre avis.....	52
Comment ça marche.....	52
III.1) Réalisation de la partie mécanique :.....	53
III.2) Réalisation de partie électronique :.....	69
III.3) Programme arduino de notre projet.....	71
III.4) Application à un moteur de voiture.....	74
III.5) Conclusion.....	75

Listes de figure :

Figure I.1: Les sources de production d'hydrogène (Khothari et al., 2008)

Figure I.2 : Procédés de production d'hydrogène

Figure I.3 : Production d'hydrogène par vapo-reformage

Figure I.4 : Production à partir du charbon

Figure I.5: Réacteurs nucléaire pour la production de l'hydrogène (Inel, 2010)

Figure I.6 : Réacteurs nucléaire pour la production de l'hydrogène (Inel, 2010)

Figure I.7 : Procédés photo-électrochimiques

Figure I.8 : L'électrolyse de l'eau

Figure I.9 : Estimation de la production annuelle d'hydrogène solaire

Figure I.10 : fonction de fabrication de maquette

Figure II.1 : Générateur submergé

Figure II.2 : Générateur non submergé

Figure II.3 : La place inox

Figure II.4 : Joint d'étanchéité

Figure II.5 : Batterie au plomb

Figure II.6 : Réservoir d'eau

Figure II.7 : tubes sont utilisés pour transporter l'eau

Figure II.8 : Vis de fixation

Figure II.9 : Carte électronique

Figure II.10 : schéma de la carte électronique

Figure II.11: Un compilateur

Figure II.12: Détecteur de gaz hydrogène

Figure III.1 : Plaque inox de 1 m²

Figure III.2 : Découpage de plaque inox

FigureIII.3 : Après le découpage on a obtenue des mini plaque de 15*15 cm

FigureIII.4 : On va percer les plaques que nous avons obtenues

FigureIII.5 : plaques inox percés

FigureIII.6 : Plaque neutre

FigureIII.7 : Plaques de plastique

FigureIII.8 : Joints de caoutchouc

FigureIII.9 : On utilise ce raccord pour l'entrée de l'eau et la sortie de gaz H₂

FigureIII.10 : On utilise ce raccord (T) pour l'entrée de l'eau et la sortie de gaz.

FigureIII.11 : Les vis et les écrous

FigureIII.12 : On prend la plaque de plastique et on ajoute les vis qui conduire l'électricité entre les plaque inox

FigureIII.13 : On ajoute le joint de caoutchouc

FigureIII.14 : On ajoute la première plaque inox qui joue le rôle d'anode

FigureIII.15 : On ajoute les vis de fixation

FigureIII.16 : Pièces de tube

FigureIII.17 : Cette photo explique la couvrir des vis avec les pièces de tube

FigureIII.18 : Cette photo montre la méthode de placement des plaques inox et les joints de caoutchouc

FigureIII.19 : On ajoute la plaque inox qui joue le rôle cathode et on va fixer le dernier avec un écrou pour fait un contact avec le vis d'alimentation

FigureIII.20 : On ajoute la dernière plaque inox qui joue le rôle de 2^{ème} anode et on va fixer le dernier avec un écrou pour passer le courant

FigureIII.21 : On ajout les dernier join de couatchouc

FigureIII.22 : On ajout la 2^{ème} plaque de plastique pour un assemblage finale de notre générateur

FigureIII.23 : Et finalement on va fixer et serrage tous les plaques.

FigureIII.24 : Cette figure explique le principe qui on a utilisé pour réaliser notre générateur

FigureIII.25 : On ajoute le réservoir d'eau pour obtenue la partie mécanique final

FigureIII.26 : Le bulleur

Figure III.27 : circuit sur Isis

Figure III.28 : ARES pour schématisé notre circuit électronique

Figure III.29 : Circuit imprimé

Figure III.30 : Partie électronique final

Figure III.31 : Programme arduino

Figure III.32 : Programme arduino

Figure III.33 : Programme arduino

Figure III.34 : Application à un moteur de voiture

Liste de tableaux :

Tableau I.1: Débit mensuel d'hydrogène produit (kg/mois)

Tableau II.1: Les composants utilisés pour la réalisation.

Introduction générale

Le thème de projet de fin d'étude est centré autour de la génération d'hydrogène. Ce qui est une source d'énergie renouvelables qui, de manière classique, est utilisée dans plusieurs domaines. Parmi ces domaines, nous pouvons citer : l'industrie de l'ammoniac, le raffinage du pétrole et le décollage des missiles. Et aujourd'hui l'hydrogène peut aussi être utilisé comme carburant pour les voitures.

Bien sûr, l'hydrogène n'est pas disponible sous forme gazeuse dans la nature, mais est extrait de plusieurs sources, notamment le gaz naturel, les hydrocarbures, le carbone et aussi l'eau, puisque l'hydrogène est disponible en grande proportions dans l'eau.

Il existe différentes manières d'extraire l'hydrogène, y compris la conversion nucléaire, les photons optiques et enfin l'électrolyse de l'eau. Cette dernière est la plus ancienne et la plus simple et c'est cette méthode que nous allons utiliser pour la réalisation de notre générateur d'hydrogène.

Il y a deux façons de produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. La première a pour principe de passer un courant électrique continu dans un récipient d'eau riche en KOH, en NaCl ou en autres solutions ioniques.

La deuxième méthode, qui est beaucoup plus récente, a pour principe de passer de l'eau riche en l'un des ions, cités précédemment, entre des plaques métalliques, connectées à un courant électrique continu. Cette méthode est idéale pour la réalisation du générateur d'hydrogène que nous entreprenons de réaliser dans ce projet de fin d'étude, et qui pourra être utilisé dans les voiture afin d'économiser le carburant.

Pour la réalisation de notre générateur de carburant, nous avons eu besoin de 11 plaques métalliques, résistantes à la rouille (inoxydables) et isolant pour l'eau. Nous avons aussi eu besoin de deux plaques en plastiques qui vont permettre de manipuler le générateur sans toucher les plaques métalliques électrifiées.

Et enfin nous avons utilisé des boulons pour fixer les plaques entre elles et former le générateur d'hydrogène. Ce dernier sera installé à côté du refroidisseur du véhicule et sera alimenté par la batterie du véhicule. En ce qui concerne l'hydrogène généré, nous allons le passer directement à la chambre de combustion au niveau du moteur du véhicule en utilisant des tubes en plastiques ; bien évidemment, tout en tenant compte des conditions de protection.

Notre générateur d'hydrogène est muni d'un capteur sensible à l'hydrogène, qui nous servira à détecter une fuite d'hydrogène. Ce capteur va nous avertir en envoyant des informations sur un écran que nous installons sur le tableau de bord de la voiture. Nous utilisons aussi un détecteur de niveau pour nous signaler le niveau d'eau utilisé pour la génération d'hydrogène.

Tout cela sera expliqué dans ce mémoire.

CHAPITRE I

Méthodes de production d'hydrogène et son utilisation

Introduction

La **production d'hydrogène**, ou plus exactement de dihydrogène, s'obtient le plus souvent par un procédé d'extraction chimique d'hydrocarbures fossiles. Le dihydrogène peut également être extrait de l'eau via la production biologique par des algues, ou par électrolyse, par réduction chimique, ou encore par la chaleur (thermolyse) ; ces autres méthodes sont moins propices à la production industrielle, par rapport à celle dérivée des hydrocarbures par voie chimique. La découverte et le développement de méthodes moins coûteuses de production d'hydrogène en masse permettraient d'accélérer la mise en place d'une « économie hydrogène ». [1]

I.1) Histoire de la production de l'hydrogène

L'histoire de la production d'hydrogène débute avec les expériences de Cavendish en 1766.

L'alchimiste Paracelse, qui vivait au xv^e siècle, a entrevu le gaz ; un siècle plus tard, Robert Boyle parvint à le recueillir, mais ne le distingua pas de l'air ordinaire. En 1603, Théodore de Mayerne l'enflamma, et John Mayow, vers la fin du xvii^e siècle, le distingua de l'air. Enfin, au commencement du xviii^e siècle, Nicolas Lémery en constata aussi l'inflammabilité.

Ce n'est qu'en 1766 que ce gaz fut étudié par Cavendish. En 1783, Antoine Lavoisier découvre que l'« air inflammable » de Cavendish, qu'il baptise hydrogène (du grec « formeur d'eau »), réagit avec l'oxygène pour former de l'eau.

La découverte de l'« air inflammable » comme on l'appelait est donc ancienne. Théodore de Mayerne et Paracelse l'obtenaient par réaction entre l'« huile de vitriol » (de l'acide sulfurique) diluée et versée sur du fer ou du zinc. En 1870, le gaz produit pour les besoins des ballons à gaz n'utilise pas d'autre moyen. Au xxi^e siècle, le gros du dihydrogène requis est produit à partir du méthane présent dans le gaz naturel, par catalyse hétérogène.

I.2) Méthodes de production d'hydrogène

A l'heure actuelle, la synthèse de l'hydrogène provient de 96% environ des hydrocarbures. Néanmoins, d'autres technologies sont en voie de développement. Le choix du procédé se fait en fonction des nombreux paramètres: type d'énergie utilisée, sa disponibilité, la pureté du produit, etc.

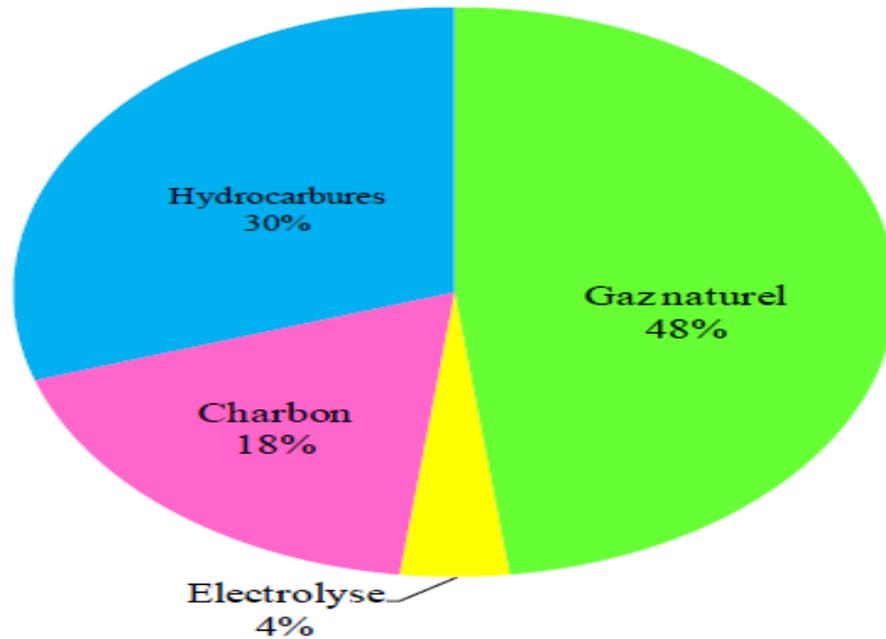


Figure I.1: Les sources de production d'hydrogène (Khothari et al., 2008)

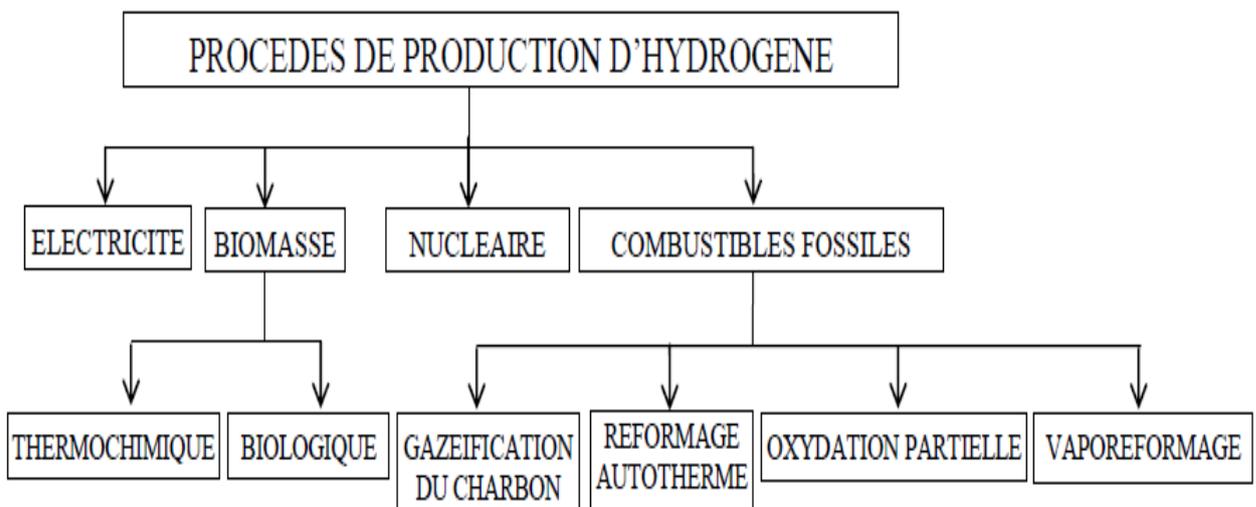


Figure I.2 : Procédés de production d'hydrogène

Dans ce qui suit ces différents procédés de production d'hydrogène vont être détaillés. [4]

I.2.1) Production d'hydrogène à partir des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont avantageux dans la synthèse de l'hydrogène pour leur disponibilité, leur prix et leur intégration dans différentes industries de raffinage et de pétrochimie.

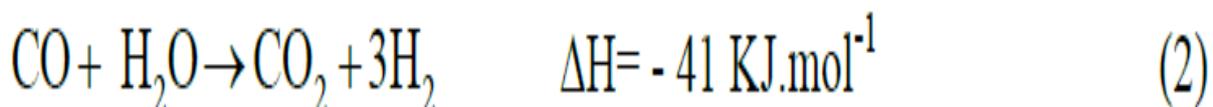
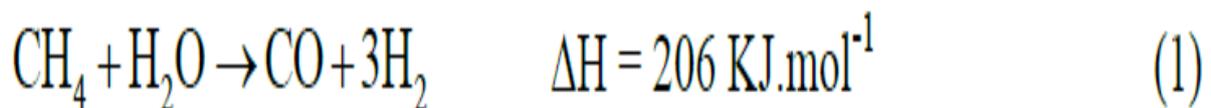
Les technologies existantes pour filière sont aujourd'hui :

- Le vapo-reformage d'hydrocarbures légers.
- L'oxydation partielle d'hydrocarbures.
- Production par reformage autotherme.

I.2.2) Production d'hydrogène par vapo-reformage :

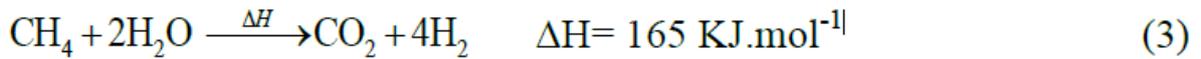
Le gaz naturel est la source la plus propre des hydrocarbures (il est composé en majorité en méthane) dans la synthèse de l'hydrogène. Le procédé de vapo-reformage du gaz naturel se fait en trois étapes :

En premier, le méthane est prétraité (débarrassé des impuretés telles que, les sulfures), ensuite introduit avec la vapeur d'eau dans la réacteur catalytique (nickel et alliages nickel-fer), à haute température ($700\text{C}^\circ - 900\text{C}^\circ$) et pression (15 - 30 atm) pour former un mélange de l'hydrogène et de monoxyde de carbone (réaction 1). Dans la deuxième étape, après un refroidissement, une réaction Shift dans laquelle le monoxyde formé précédemment réagit encore avec la vapeur d'eau pour produire du dioxyde de carbone et de l'hydrogène (réaction 2).



CHAPITRE I : Méthodes de production d'hydrogène et son utilisation

La réaction globale peut être écrite ainsi:



Globalement, le bilan des deux réactions est endothermique. Le mélange gazeux à la sortie de réacteur est approximativement composé de 70% hydrogène, 25% CO₂, 4% méthane et moins de 1% de CO. La troisième étape consiste à séparer ces gaz. Le procédé industriel le plus utilisé c'est l'adsorption du CO₂ sur charbon actif, permettent d'obtenir de l'hydrogène pur à 99,99% environ.

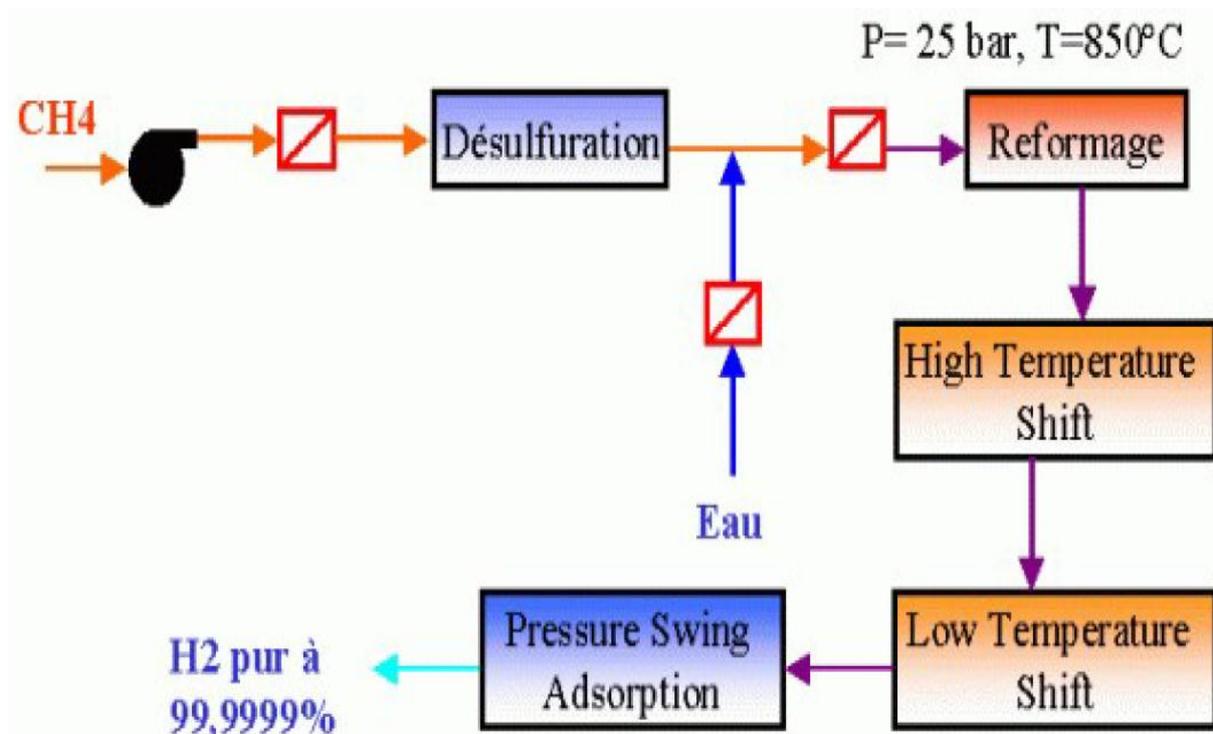
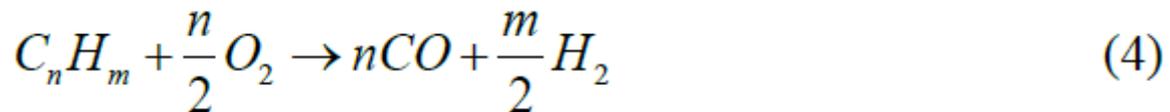


Figure I.3 : Production d'hydrogène par vapo-reformage

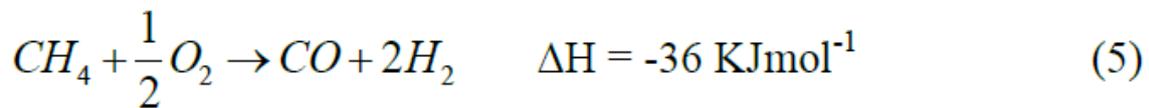
I.2.3) Oxydation partielle catalytique

L'oxydation partielle consiste à produire de l'hydrogène à partir du méthane du gaz naturel qu'on fait réagir avec de l'oxygène. Cette réaction s'effectue à de hautes températures (1300 à 1400 °C) et à des pressions plus ou moins importantes (20 à 90 bar) :

Equation générale de l'oxydation partielle :



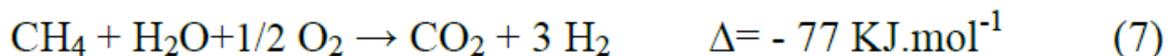
Equation avec le méthane :



La réaction conduit à la formation du monoxyde de carbone, ce qui nécessite, tout comme dans la production d'hydrogène par vaporeformage, une phase de décarbonatation (« Water Gas Shift ») :



Le bilan donne une réaction globale exothermique:



Et en fin, on procède à la purification de l'hydrogène produit. Ce type de réaction pourrait s'avérer très intéressant dans l'optique de la production d'hydrogène embarquée sur les véhicules automobiles fonctionnant grâce à des piles à combustible.

I.2.4) Reformage autotherme

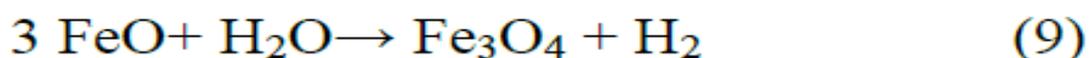
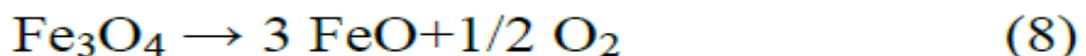
Le procédé autotherme de reformage autothermique est probablement la plus intéressante des prochaines évolutions des procédés de production d'hydrogène à partir des hydrocarbures son principal atout est de compenser (dans un même réacteur à lit fixe) les réactions endothermiques du vaporeformage par les réactions exothermiques de l'oxydation partielle.

I.2.5) Production d'hydrogène par décomposition thermochimiques

Dans cette technique, une source thermique est utilisée pour obtenir la décomposition de l'eau par étapes. Des substances chimiques sont introduites, à travers une série de réactions de combinaisons avec l'eau et entre elles, puis de dissociations, pour arriver à la production d'hydrogène et d'oxygène, tout en restituant les substances chimiques initiales. Cette méthode est difficilement contrôlable et les risques d'explosion sont très importants. A haute température et en fonction de la pression, l'eau se décompose en hydrogène et

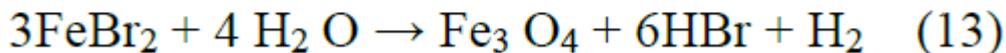
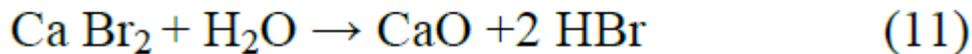
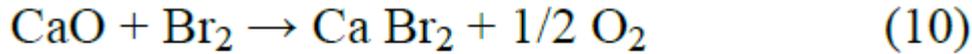
oxygène. Le but de ces cycles est de réaliser la décomposition de l'eau à une température inférieure à celle de la décomposition directe (un procédé difficilement contrôlable, nécessitant une très haute température (1500 C°).

Rappelons que l'hydrogène a été découvert par Lavoisier par la réaction d'oxydation du fer par l'eau à haute température . Ce procédé fut longtemps employé dans l'industrie avant la généralisation du reforming catalytique. Le cycle de l'oxyde ferrique à deux niveaux proposé par le scientifique japonais Nakamura reprend ce principe en utilisant une source solaire pour le chauffage. Dans une première étape, une forme d'oxyde ferrique appelée magnétite (Fe₃O₄) est placée dans le foyer d'un concentrateur solaire placé dans une région très ensoleillée de la terre. A une température d'environ 200 C°, la magnétite se transforme en une autre forme d'oxyde ferreux nommé wustite (FeO) (réduction). Dans une deuxième étape sans l'apport solaire, on fait réagir FeO avec de l'eau, ce qui libère de l'hydrogène et transforme le wustite en magnétite:

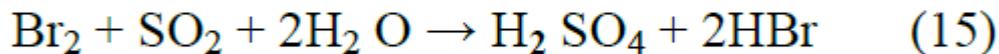
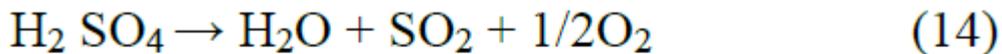


La première réaction est endothermique et nécessite des températures de plus de 1600K. La seconde consiste en l'oxydation de l'eau (étape d'hydrolyse), légèrement exothermique et spontanée aux environs de 1200K.

D'autres cycles thermochimiques sont également utilisés, plus compliqués:



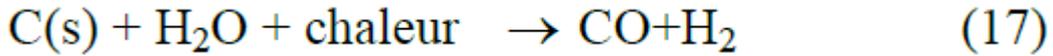
Un autre cycle utilisant l'acide sulfurique peut être décrit comme suit:



L'inconvénient principal de ces procédés est leur toxicité et les déchets produits nécessitent des traitements adéquats pour préserver l'environnement. La réaction de recombinaison à haute température limite également le rendement et la séparation de l'hydrogène de l'oxygène pour éviter la recombinaison est un véritable défi technologique.

I.2.6) Production à partir du charbon

La production d'hydrogène à partir du charbon est plus complexe que la production de l'hydrogène du gaz naturel. Le coût de l'hydrogène résultant est également plus haut, mais puisque le charbon est abondant dans beaucoup des régions du monde et sera employé probablement comme source d'énergie de réserve et il est intéressant d'explorer le développement des technologies propres pour son usage. Une réaction typique pour le processus est donnée dans l'équation :



Tout comme dans le vaporeformage et l'oxydation partielle, il est indispensable de reconvertir le monoxyde de carbone en dioxyde, puis l'adsorption du CO₂ produit sur charbon actif.

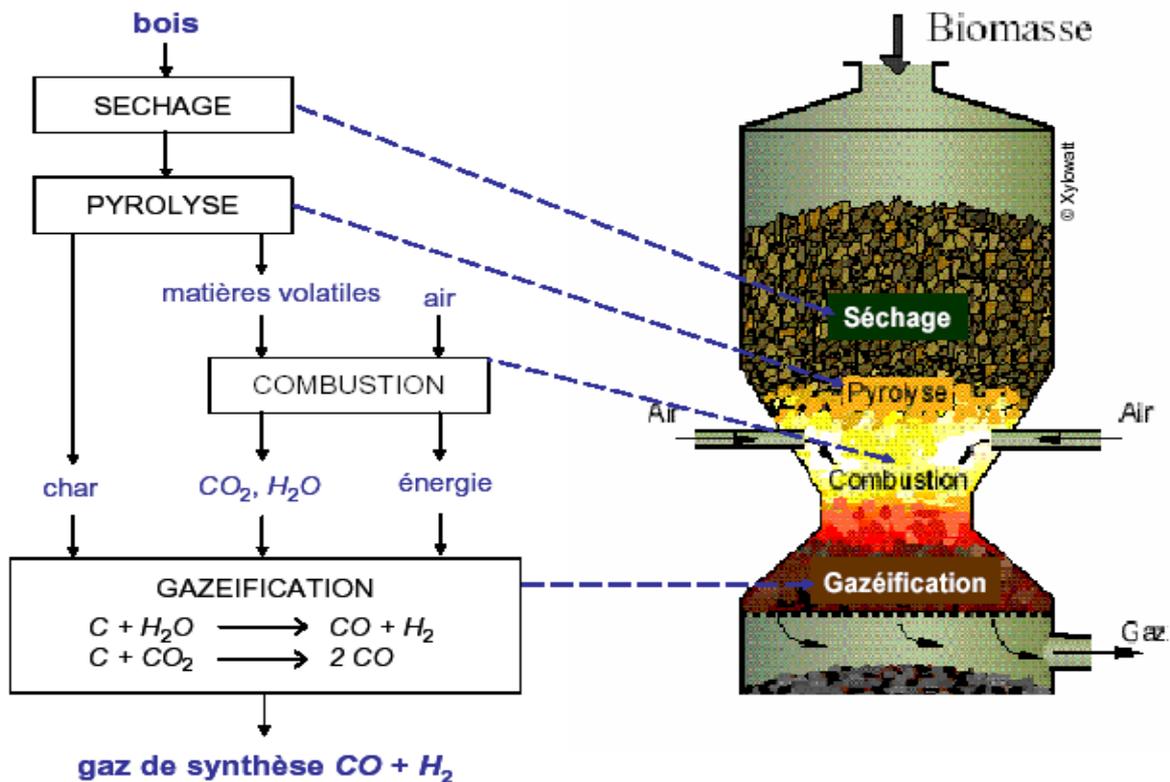


Figure I.4 : Production à partir du charbon

I.2.7) Production à partir du nucléaire

Une autre possibilité de production d'hydrogène réside dans le nucléaire. Depuis quelques années, des chercheurs étudient des réacteurs nucléaires dits de 4ème génération. Non seulement plus sûrs, ils permettront une moindre consommation de combustible nucléaire, une production plus faible de déchets mais également en plus de la fourniture d'électricité, la production d'hydrogène. Les rendements devraient être de l'ordre de 50 %. Aujourd'hui, une dizaine de pays travaillent sur cette innovation technologique : la France, les USA, le Japon, le Royaume-Uni, la Suisse, l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, le Canada et la Corée du Sud. En outre, au total, six nouvelles technologies de réacteur sont à l'étude : un réacteur refroidi avec de l'eau supercritique, un réacteur à neutrons

rapides à refroidissement avec au choix sodium liquide ou alliage de plomb liquide (Figure (a))., un réacteur à gaz à très haute température et un réacteur à sels fondus (Inel, 2010). Le CEA a choisi de retenir en particulier le réacteur à gaz à haute température (1100°C), noté VHTR (Figure (b)). Le haut niveau de température permet la décomposition de l'eau en hydrogène et en oxygène. S'agissant du Japon et des USA, ils se tournent plutôt vers le réacteur à refroidissement au sodium liquide. Néanmoins, cette technologie ne serait commercialement disponible que vers 2030-2040. Quant au projet ITER de fusion nucléaire également productrice d'hydrogène, ses retombées ne sont attendues que pour la fin du siècle (Ryland et al., 2007).

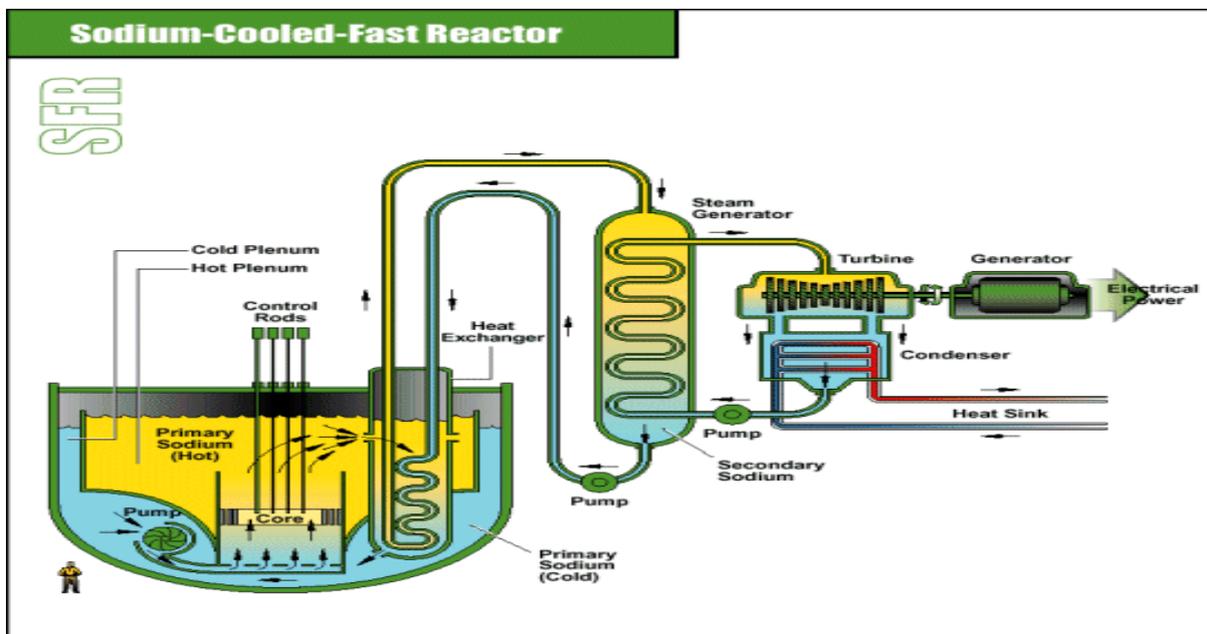


Figure I.5: Réacteurs nucléaire pour la production de l'hydrogène (Inel, 2010)

(a) Réacteur à refroidissement au sodium liquide

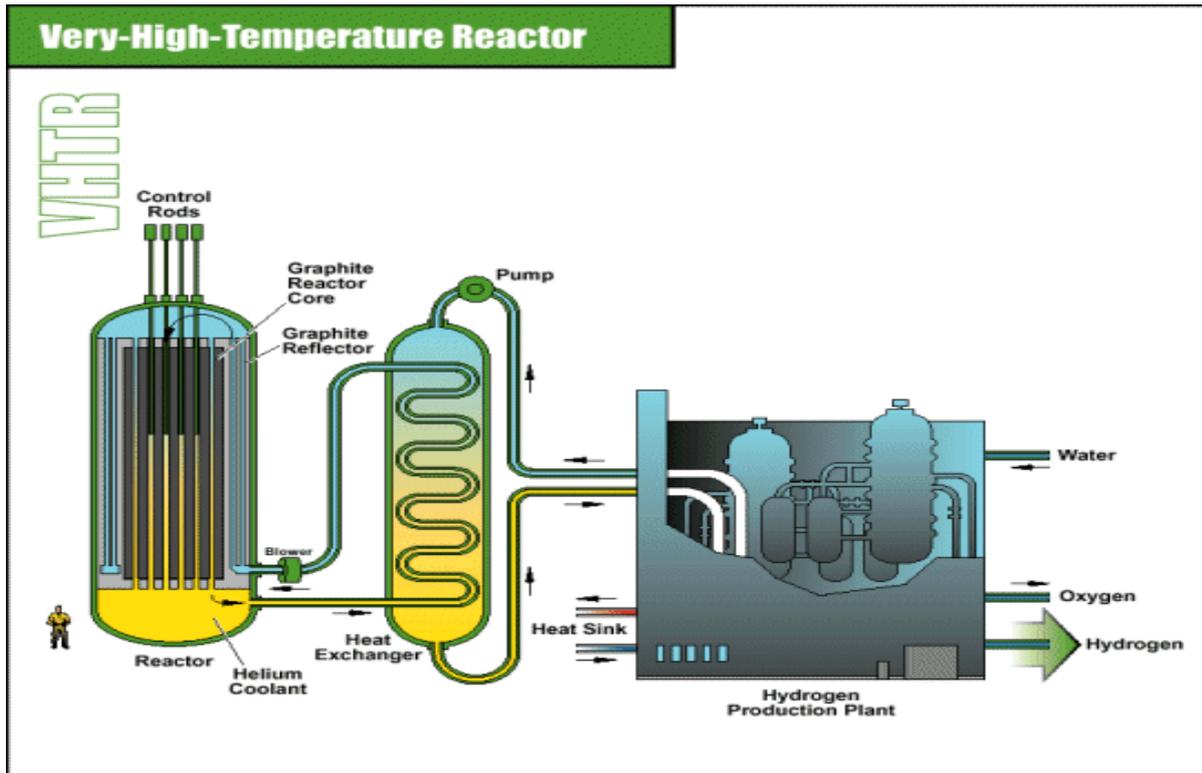


Figure I.6 : Réacteurs nucléaire pour la production de l'hydrogène (Inel, 2010)

(b) Réacteur à gaz à haute température

I.2.8) Procédés biologiques

Un grand nombre de micro-organismes décomposent la matière en CO_2 et H_2 . La plupart de l'hydrogène produit par voie biologique dans la biosphère est issue de procédés de fermentation microbologique.

Les principales méthodes biologiques de production d'hydrogène sont :

1. La biophotolyse de l'eau par des algues ou des cyanobactéries ;
2. La décomposition de composés organiques par des bactéries photosynthétiques
3. La dégradation de composés organiques par fermentation en présence de bactéries ;
4. Un procédé hybride utilisant les deux dernières méthodes.

I.2.9) Procédés photo-électrochimiques

L'hydrogène gazeux peut-être synthétisé par électrolyse couplé à un module photovoltaïque. De recherches récentes tentent de jumeler ces deux techniques (collecte du courant issu du solaire et l'utiliser en électrolyse) et d'utiliser l'énergie photonique de la radiation solaire pour la décomposition directe de l'eau sans passer par l'étape intermédiaire de production d'électricité. En présence d'un catalyseur, la dissociation de l'eau se fait spontanément grâce à l'énergie solaire. C'est le cas notamment avec des photocatalyseurs bien connus comme le dioxyde de titane TiO_2 [22]. Les recherches menées actuellement portent sur l'optimisation de ces photocatalyseurs. En effet, le rendement de la réaction est conditionné par l'absorption de la lumière, or seule une partie du spectre est absorbé par le dioxyde de titane. Le rendement de procédé photo-électrochimique est d'environ 12.4 % par rapport au rayonnement solaire incident [19]. Des recherches sont en cours afin de développer des semi-conducteurs plus performants. Comme il existe d'autres méthodes qui reposent sur les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'hydraulique, la géothermie, l'énergie des vagues etc. [15]

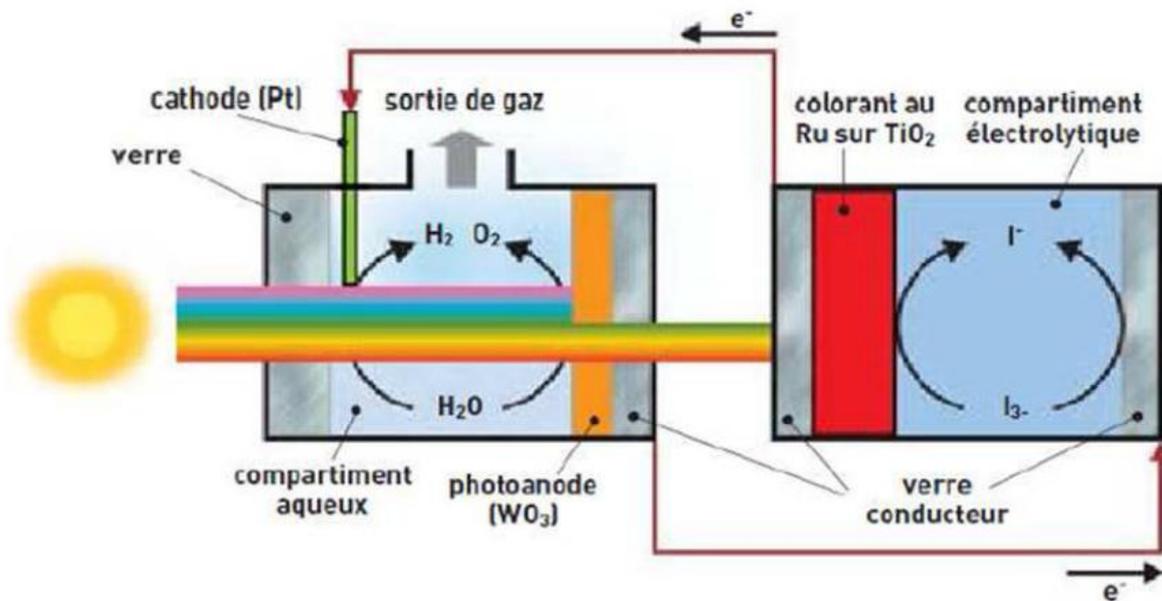


Figure I.7 : Procédés photo-électrochimiques

I.2.10.1) Electrolyse de l'eau

Bien que l'électrolyse de l'eau soit l'une des méthodes les plus simples pour la production d'hydrogène et qu'elle soit connue depuis environ 200 ans, sa part dans la production totale d'hydrogène est encore faible.

I.2.10.2) L'électrolyse de l'eau

A l'échelle industrielle, deux procédés ayant le plus grand intérêt et caractérisés la non-émission de gaz à effet de serre, sont l'électrolyse utilisant une source d'électricité renouvelable (solaire, éolienne, hydraulique...) et l'électrolyse à haute température à travers le nucléaire. Pour que cette technique soit compétitive, il est impératif de réduire la consommation d'énergie, le coût et l'entretien des électrolyseurs et d'augmenter leur rendement.

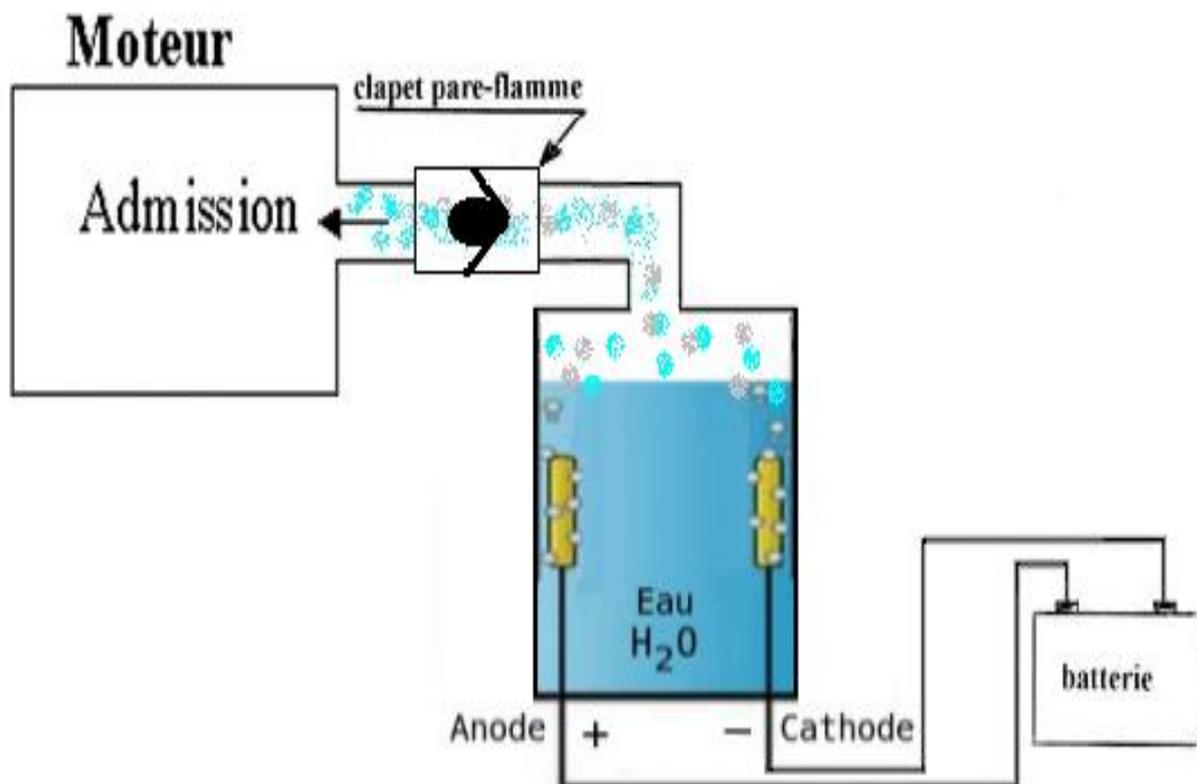
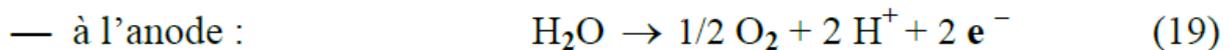
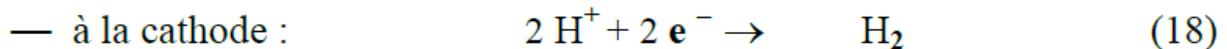


Figure I.8 : L'électrolyse de l'eau

I.2.10.3) Principe général

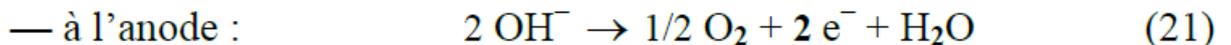
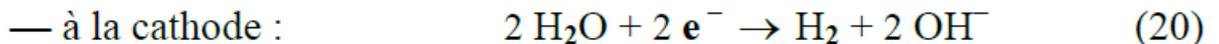
L'électrolyse de l'eau est une réaction électrochimique de décomposition de l'eau en hydrogène et en oxygène gazeux. Elle est effectuée par le passage d'un courant continu à travers deux électrodes séparées par une membrane et immergées dans un électrolyte liquide ou solide.

En solution acide, on admet généralement que la décomposition de l'eau s'effectue suivant les réactions :



- En solution alcaline, par contre, les ions OH^- prédominent et le phénomène est

habituellement exprimé par :



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



avec $\Delta H = 285 \text{ KJ/mol H}_2\text{O}$ enthalpie de dissociation de l'eau.

I.2.10.4) Tension de cellule

L'équation de Nernst exprime la tension de décomposition Réversible sous la forme:

$$E_{rev} = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_{\text{H}_2} P_{\text{O}_2}^{1/2}}{a_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (\text{I.1})$$

CHAPITRE I : Méthodes de production d'hydrogène et son utilisation

Avec :

R constante molaire des gaz ($= 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),

T (K) température thermodynamique,

F constante de Faraday ($= 96487 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$),

E_0 (V) tension de décomposition réversible dans les conditions normales,

$P_{H_2} = P_{O_2} = P$ (Pa) pression de service de l'électrolyseur,

a_{H_2O} activité de la solution,

D'où cette tension de décomposition réversible s'établit à 1,229 V dans les conditions normales. À température ambiante (20 C°), on a:

$$E_{rev} = 1.233 + 0.043 \log P \quad (\text{I.2})$$

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 thermo-neutre correspond au fonctionnement isotherme de l'électrolyseur. Elle s'exprime par :

$$E_{th} = \frac{\Delta H}{2F} = 1.48V (\text{à } 298K) \quad (\text{I.3})$$

Cette tension ne dépend que faiblement de la température. Un accroissement de température entraîne par contre une diminution de la tension de décomposition réversible. Cette diminution se répercute aux bornes de l'électrolyseur où l'on peut en général, constater un gain de 2 à 5 mV/C°.

On constate que deux types de fonctionnement sont possibles en fonction de la tension de l'électrolyseur:

CHAPITRE I : Méthodes de production d'hydrogène et son utilisation

$E_{rev} < U < E_{th}$: un apport extérieur de chaleur est nécessaire aux cellules d'électrolyse.

$U > E_{th}$: la chaleur est alors produite par la réaction. [6]

I.3) L'hydrogène et le nouveau monde énergétique :

I.3.1) Débit mensuel d'hydrogène produit

Les productions mensuelles d'hydrogène pour différents sites d'Algérie sont données par le tableau 6. Leurs valeurs sont proportionnelles l'intensité du rayonnement solaire et elles sont pratiquement toutes maximales pendant le mois de Juin. Les quantités les plus importantes sont produites à Tamanrasset et à Illizi.

Mois	Annaba	Biskra	Alger	Djanet	Djelfa	Illizi	Oran	Taman.
1	8295.11	5581.28	3124.58	17903.02	8803.82	16849.08	9014.18	17565.16
2	11801.37	12782.70	4808.40	20081.06	9075.64	18903.38	10990.97	20226.33
3	9263.63	12741.56	15056.28	26343.65	6543.36	25827.96	11842.98	27842.63
4	15876.49	21131.62	12284.06	32215.32	33477.16	29064.25	17447.56	32172.67
5	16165.16	9529.16	36311.05	33652.28	10968.99	23924.77	12311.68	34940.70
6	41842.49	39086.29	40530.30	29146.23	13532.15	43097.72	44841.95	44872.94
7	34859.25	36029.26	35416.23	35809.99	34970.42	41440.97	39257.30	27718.03
8	28230.46	24962.47	18198.94	24719.89	11608.18	28714.86	21545.10	27513.62
9	17752.83	14168.67	19124.66	23801.02	11050.01	20762.31	20762.57	20905.23
10	13708.06	4906.94	6732.45	19154.77	11899.13	18928.70	5424.74	19236.61
11	9020.08	9648.92	6473.98	14544.54	6381.50	15134.48	10063.63	12715.21
12	6579.10	7350.20	7762.76	11496.93	2941.90	14020.81	2080.17	14251.68

Tableau I.1: Débit mensuel d'hydrogène produit (kg/mois)

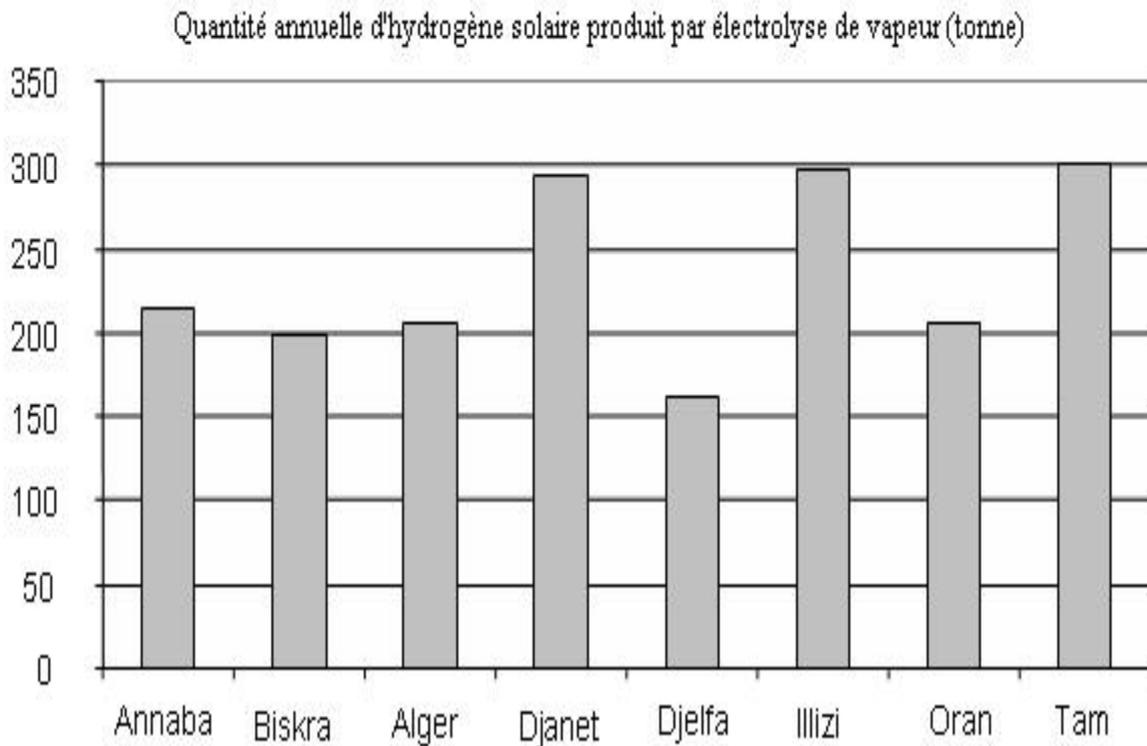


Figure I.9 : Estimation de la production annuelle d'hydrogène solaire par électrolyse de vapeur d'eau pour différents sites d'Algérie

I.4) Stockage du dihydrogène

La molécule de dihydrogène est la plus petite molécule existante car elle est composée de deux atomes dont le rayon est le plus minime : l'hydrogène. Par conséquent, son stockage dans un volume donné nécessite des conditions rigoureuses pour éviter les fuites. De plus, cette molécule est très facilement inflammable ou explosive, d'où la nécessité de contrecarrer ce danger. Pour les applications auxquelles, on destine l'hydrogène les modes de stockage actuels ne suffisent pas.

I.4.1) Le stockage haute pression

Pour stocker le dihydrogène sous haute pression, le matériau composant le réservoir doit posséder de nombreuses qualités qu'il est actuellement impossible de réunir. En effet, le stockage haute pression est envisagé principalement dans le domaine des applications mobiles, avec notamment les réservoirs pour piles à combustibles ; le réservoir se doit donc d'être léger et résistant à la fatigue provoqué par les conditions thermiques et mécaniques. Il faut aussi qu'il soit protégé contre la corrosion et la permutation (traversée d'une paroi par un flux gazeux). De plus, le réservoir doit être économiquement compétitif.

I.4.2) Le stockage basse pression

Le stockage basse pression est moins contraignant que le précédent mais l'autonomie que le réservoir permet est plus faible. Par conséquent, on recherche actuellement des moyens de stocker plus de dihydrogène dans un même volume et même pression. Les phénomènes d'adsorption et d'absorption sont la solution de cette amélioration du stockage basse pression.

L'adsorption est un phénomène physique qui retient les molécules de gaz à la surface d'un solide sous l'effet des forces de Van der Waals.

L'absorption est une propriété chimique que possèdent certains liquides ou solides de retenir certaines substances (gaz ou liquides) dans la totalité de leur volume.

I.5) Usages de l'hydrogène

Généralités

L'hydrogène est aujourd'hui assez largement utilisé mais son usage est relativement méconnu du grand public car il concerne presque exclusivement l'industrie (raffinage, chimie...). Le secteur de l'industrie ne semble pas devoir évoluer dans les années à venir, alors que les projets sont potentiellement nombreux dans les autres usages liés à l'énergie (mobilité, stockage de l'énergie,

résidentiel). La production mondiale annuelle d'hydrogène, qui est de 60 Mt environ, ne représente que 2 % de la consommation d'énergie mondiale et pourrait donc trouver la d'autres débouchés.

I.6) L'hydrogène dans l'industrie.

L'hydrogène est aujourd'hui essentiellement utilise dans l'industrie : production d'ammoniac pour engrais (50 %), pétrochimie (35 %), production de méthanol, spatial.²² Plus précisément, selon GDF Suez devenue Engie, « si 94 % de l'H₂ aujourd'hui produit dans le monde est consomme pour la production d'ammoniac (53 %), dans le raffinage (31 %) et dans la chimie (10 %) pour ces propriétés chimiques, 6 % l'est de manière diffuse dans les industries agroalimentaires, l'électronique, les industries du verre et des métaux, l'aérospatiale, les laboratoires, etc. >>

Malgré un besoin en déclin pour la production d'ammoniac (en raison du moindre usage d'engrais azotes), l'IFPEN²³ envisage un taux de croissance global de 4 % par an lie a la croissance du raffinage (au sens large : l'utilisation d'hydrocarbures plus lourds peut nécessiter de l'hydrogène pour les

Alléger). Une autre source estime le besoin de l'industrie constant au moins jusqu'en 2020.

Les prix de vente de l'hydrogène sont essentiellement pilotes par les besoins en carburants ou

d'engrais. Ils sont très variables suivant qu'il s'agit d'un approvisionnement aléatoire ou garanti.

Les usages liés à la mobilité

Les usages liés à la mobilité : état de l'art technique sur le véhicule à hydrogène Le véhicule a hydrogène s'inscrit dans une conception très évolutive de la mobilité, moins carbonée et plus diversifiée.

D'une part, la plage des motorisations s'élargit et le véhicule à combustion interne (essence ou diesel, voire biocarburant ou gaz naturel) cohabite avec les véhicules hybride et électrique, lesquels utilisent des batteries mais pourront

utiliser demain de l'hydrogène, dans le cadre d'un basculement des énergies fossiles carbonées vers de l'énergie électrique décarbonnée (EnR, voire nucléaire).

D'autre part, les usages ne sont plus nécessairement focalisés sur le véhicule polyvalent et donnent une place plus large au multimodal ou chaque créneau marketing peut s'accommoder de certaines contraintes : Autolib ne semble pas handicapé par l'autonomie limitée de la propulsion électrique.

L'usage de l'hydrogène pour la mobilité est aujourd'hui possible techniquement sur la base de piles à combustible (PAC) qui produisent de l'électricité suivant le principe inverse de l'électrolyse.

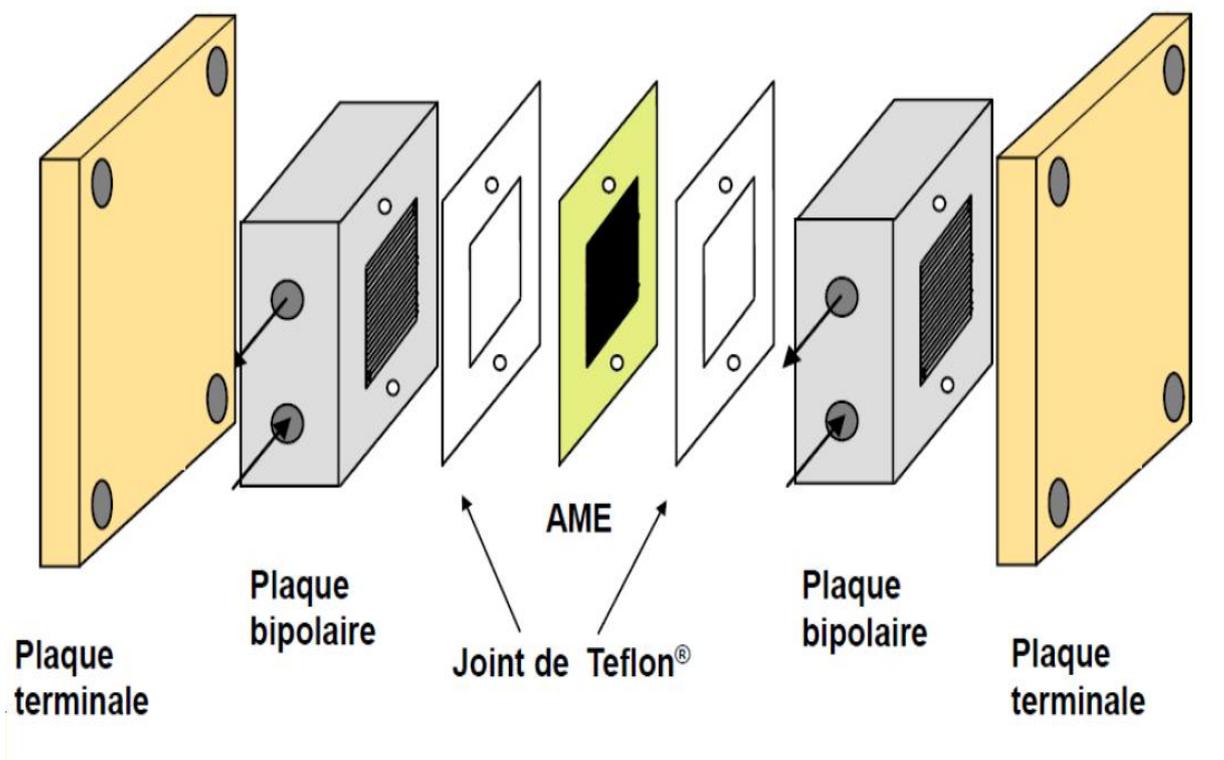


Figure I.10 : fonction de fabrication de maquette

L'application phare des études prospectives est l'usage de l'hydrogène comme source d'énergie pour Des véhicules électriques, sur la base d'une consommation d'environ 1 kg H₂ pour 100 km

Autres applications dans le domaine de la mobilité

CHAPITRE I : Méthodes de production d'hydrogène et son utilisation

Les VUL (Véhicules utilitaires légers) représentent environ 15 % du parc automobile, et beaucoup rayonnent dans une zone prédéfinie souvent urbaine. Ce sont de bons candidats pour le véhicule électrique mais l'autonomie limitée peut devenir un handicap que peut surmonter la motorisation à hydrogène.

Les bus : les municipalités commencent à déployer des bus à H₂ en ville (projet Businova, à Albi...), montrant ainsi leur engagement vers la mobilité verte. À Hambourg, une station de recharge gérée par Vattenfall et alimentée par de l'électrolyse alimente sept bus urbains à hydrogène.

Les chariots élévateurs : dans les centres de manutention, ils constituent la marche de niche de référence sur le créneau de l'hydrogène car ils ne dégagent pas de pollution et sont rechargeables en quelques minutes alors que des échanges (et a fortiori des recharges) de batteries auraient été plus pénalisants, et que des moteurs thermiques ne sont guère envisageables en milieu fermé.

Les engins aéroportuaires : L'équipement en véhicules tout hydrogène des engins au sol des infrastructures aéroportuaires est une niche potentiellement très prometteuse : selon les dernières prévisions de marche de Boeing,

Publiées le 11 juin 2015 la flotte mondiale d'aéronefs commerciaux, aujourd'hui de 21 600, devrait atteindre 43 560 en 2034, ce qui représente un potentiel exceptionnel sur longue période.

Avions et navires On peut citer les exemples d'avion (projet Antares DLR-H₂ en Allemagne) ou de bateaux (projets NavHybus, Most'H, SHyPER subventionnés par l'ADEME).

Les usages de l'hydrogène dans le secteur énergétique

La transition énergétique fait naître de nouveaux usages énergétiques de l'hydrogène. En particulier, l'hydrogène est un des moyens de stocker l'électricité pendant les périodes de surproduction.

Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène ne préjuge pas de la forme qu'il prendra pour la consommation finale de son contenu énergétique (H₂, CH₄, chaleur, électricité ...) :

> le gaz produit peut faire l'objet de stockage tampon dans certaines configurations afin de pouvoir équilibrer le fonctionnement dans le temps,

> Il peut être injecté dans le réseau public de distribution ou de transport de gaz, créant ainsi un couplage entre les différents réseaux et vecteurs énergétiques (Power to Gas),

> Il peut aussi être valorisé par un industriel pour ses besoins de process ou par une station-service,

> Enfin l'hydrogène (ou le CH_4) peut être stocké in situ pour être ensuite utilisé afin de produire de l'électricité à l'aide d'une pile à combustible (Power to Power).[4]

I.7) CONCLUSION

Les systèmes énergétiques basés sur l'hydrogène séduisent par leurs avantages, qui cadrent bien avec le souci public concernant les émissions polluantes et le changement climatique.

Les annonces récurrentes d'un moteur propre, avec pour seul rejet de la vapeur d'eau, sont fascinantes. Outre le fait d'une « combustion » propre, l'hydrogène possède quelques autres attraits particuliers qui le rendent d'autant plus séduisant: le plus simple des éléments chimiques, le plus léger des gaz, le plus abondant des éléments de l'univers, le plus calorifique des combustibles. Mais le problème majeur est le suivant : on passe souvent sous silence le fait qu'avant d'être utilisé l'hydrogène doit être produit, puis distribué et stocké.

CHAPITRE II :

Les outils utilisés

Introduction

Le principal but de notre projet était d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'hydrogène et également de concevoir un générateur qui est capable de produire ce gaz en grande quantité. Il existe plusieurs méthodes pour produire de l'hydrogène, mais nous nous sommes contentés de seulement une, soit la plus courante, l'électrolyse de l'eau. Pour parvenir à concevoir un générateur de qualité et fonctionnel, nous avons d'abord fait quelques tests à l'échelle miniature avec l'appareil de Hoffman sur les différents facteurs qui font varier la quantité d'hydrogène produite, par exemple le voltage, l'ampérage, le type d'électrolyte, la concentration, ainsi que la surface de contact des électrodes. Puis, Enfin, nous avons construit celui-ci et surmonté les différentes difficultés telles que l'étanchéité, la mousse produite ainsi que le fait que la théorie soit généralement en anglais.¹

II.1) Types de générateur :

Il existe deux types de générateur d'hydrogène soit un générateur submergé où les plaques sont à l'intérieur de l'eau ainsi qu'un générateur non submergé où l'eau circule entre les plaques en toute étanchéité.



Figure II.1: Générateur submergé submergé



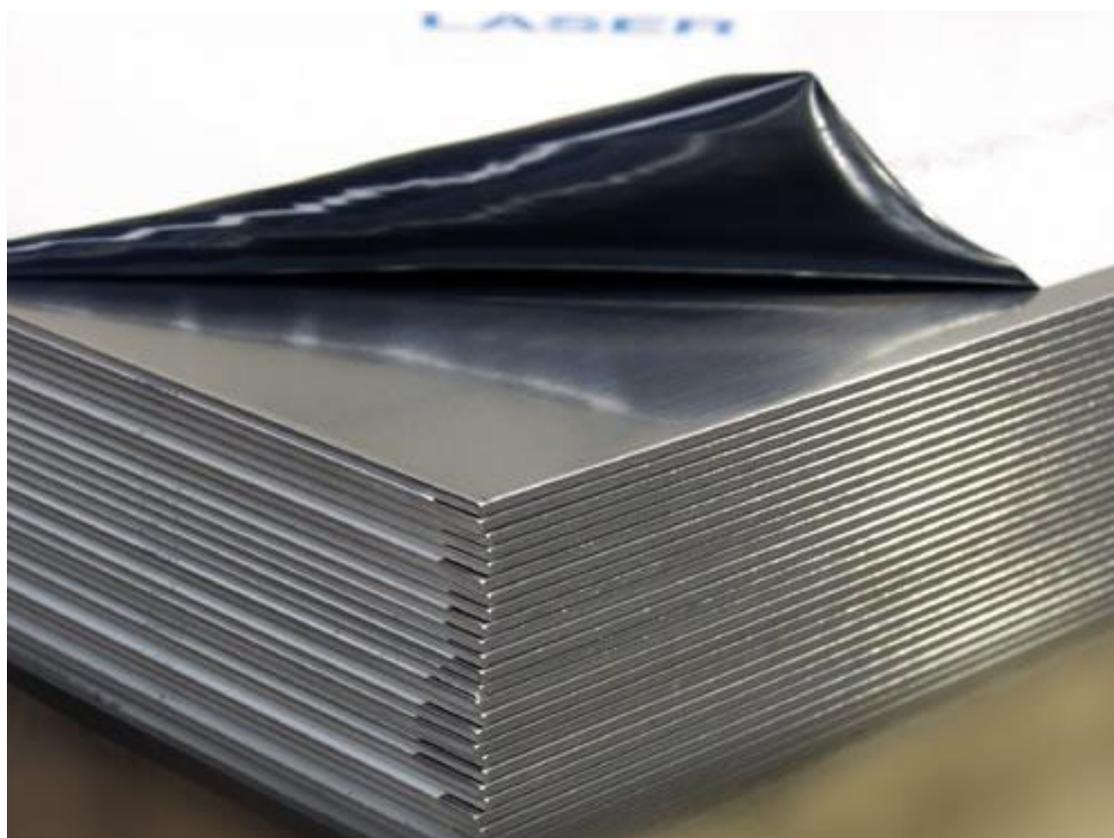
Figure II.2 : Générateur non submergé

Les deux types de générateur fonctionnent très bien. Chaque plaque de chacun des générateurs agit à titre d'électrode. Contrairement à l'appareil d'Hoffman, celles-ci sont beaucoup plus grosse, ce qui augmente la surface de contact. En ayant plus de surface de contact, les électrodes peuvent dissocier beaucoup plus de molécules d'eau à la fois donc produire plus d'hydrogène. Cependant, le générateur non-submergé est beaucoup plus efficace, car l'eau est toujours en mouvement et renouvelée en faisant un cycle continu contrairement à un générateur de type submergé où l'eau est stagnante. Chaque générateur doit être équipé d'un « bulleur » afin d'éviter toute explosion. Des valves anti-retour sont également fort recommandées. Les plaques neutres

II.2) L'électrolyse de l'eau :

L'électrolyse de l'eau est une réaction électrochimique qui vise à séparer la molécule d'eau en deux gaz soit l'hydrogène et l'oxygène. Cette réaction est produite lorsqu'un courant continu se déplace de l'anode à la cathode en passant

par l'eau. Cette réaction nécessite environ 1,23 volt pour se faire. Pour de meilleurs résultats, un ajout d'électrolyte dans l'eau est nécessaire, car l'eau pure n'est pratiquement pas conductrice donc la réaction est très lente. L'électrolyte est une substance conductrice possédant des ions en mouvements. Les ions permettent au courant de voyager plus rapidement entre les électrodes. De plus, tous les matériaux conducteurs peuvent être pris comme électrode, mais ils ne sont pas tous efficaces. Par exemple, le cuivre ou encore le fer sont de mauvais matériaux, car ce sont des matériaux qui s'oxydent facilement. L'électrolyse augmente l'effet d'oxydation. Il est donc beaucoup plus avantageux d'utiliser des matériaux comme l'acier inoxydable, l'aluminium, la platine ou l'or qui rouillent très peu ou pas.



FigureII.3 : La place inox

II.3) Propriétés et applications

Les aciers inoxydables présentent une grande variété de structures et donc de propriétés physiques, mécaniques et surtout chimiques. La principale propriété de

ces aciers est leur excellente résistance à la corrosion, ce qui leur donne une durée de vie quasi exceptionnelle dans la très grande majorité des milieux. A cette propriété fondamentale, s'ajoutent-les caractéristiques mécaniques élevées à hautes comme à basses températures (résistance mécanique, ductilité, ténacité...). En raison de leur résistance à la corrosion et de leurs finis de surface de tout premier rang, les aciers inoxydables jouent un rôle prépondérant dans l'industrie aéronautique, chimique, pharmaceutique et agroalimentaire, les cuisines professionnelles, l'architecture et même la bijouterie.

II.3.1) Propriétés de mise en forme

Les aciers inoxydables peuvent être fabriqués et transformés en utilisant un large éventail de technologies et sont entièrement « recyclables » à la fin de leur vie utile. Son usinage est beaucoup plus difficile que celui de certains matériaux, d'où un coût considérablement plus élevé.

II.3.2) Propriétés physiques

Ces aciers possèdent :

- Une masse volumique de l'ordre de 7850 Kg/m.
- Une capacité thermique de 0.5J/g.°C pour $T = 0^{\circ}\text{C}$ à 100°C
- Une conductivité thermique de 16.2W/m.K à 100°C •
- Une conductivité thermique de 21.4W/m.K à 500°C

II.3.3) Propriétés mécaniques

Les aciers inoxydables représentent les propriétés mécaniques suivantes :

- La dureté, Rockwell B est : 79HRB
- La résistance à la traction est : 558Mpa
- L'allongement à la rupture est : 50%
- Le module de Young est : 2.10^5 Mpa

II.3.4) Propriété électrique

La résistivité électrique des aciers inoxydables est : 7410 ohm.cm.

II.3.5) Propriétés magnétiques

Les aciers inoxydables et martensitiques sont ferromagnétiques « prennent à l'aimant » suite à la présence de la ferrite et de la martensite. En revanche, les aciers inoxydables austénitiques présentent, à température ambiante, une structure austénitique qui leur permet d'être paramagnétiques (amagnétiques) [3]. Certains aciers inoxydables austénitiques peuvent devenir légèrement ferromagnétiques après une déformation importante (frappe à froid, emboutissage). En effet, la déformation provoque une modification partielle de la structure austénitique en structure martensitique (formation de martensite d'écroissage) et devenir ainsi un peu magnétique.

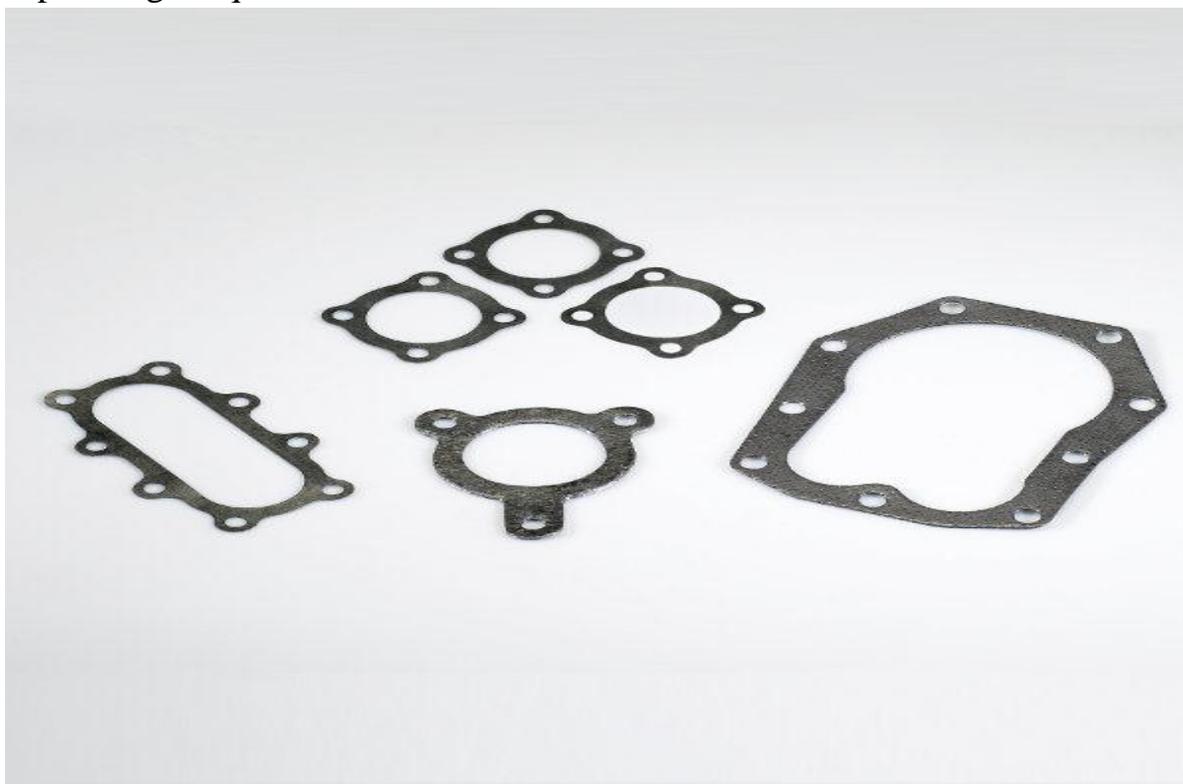


Figure II.4 : Joint d'étanchéité

Un **joint d'étanchéité** est un dispositif assurant l'étanchéité, c'est-à-dire évitant les fuites de fluide (liquide ou gaz) entre un milieu intérieur et un milieu extérieur, par exemple au niveau d'un raccord de robinetterie (fixe ou mobile)



Figure II.5 : Batterie au plomb

Une **batterie au plomb** est un ensemble d'accumulateurs au plomb-acide sulfurique raccordés en série, afin d'obtenir la tension désirée, et réunis dans un même boîtier.

Ce système de « stockage » d'électricité est largement utilisé dans l'industrie, dans l'équipement des véhicules ferroviaires et automobiles (camions compris) mais aussi à chaque fois que l'on a besoin d'une énergie électrique

Immédiatement disponible (avion, satellite, etc.)

II.4) Caractéristiques techniques

Une batterie au plomb se caractérise essentiellement par :

- La **tension nominale**, U , qui dépend du nombre d'éléments, égale au nombre d'éléments multiplié par **2,1 V**. Généralement, on considère qu'un accumulateur au plomb est déchargé lorsqu'il atteint la tension de **1,8 V** par élément, donc une batterie de six éléments ou **12 V** est déchargée lorsqu'elle atteint la tension de **10,8 V** ;

- la **capacité de stockage**, notée Q , représente la quantité d'énergie disponible (ne pas confondre avec la capacité électrique). Elle s'exprime en ampère-heure ;
- Le **courant maximal** qu'elle peut fournir pendant quelques instants, ou **courant de crête** en ampères **CCA** (jusqu'à une température de 0 °F soit $-17,78$ °C).

Les valeurs maximales sont données par le constructeur pour une batterie neuve et chargée à 100 %, elles varient sensiblement en fonction de l'état de charge, se dégradent en fonction du temps ainsi que de l'usage qui est fait de la batterie.



FigureII.6 : Réservoir d'eau

L'utilisation de ce type de réservoirs dans la voiture pour Faciliter le processus de décomposition de l'eau en deux gaz oxygène et l'hydrogène



FigureII.7 : tubes sont utilisés pour transporter l'eau

Ces tubes sont utilisés pour transporter l'eau vers le générateur d'hydrogène Et le transfert les deux gaz hydrogène et oxygène vers le moteur



FigureII.8 : Vis de fixation

Une **vis de fixation**, appelée communément **vis**, est un organe mécanique, comportant une tige fileté et une tête; il est destiné à réaliser la fixation d'une ou de plusieurs pièces par pression. La fixation par vis crée une liaison-plan sur plan démontable, par placage précontraint des deux pièces à assembler. Tant que les efforts de traction appliqués sur la liaison n'excèdent pas la tension exercée au repos par les vis (dite « pré-tension »), l'assemblage bénéficie de la raideur des pièces assemblées.

II.5) ARDUINO

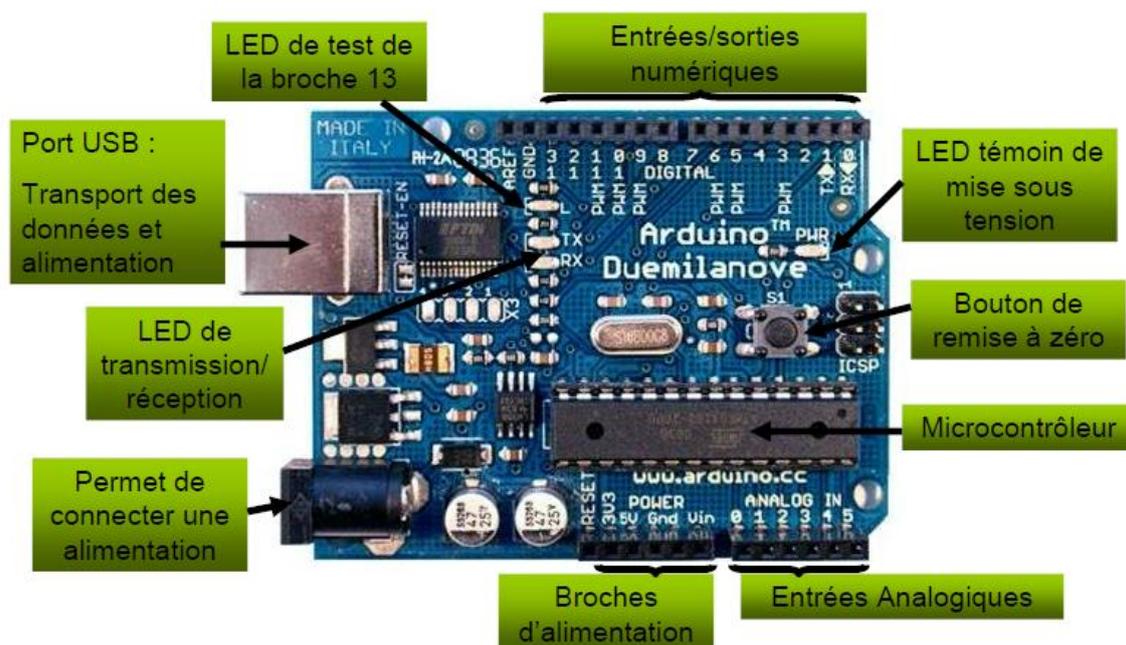


Figure II.9 : Carte électronique

L'ARDUINO est un support plan, flexible ou rigide, généralement composé d'époxy ou de fibre de verre. Elle possède des pistes Électriques disposées sur une, deux ou plusieurs couches (en surface et/ou en interne) qui permettent la mise en relation électrique des composants électroniques. Chaque piste relie tel composant à tel autre, de façon à créer un système électronique qui fonctionne et qui réalise les opérations demandées.

Evidemment, tous les composants d'une carte électronique ne sont pas forcément reliés entre eux. Le câblage des composants suit un plan spécifique à chaque carte électronique, qui se nomme le **schéma électronique**.

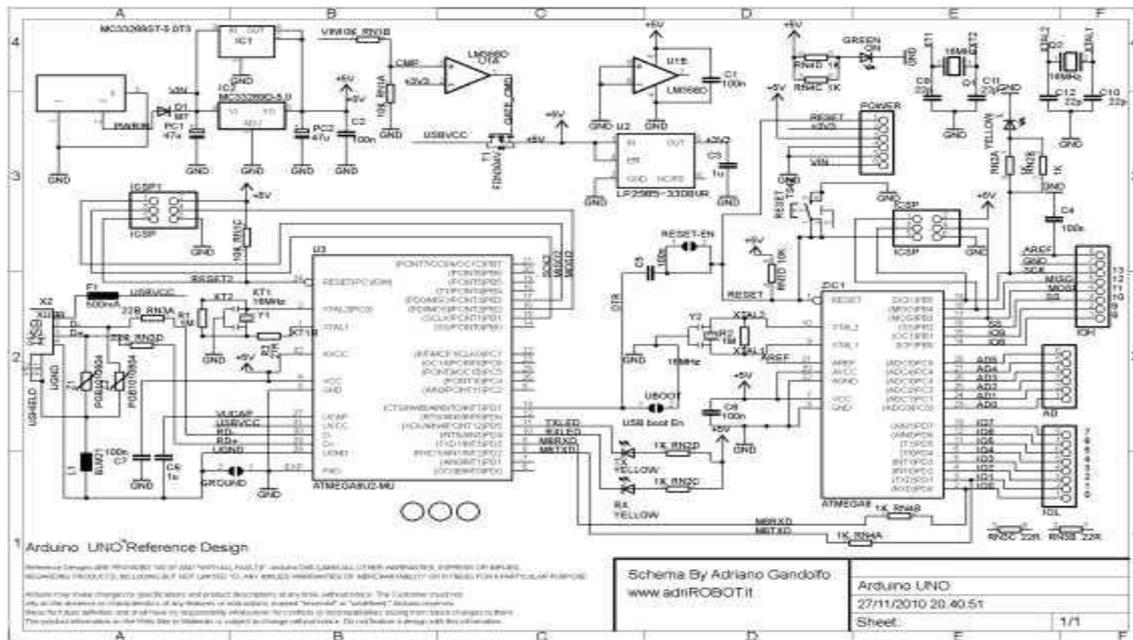


Figure II.10 : schéma de la carte électronique

II.5.1) Le logiciel

Nous allons maintenant montrer brièvement comment se présente le logiciel Arduino.

II.5.2) Présentation de la carte

Pour commencer notre découverte de la carte Arduino, nous allons présenter la carte en elle-même. Nous allons voir comment s'en servir et avec quoi. Nous représenterons en rouge sur la figure suivante les points importants de la carte

II.5.3) Constitution de la carte

Nous allons maintenant parler des points importants de la carte et à quoi ils servent.

II.5.4) Le microcontrôleur

Voilà le cerveau de notre carte (en 1). C'est lui qui va recevoir le programme que nous aurons créé et qui va le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter. Grâce à ce programme, il va savoir faire des choses comme : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données a un ordinateur...

II.5.5) L'Alimentation

Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB (en **2**) ou bien par une alimentation externe (en **3**) qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut par exemple être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte. Pas de danger de tout griller donc il faut seulement respecter l'intervalle de 7V à 15V (même si le régulateur peut supporter plus, pas la peine de le retrancher dans ses limites)

II.5.6) Programmable ?

Nous avons parlé de carte électronique programmable au début de ce chapitre. Mais sait-on ce que c'est exactement ?

La carte Arduino est une carte électronique qui ne sait rien faire sans qu'on lui dise quoi faire du fait qu'elle est programmable. Cela signifie qu'elle a besoin d'un programme pour fonctionner.

II.5.7) Un programme

Un programme est une liste d'instructions qui est exécutée par un système. Par exemple le navigateur internet, avec lequel on lit un document, est un programme. On peut analogiquement faire référence à une liste de course :

- Lait
- Pain
- Steak
- Epinards
- ...



Chaque élément de cette liste est une **instruction** qui vous dit : “Va chercher le lait” ou “Va chercher le pain”, etc. Dans un programme le Fonctionnement est similaire

- Attendre que l'utilisateur rentre un site internet à consulter ;
- Rechercher sur internet la page demandée ;
- Afficher le résultat.
-

II.5.7) Et un logiciel ?

Un logiciel, ce n'est autre qu'un programme informatique exécuté sur un ordinateur. Pour programmer la carte Arduino, nous allons utiliser un programme ! En fait, il va s'agir d'un **Compilateur**. Alors qu'est-ce que c'est exactement ?

II.5.8) Un compilateur

En informatique, ce terme désigne un logiciel qui est capable de traduire un langage informatique, ou plutôt un programme utilisant un langage informatique, vers un langage plus approprié afin que la machine qui va le lire puisse le comprendre. C'est un peu comme si le patron anglais d'une firme chinoise donnait des instructions en anglais à l'un de ses ouvriers chinois. L'ouvrier ne pourrait comprendre ce qu'il doit faire. Pour cela, il a besoin que l'on traduise ce que lui dit son patron. C'est le rôle du **traducteur**. Le compilateur va donc traduire les instructions du programme précédent, écrites en langage texte, vers un langage dit "machine". Ce langage utilise uniquement des 0 et des 1. Nous verrons plus tard pourquoi. Cela pourrait être imaginé de la façon suivante :

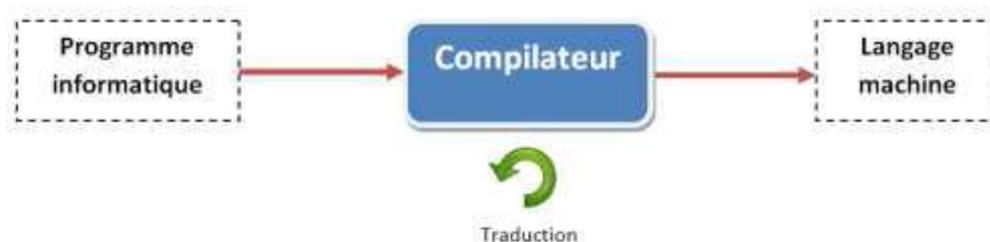


Figure II.11: Un compilateur

II.6) Détecteur de gaz hydrogène MQ8



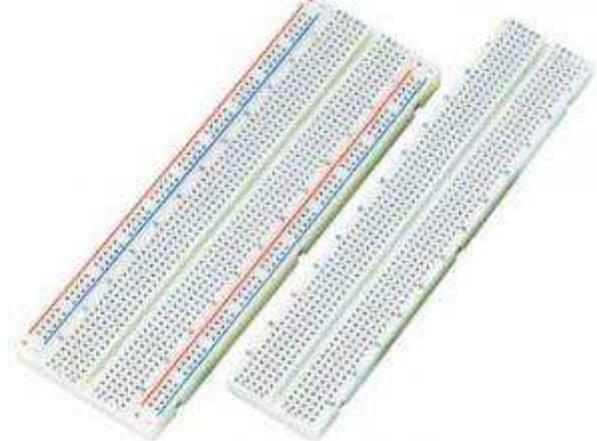
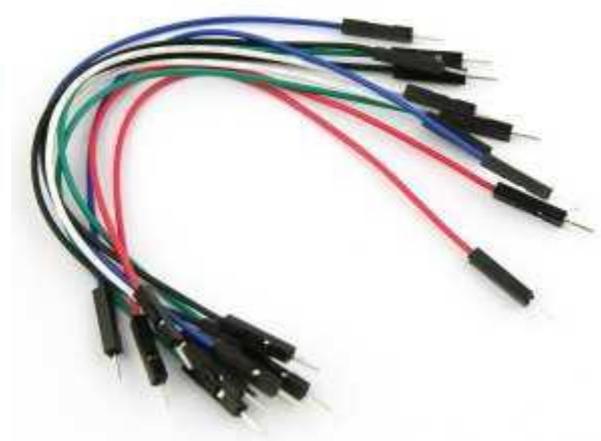
laptopsmumbaidotcom.trustpass.alibaba.com

Figure II.12: Détecteur de gaz hydrogène

Un **détecteur** est un dispositif technique (instrument, substance, matière) qui change d'état en présence de l'élément ou de la situation pour lequel il a été spécifiquement conçu.

Des fonctions supplémentaires peuvent apporter des précisions qualitatives ou quantitatives sur la nature du phénomène observé.

II.7) Les composants utilisés pour la réalisation :

Une ArduinoUno	Cable USB A male/B male
 A blue Arduino Uno R3 microcontroller board with various components like a USB Type-B port, a DC power jack, and several integrated circuits.	 A grey USB Type-A to Type-B cable, commonly used for connecting an Arduino Uno to a computer.
Une BreadBoard (plaque d'essai)	Un lot de fils pour brancher le tout
 A white breadboard with a grid of holes and colored lines (red, blue, green) indicating power rails.	 A bundle of multi-colored jumper wires with black plastic headers on both ends, used for prototyping circuits on a breadboard.

Désignation	Photo	Description
LED		Ce composant est une sorte de lampe un peu spéciale. Nous nous en servons principalement pour faire de la signalisation.
Résistance		La résistance est un composant de base qui s'oppose au passage du courant. On s'en sert pour limiter des courants maximums mais aussi pour d'autres choses.
Ecran LCD		L'écran LCD alphanumérique permet d'afficher des caractères tels que les chiffres et les Lettres. Il va apporter de l'interactivité à vos projets les plus fous !

Tableau II.1: Les composants utilisés pour la réalisation

II.8) Le courant, la tension

Pour faire de l'électronique, il est indispensable de connaître sur le bout des doigts ce que sont les grandeurs physiques. Alors, avant de commencer à voir lesquelles on va manipuler. Une grandeur physique est quelque chose qui se mesure. Plus précisément il s'agit d'un élément mesurable, grâce à un appareil ou dispositif de mesure, régit par les lois de la physique. Par exemple, la pression atmosphérique est une grandeur physique, ou bien la vitesse à laquelle circule une voiture en est aussi une. En électronique cependant, nous ne mesurons pas ces grandeurs-là, nous avons nos propres grandeurs, qui sont : le courant et la tension.

II.8.1) La source d'énergie

L'énergie que l'on va manipuler (courant et tension) provient d'un générateur. Par exemple, nous pouvons citer : la pile électrique, la batterie électrique, le secteur électrique. Cette énergie qui est fournie par le générateur est restituée à un ou plusieurs récepteurs. Le récepteur, d'après son nom, reçoit de l'énergie. On dit qu'il la consomme. Nous pouvons citer pour exemples : un chauffage d'appoint, un sèche-cheveux, une perceuse.

II.9) Visualisation

Les trois "points blancs" entourés en rouge (4) sont en fait des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Quand on Branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.

Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

II.9.1) La connectique

La carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'intervient la connectique de la carte (en 5a et 5b). Par exemple, nous voulons connecter une LED sur une sortie du microcontrôleur. Il suffit juste la connecter, avec une résistance en série, à la carte, sur les fiches de connections de la carte. Cette connectique est importante et a un brochage qu'il faudra respecter. Nous le verrons quand nous apprendrons à faire notre premier programme. C'est avec cette connectique que la carte est "extensible", car l'on peut y brancher tous types de montages et modules.

II.10) ROGRAMME ISIS:

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques, il est très connu dans le domaine de l'électronique. Le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits. [25]

II.11) Conclusion

Notre projet a demandé beaucoup de temps mais le résultat fut très gratifiant. Nous avons été forcés de faire des recherches poussées pour comprendre tous les concepts techniques cachés derrière cette merveilleuse invention mais cela nous a permis de comprendre la difficulté qu'il y a pour développer les nouvelles technologies. Pour nos hypothèses, nous les avons toutes confirmées, sauf pour la production d'hydrogène attendue qui était de 1 litre par minute ; nous avons produit 1 litre en 2 minutes 30 secondes. Donc, l'hydroxyde de potassium était le meilleur électrolyte pour l'électrolyse de l'eau. Aussi, lorsque le courant, le voltage ou la concentration augmentaient, la production de gaz augmentait aussi et finalement, nous avons réussi, comme prévu, à construire un générateur d'hydrogène fonctionnel. Bref, l'important pour nous était de montrer aux gens la puissance de ce gaz et son potentiel en tant que future source d'énergie renouvelable, verte et à notre portée.

CHAPITRE III :

Réalisation du générateur d'hydrogéné

Introduction :

Le principe en est simple : l'hydrolyse électrique de l'eau produit un mélange gazeux constitué de deux parts d'hydrogène et d'une part d'oxygène (d'où l'appellation HHO). Ce système possède des capacités de combustion remarquables et permet de réaliser des économies de carburant.

En réalité, le bilan de la production et de la combustion du HHO n'est pas rentable, donc le système a ses très nombreux détracteurs. Nos moteurs à explosion ne brûlent qu'une petite partie du carburant. L'ajout d'une très petite quantité de HHO au mélange carburant et air qui arrive dans le moteur va augmenter de façon très significative le rendement de la combustion grâce à la vitesse de flamme. Le gaz HHO n'est donc pas utilisé comme combustible, mais comme comburant.

Notre avis

La crise du pétrole, le développement durable, les problèmes liés à la pollution sont des problèmes que l'on nous rabâche tous les jours. Alors pourquoi n'entend-on pas parler de ces générateurs HHO dans les médias ? Il me semble évident que comme on dit c'est "une affaire de gros sous", car nos économies sortiraient alors de la poche de l'industrie pétrolière et de nos gouvernements. À méditer...

Bon à savoir : En USA, Canada et France, l'utilisation d'un générateur HHO sur votre voiture est légale, car considéré comme un "économiseur de carburant".

Comment ça marche

Fabriquer un générateur H₂ Pour réaliser l'électrolyse de l'eau, rien de plus simple : il faut faire passer un courant entre deux électrodes plongées dans l'eau. Comme l'eau ne conduit pas très bien le courant, il faut y rajouter un électrolyte (un sel). En pratique, les systèmes HHO utilisés aux États-Unis utilisent des électrodes de type "drycell" (cellule sèche) qu'on ne trempe pas dans l'eau. Ce sont des plaques de métal assez grandes, situées en dessous du réservoir d'eau. L'eau descend par gravité et une fois électrolysé, le gaz remonte dans le réservoir avant d'être injecté dans le moteur par l'arrivée d'air.

III.1) Réalisation de la partie mécanique :

On va expliquer la réalisation de notre partie mécanique avec des photos et des commentaires

Premièrement :

Les **dry cell** aussi appelées cellule sèche, une des plus performantes façons d'**électrolyser** l'eau Pour l'instant.

Pour cette réalisation, nous aurons besoin d'inox.

On a besoins des plaques comme celle-ci :

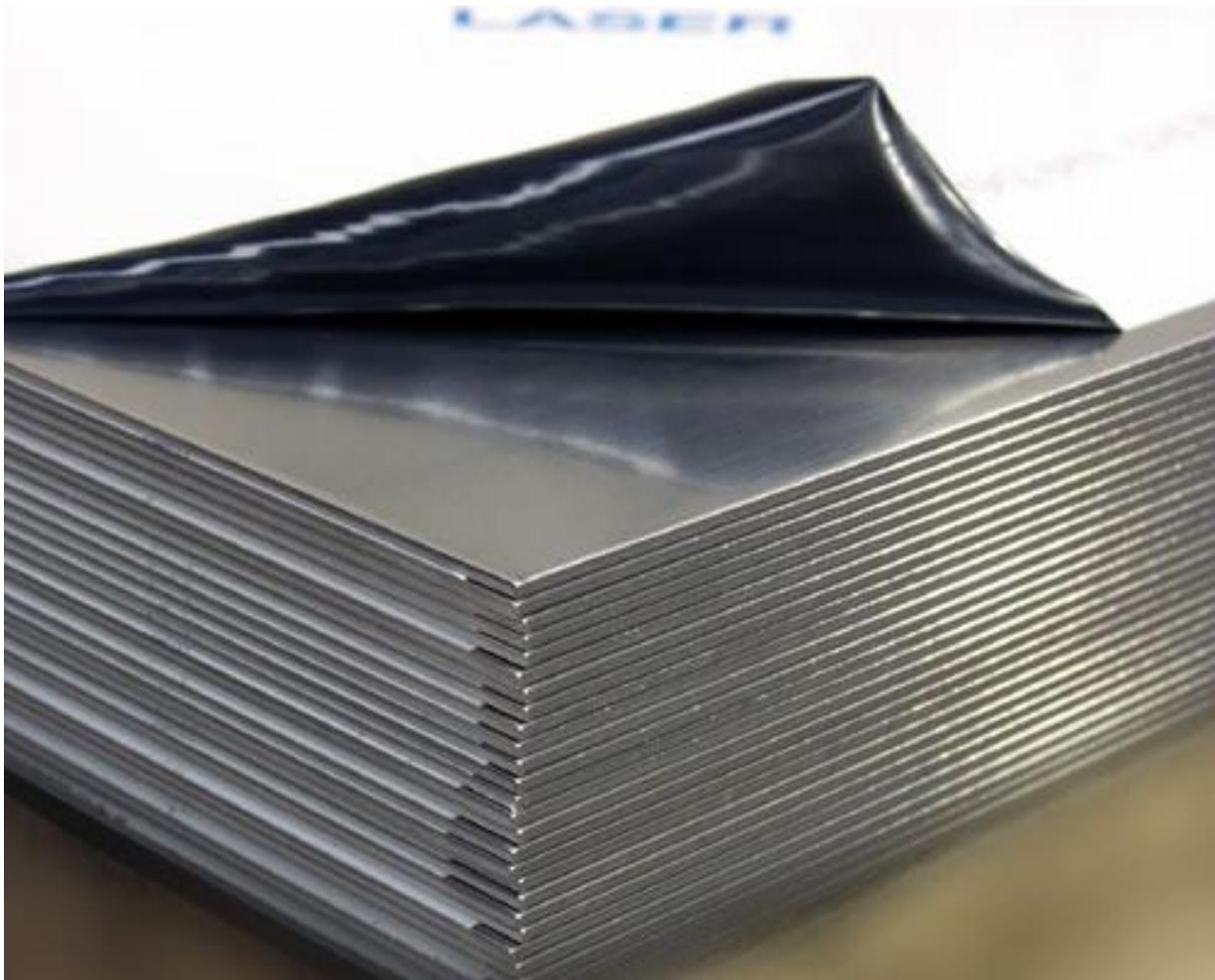


Figure III.1 : Plaque inox de 1 m²



Figure III.2 : Découpage de plaque inox

Plus la surface en contact avec l'eau sera grande et plus produira notre générateur.

Mais il y a des limites si nous voulons rester sur une alimentation de 12v. La taille un peu près à respecter est d'environ 15 cm sur 15 cm. Les miennes ne font que 12cm par 9 donc si on a utilisé des plaques plus grandes notre générateur ne fonction pas bien alors la production d'hydrogène va diminuer.

Notre générateur est alimenté par une batterie de 12 v, donc si on a utilisé un voltage plus de 12 v ça chauffe les plaques beaucoup alors ça va conduit un problème



FigureIII.3 : Après le découpage on a obtenue des mini plaque de 15*15 cm



FigureIII.4 : On va percer les plaque que nous avons obtenu

Nous pouvons remarquer sur l'image les trous percés dans la plaque, un en bas pour l'arrivée de l'eau avec l'électrolyte, et un en haut pour la sortie du H_2 plus O_2 .

Pour réaliser notre générateur on a besoin 11 plaques inox percés



FigureIII.5 : plaques inox percés

Plaque neutre

Le trou sur le côté de la plaque va servir à y fixer une tige filetée ou une petite vis pour les contacts électriques.



FigureIII.6 : Plaque neutre

Plaque qui sera alimenter

Nous avons besoin de deux plaques pour mettre à chaque extrémité et pour couvrir les plaques inox et éviter les risques d'électricité. Nous avons utilisé des planches en plastique bien lisses et durs car il va falloir les serrer fort.

Nous aurions pu prendre presque n'importe quoi solide, le mieux étant quand même du plastique pour ne pas qu'il se fasse attaquer par l'électrolyte.

Maintenant nous avons nos plaques. Percer au moins 2 cm en plus de chaque côté car il faut laisser la place pour les vis qui servent à étanchéifier le générateur.

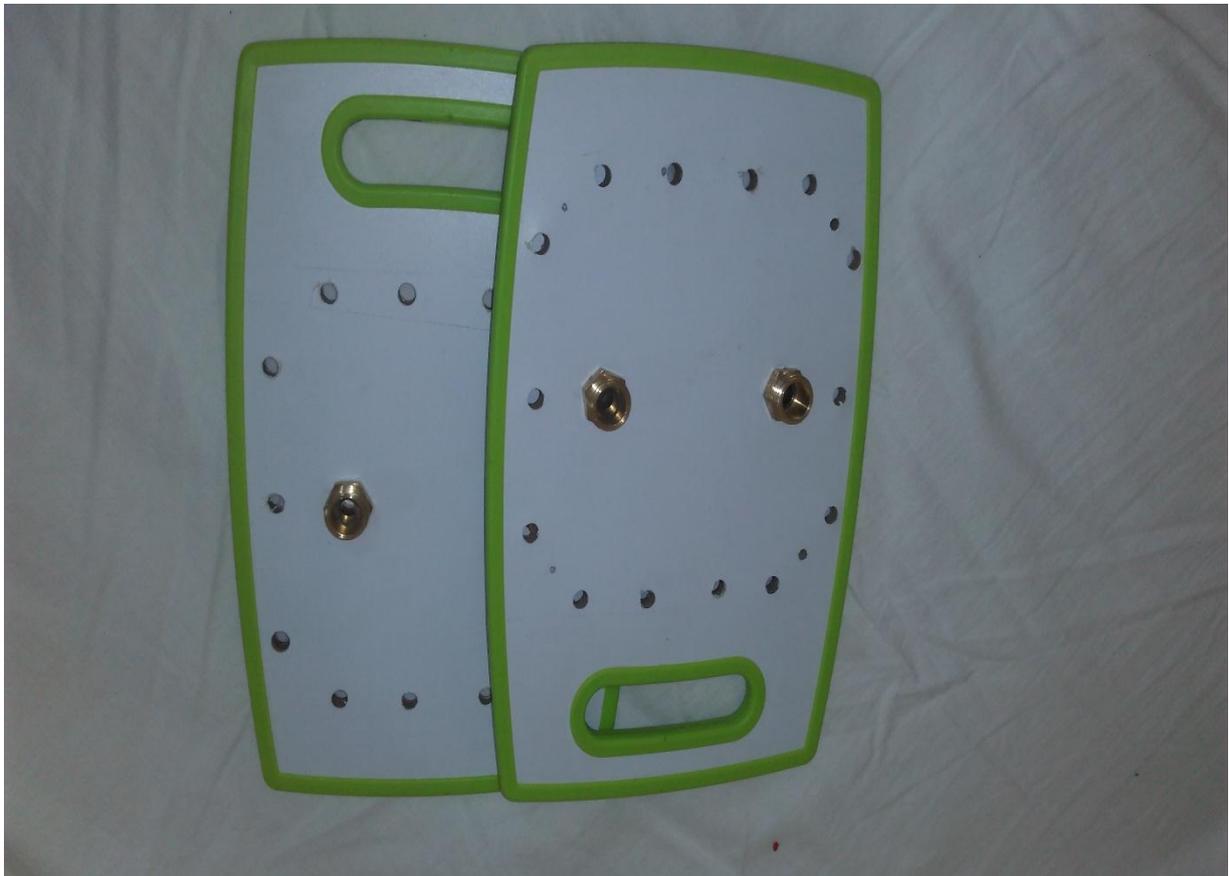


Figure III.7 : Plaques de plastique

Maintenant il faut trouver des joints pour mettre entre chaque plaque et pour éviter le perdre de l'eau et le gaz qui on a produire, nous allons devoir découper nos joints à la taille des plaques coupées, Ils feront entre 5 et 10 mm d'épaisseur comme sur les photos.



FigureIII.8 (a): Joints de caoutchouc



FigureIII.8 (b): Joints de caoutchouc



FigureIII.9 : raccord



FigureIII.10 : raccord (T)

On a besoin 14 dans notre générateur, pour serrage les plaque. Vous pouvez en mettre moins mais on a fait ça pour être sûr que ça ne fuit pas.



FigureIII.11 :Les vis et les écrous



FigureIII.12 : plaque de plastique + les vis



FigureIII.13 : le joint de caoutchouc + plaque plastic



FigureIII.14 : plaque inox d'anode



FigureIII.15 : les vis de fixation

On a mis des pièces de tube autour des vis pour couvrir le dernier et pour éviter qu'elles ne touchent les plaques sans faire exprès (risque de court).



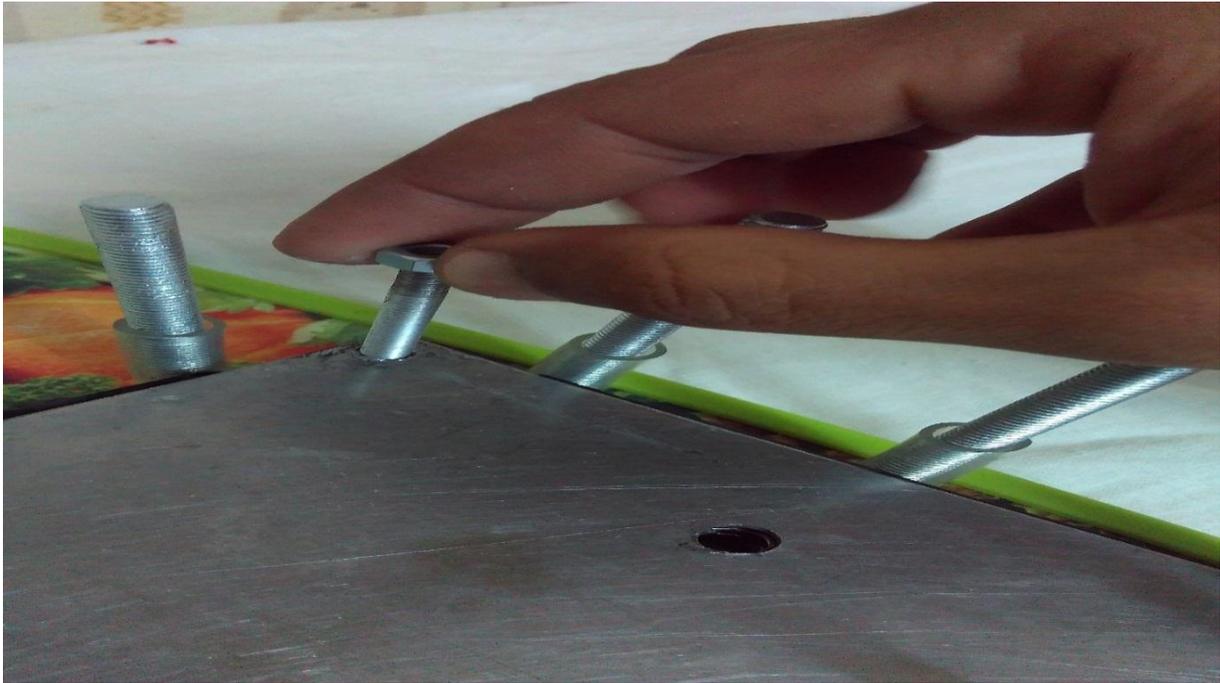
FigureIII.16 : Pièces de tube



FigureIII.17 : vis + les pièces de tube



FigureIII.18 : plaques inox et les joints de caoutchouc.



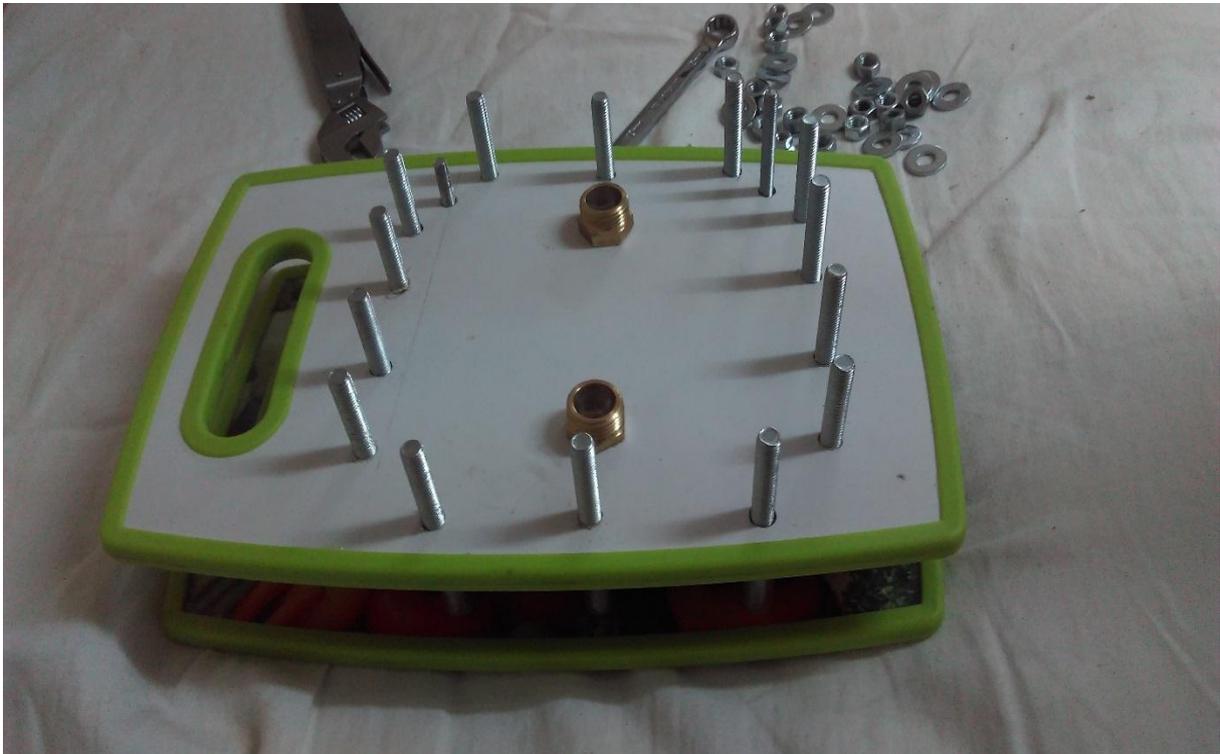
FigureIII.19 : un écrou pour fait un contact avec le vis d'alimentation



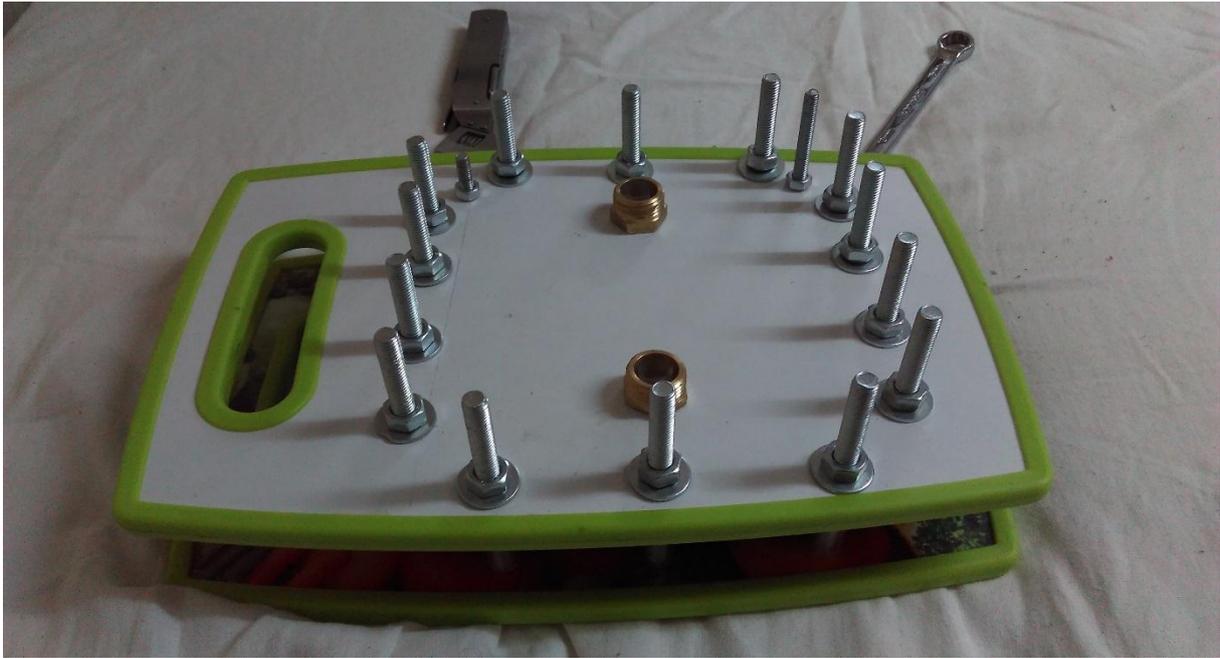
FigureIII.20 : On ajoute la dernière plaque inox qui joue le rôle de 2^{ème} anode et on va fixer le dernier avec un écrou pour passer le courant



FigureIII.21 : On ajout les dernier join de couatchouc

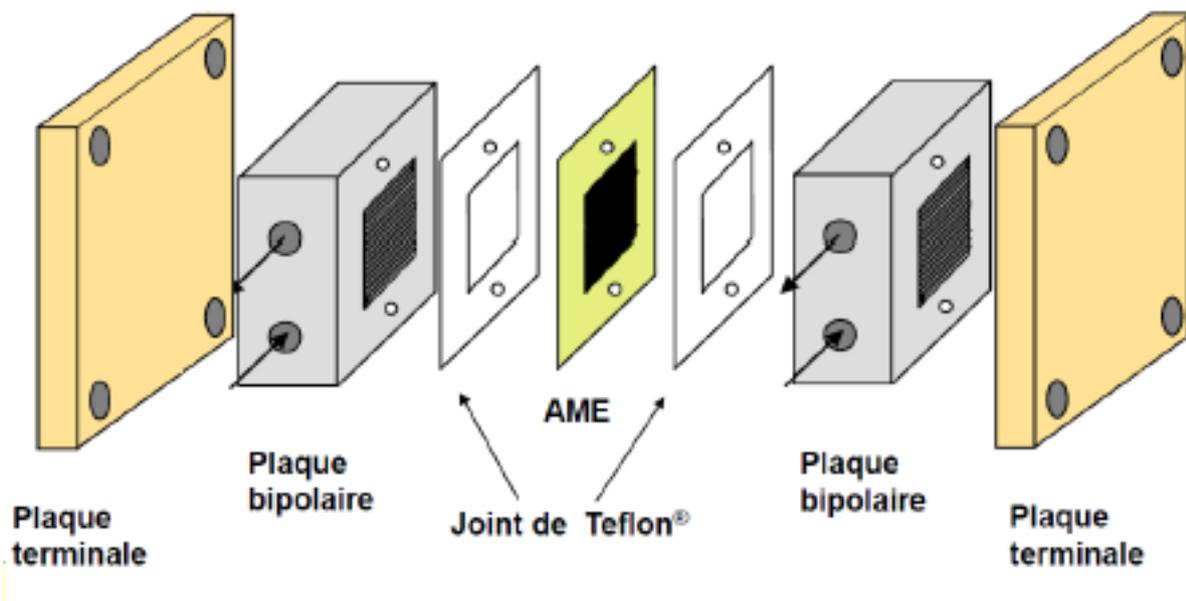


FigureIII.22 : On ajout la 2^{ème} plaque de plastique pour un assemblage finale de notre générateur



FigureIII.23 : Et finalement on va fixer et serrer tous les plaques avec les vis et les écrous

Faite attention en serrant, à bien respecter le même écart de chaque côté de la générateur.



FigureIII.24 : Cette figure explique le principe qui on a utilisé pour réaliser notre générateur

Notre générateur est terminé, Maintenant il ne vous reste plus qu'à la tester pour voir s'il n'y a pas de court-circuit.

Pour ça on a besoin d'un multimètre. Nous allons regarder si le courant passe d'une plaque à l'autre.

Si aucunes plaques ne se touchent, c'est merveilleux nous avons fini notre générateur elle est prête à être utilisée.

Nous allons maintenant construire le bidon qui va servir de réservoir pour l'électrolyte et relier avec le générateur.



FigureIII.25 : On ajoute le réservoir d'eau pour obtenue la partie mécanique final

Le bulleur est important sur une générateur, il ne faut pas négliger cette étape

Ce qui est très utile si nous voulons utiliser notre générateur sur une voiture, ça évitera que l'électrolyte ronge l'intérieur des cylindres

Le bulleur serve aussi de sécurité ultime pour notre générateur car si le H_2 venaient à exploser, l'explosion ne pouvant pas passer à travers l'eau, ça protégera notre générateur.

Comme ça on a un H_2 très pur à la sortie, une bonne pression et un générateur protégé.

Un bulleur est très simple à réaliser. Il faut un récipient avec un tuyau qui va jusqu'au fond du récipient. C'est par là que le H_2 arrivera et un tuyau tout en haut du récipient qui ne touche pas l'eau



FigureIII.26 : Le bulleur

III.2) Réalisation de partie électronique :

On va expliquer la réalisation de notre partie électronique avec de photo et des commentaires

Premièrement :

Logiciel ISIS : pour la simulation de montage

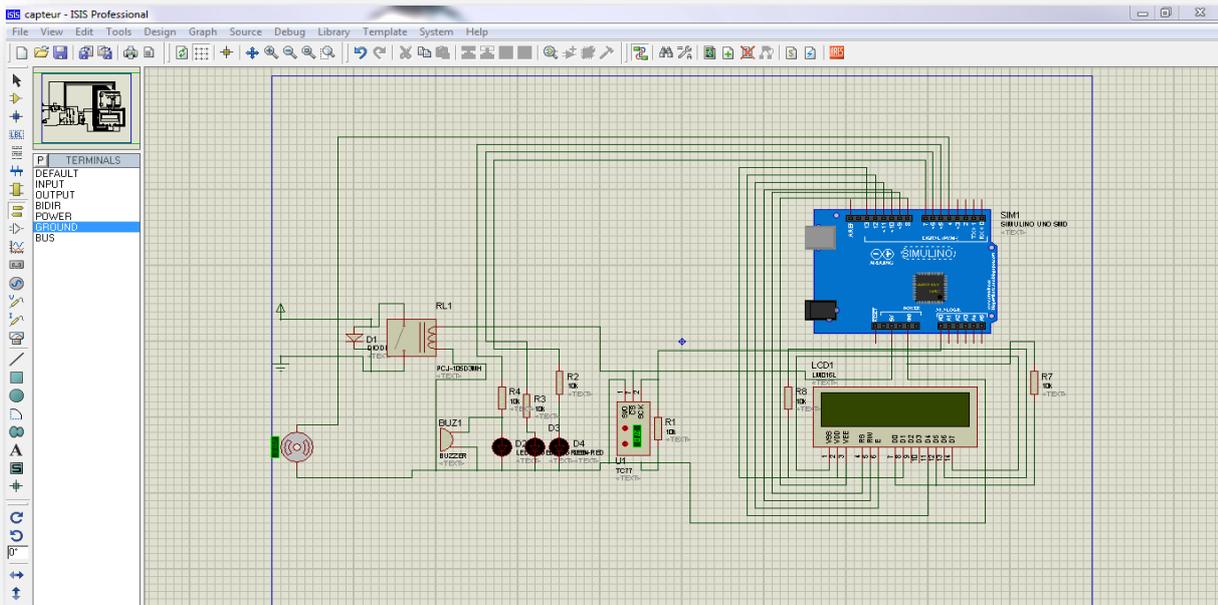


Figure III.27 : circuit sur Isis

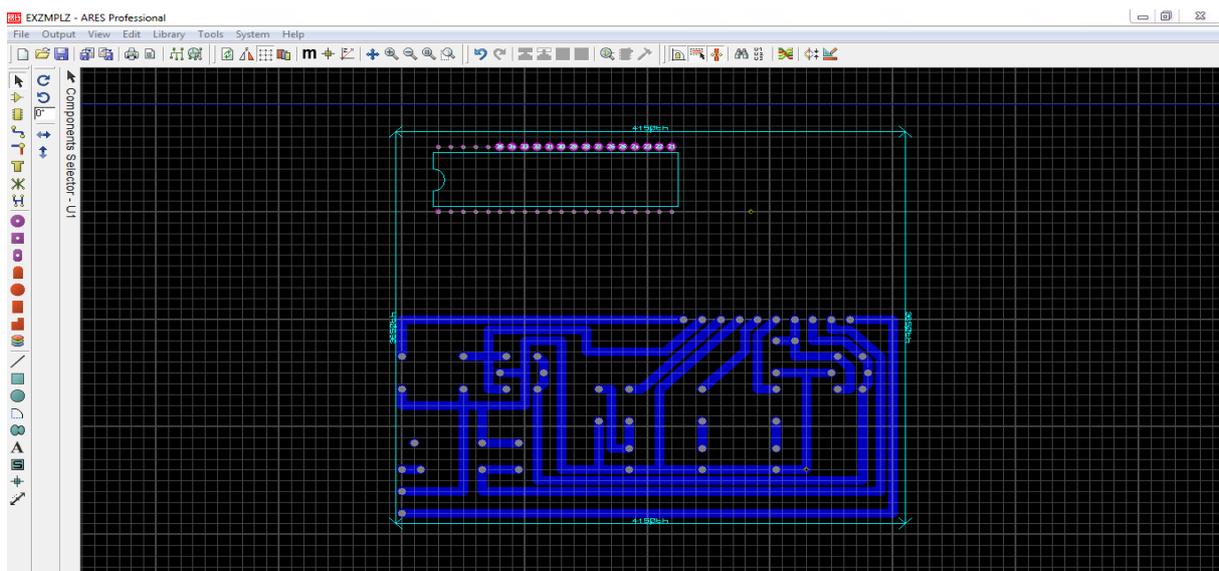


Figure III.28 : ARES pour schématisé notre circuit électronique

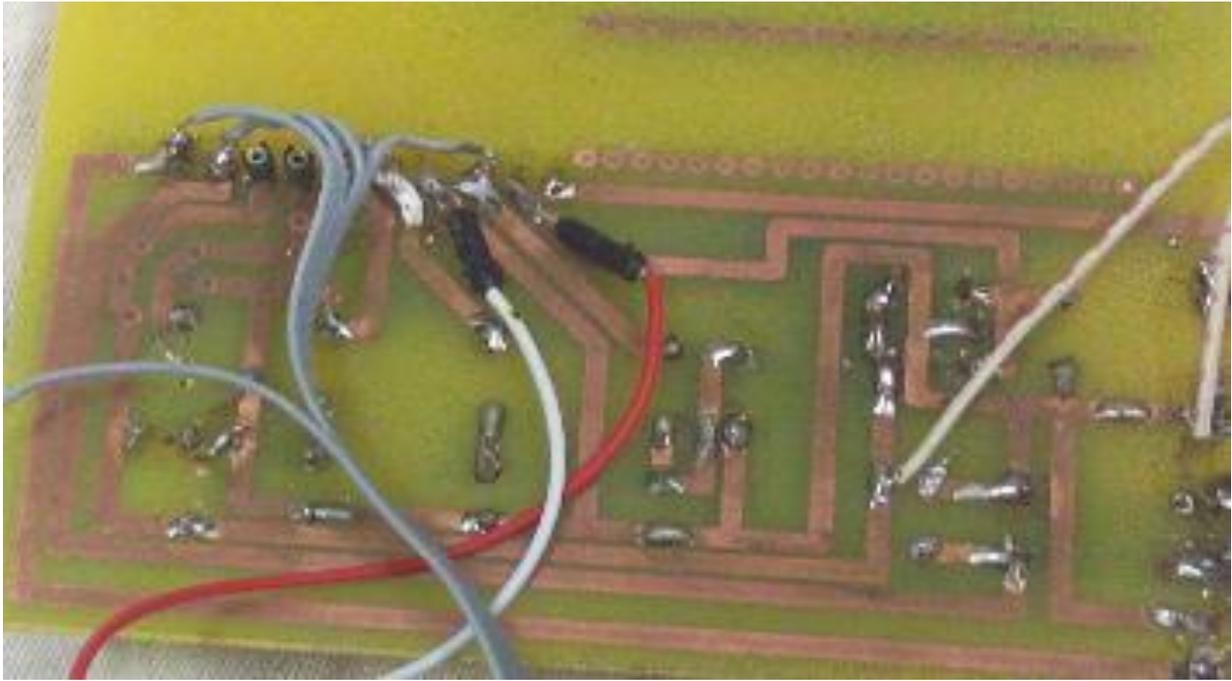


Figure III.29 : Circuit imprimé

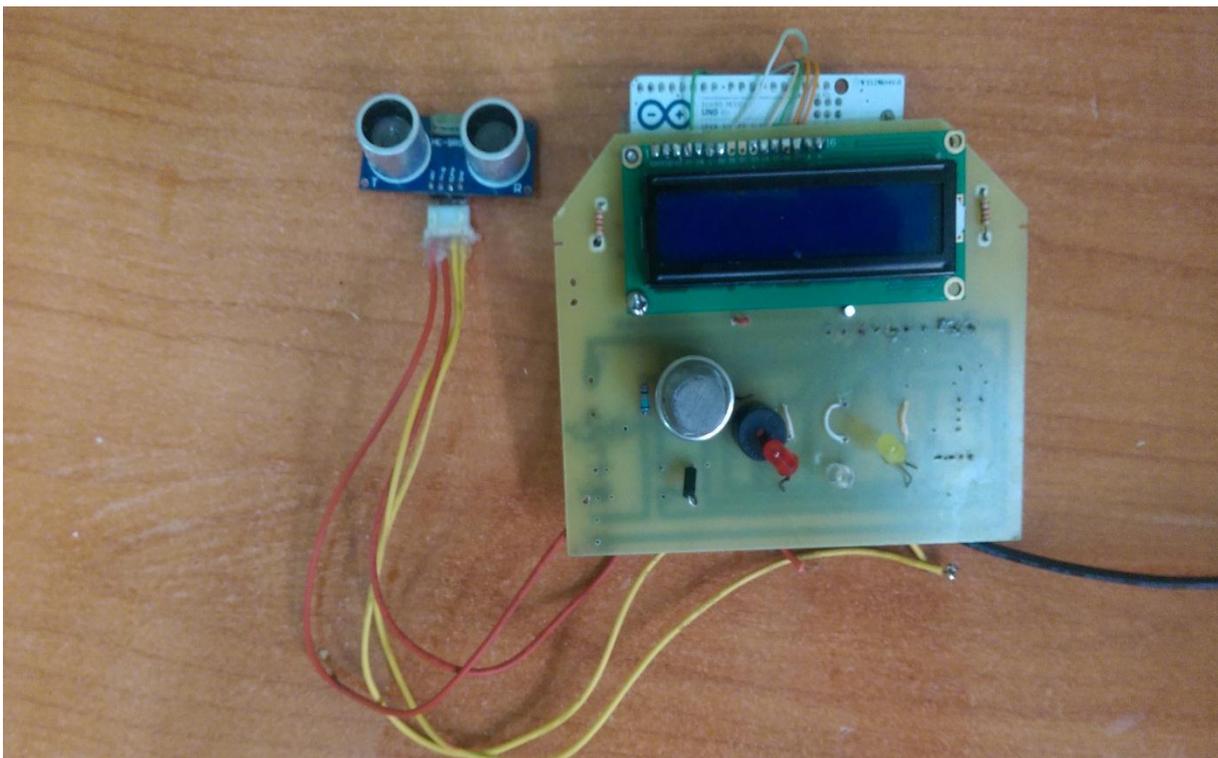
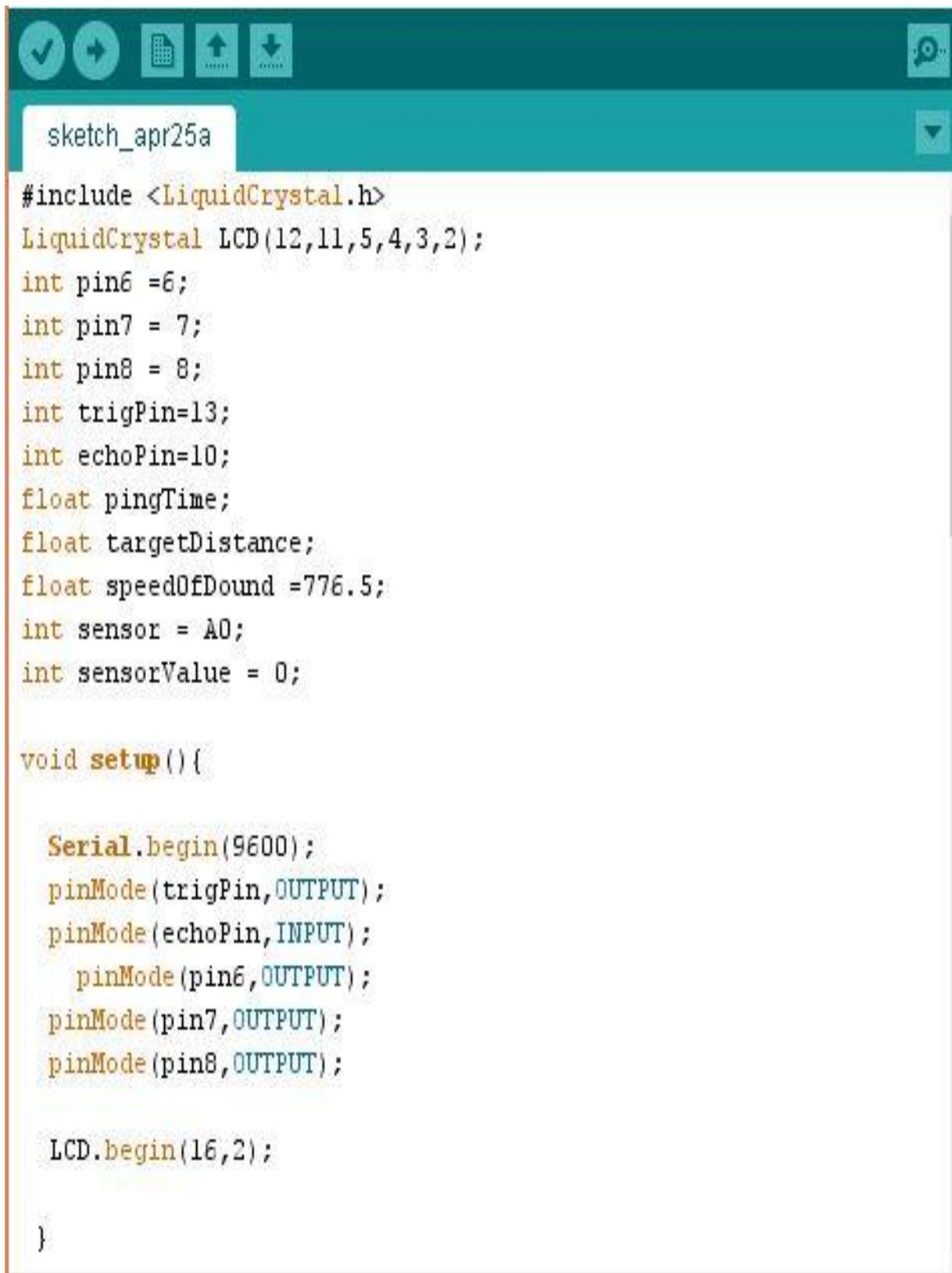


Figure III.30 : Partie électronique final

III.3) Programme arduino de notre projet



```
sketch_apr25a
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal LCD(12,11,5,4,3,2);
int pin6 =6;
int pin7 = 7;
int pin8 = 8;
int trigPin=13;
int echoPin=10;
float pingTime;
float targetDistance;
float speedOfDound =776.5;
int sensor = A0;
int sensorValue = 0;

void setup(){

  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin,OUTPUT);
  pinMode(echoPin,INPUT);
  pinMode(pin6,OUTPUT);
  pinMode(pin7,OUTPUT);
  pinMode(pin8,OUTPUT);

  LCD.begin(16,2);

}
```

Figure III.31 : Programme arduino



```
void loop() {

    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2000);
    digitalWrite(trigPin,HIGH);
    delayMicroseconds(15);
    digitalWrite(trigPin,LOW);
    delayMicroseconds(10);

    pingTime = pulseIn(echoPin, HIGH);
    pingTime = pingTime/1000000.;
    pingTime = pingTime/3600.;
    targetDistance= speedOfDound * pingTime;
    targetDistance = targetDistance/2;
    targetDistance = targetDistance*160934,4;
    targetDistance = (16.5-targetDistance)*5;

    sensorValue = analogRead(sensor);
    Serial.println(sensorValue, DEC);

    if (sensorValue<50){
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("NIV.RESERVOIR: ");
```

Figure III.32 : Programme arduino

```

sketch_apr25a
LCD.print("NIV.RESERVOIR: ");
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print("          ");
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print(targetDistance);
LCD.print(" %");
delay(250);
if (targetDistance<100 && targetDistance>60)
  {digitalWrite(pin8 , HIGH);}
  else {digitalWrite(pin8, LOW);}
  if (targetDistance<60 && targetDistance>25)
  {digitalWrite(pin7 , HIGH);}
  else { digitalWrite(pin7 , LOW);}
  if (targetDistance<25)
  {digitalWrite(pin6 , HIGH);
  delay(400);
  digitalWrite(pin6 , LOW);
  delay(400);}
  else {digitalWrite(pin6 , LOW);}
  else {
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("PERDRE HH ");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("BESOIN CNTROL");
  digitalWrite(pin6 , HIGH);
  }}

```

Figure III.33 : Programme arduino.

III.4) Application à un moteur de voiture

Pour installer un tel système sur une voiture, il faut lui adjoindre quelques éléments nécessaires à un fonctionnement sans risque, en particulier un système antiretour de flamme.



Figure III.34 : Application à un moteur de voiture

Le mélange de ces deux gaz (explosif) est immédiatement injecté dans le système d'admission d'air de votre moteur et va exploser dans les chambres de combustion avec l'essence ou le gasoil... La présence de H_2 augmente de façon considérable le rendement de la combustion, d'où moins de gaspillage de carburant, d'où économies.

L'avantage indéniable de ce système c'est qu'il produit du gaz à la demande, si votre moteur ne tourne pas, il n'y a pas de production.

On obtient :

- Un fonctionnement plus silencieux
- L'huile de moteur reste propre plus longtemps
- Moins de vibrations
- Moins de fumées

- Moins d'odeurs à l'échappement
- Une baisse de la consommation [23]

III.4) Conclusion

Notre générateur H_2 c'est notre premier pas vers l'énergie libre et gratuite de l'hydrogène et de l'oxygène.

Qu'il soit diesel, essence, super éthanol, ou GPL, l'avantage le plus évident à installer un économiseur de carburant c'est bien sur une réduction de la consommation en carburant.

Les résultats varient. Certains moteurs obtiennent de meilleurs résultats, d'autres de moins bons, mais le plus communément on se situe entre moins 20% et moins 30% de consommation de carburant. Généralement, plus le moteur fonctionnera à un régime stable et pas trop élevé, plus la diminution de consommation sera importante par rapport aux mêmes conditions d'utilisations sans générateur H_2 .

En plus notre projet a demandé beaucoup de temps mais le résultat fut très gratifiant. Nous avons été forcés de faire des recherches poussées pour comprendre tous les concepts techniques cachés derrière cette merveilleuse invention mais cela nous a permis de comprendre la difficulté qu'il y a pour développer les nouvelles technologies. Pour nos hypothèses, nous les avons toutes confirmées, Donc, l'hydroxyde de potassium était le meilleur électrolyte pour l'électrolyse de l'eau. Aussi, lorsque le courant, le voltage ou la concentration augmentaient, la production de gaz augmentait aussi et finalement, nous avons réussi, comme prévu, à construire un générateur d'hydrogène fonctionnel. Bref, l'important pour nous était de montrer aux gens la puissance de ce gaz et son potentiel en tant que future source d'énergie renouvelable, verte et à notre portée.

Conclusion générale

Dans ce projet de fin d'étude nous avons réalisé un générateur d'hydrogène, dans le but qu'il soit utilisé comme une nouvelle source d'énergie pour optimiser l'utilisation des ressources de notre pays. Nous constatons que les pays industriels se sont appuyés sur l'hydrogène et l'ont considéré comme le carburant alternatif au pétrole. Et ceci pour l'énergie potentielle qu'il contient. Ceci en plus du fait qu'il est écologique puisque la combustion de l'eau génère de l'eau et non des gaz toxiques.

Nous avons utilisé pour la réalisation du générateur d'hydrogène, la méthode la plus simple et la plus commune, il s'agit de l'électrolyse de l'eau. Le générateur est conçu pour être utilisé comme une alternative au carburant dans une voiture.

Nous avons muni notre générateur d'hydrogène d'un capteur d'hydrogène pour nous avertir en cas de fuite d'hydrogène et d'un détecteur de niveau pour nous garantir toujours un niveau d'eau minimum. Ces deux capteurs permettent de garantir un niveau de sécurité maximal pour l'utilisateur ainsi que pour le générateur. Ce niveau de sécurité peut être amélioré pour une réalisation de niveau industriel.

La réalisation d'un générateur d'hydrogène de taille industrielle est bénéfique à deux niveaux : Le premier niveau est écologique, vue que la combustion de l'hydrogène ne génère pas de gaz toxiques. Ce premier niveau est très important vu la grande pollution dont souffre la planète. Le second niveau c'est que l'utilisation de l'hydrogène comme carburant est beaucoup plus économe.

Nous avons grandement bénéficié de ce projet de fin d'étude dans les domaines de l'électronique et de la mécanique et aussi le plus important est la façon de travailler en équipe. En travaillant de manière inlassable et continue, nous avons pu accomplir ce modeste travail.

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو صناعة مولد للهيدروجين الذي يعتمد على التحليل الكهربائي للماء واستعماله فالسيارات حيث يقوم هذا الاخير بتفكيك جزيئات الماء الى ذرات الاكسجين والهيدروجين إذا ونمررهما في غرفة الاحتراق بالمحرك وسوف يساعدان محرك السيارة في العمل. وذلك للتقليل من استهلاك الوقود وايضا الحفاظ على البيئة بالتقليل من انتشار الغازات الملوثة للجو فبفضل وجودهما في المحرك سوف تقل نسبة احتراق الوقود لأنهم سيلعبان دوره.

وطبعا زودنا السيارة بكاشف تسرب غاز الهيدروجين الذي سينبهنا في حالة وجود تسرب لغاز الهيدروجين بالسيارة وايضا بمستشعر مستوى الماء الذي سيعطينا نسبة الماء المتبقية في الخزان وهذا من أجل الحماية من بعض الاخطار.

وسيلعب هذا المولد دور كبير في الحفاظ على الطاقة وبالأخص الحفاظ على البيئة.

Résumé :

L'objectif de ce projet est une réalisation d'un générateur de l'hydrogène qui est basée sur l'électrolyse de l'eau et utilisé dans les voitures où celui-ci va décomposer l'eau en atomes d'oxygène et d'hydrogène. Ces atomes passent dans la chambre de combustion du moteur, ce qui va l'aider dans le travail de combustion du carburant et va augmenter son rendement. Tout ceci à pour but de minimiser la consommation du carburant tout en préservant l'environnement en réduisant la propagation des gaz polluants dans l'atmosphère.

Bien sûr, la voiture sera équipée d'un capteur de gaz d'hydrogène, qui va informer le conducteur en cas de fuite de l'entraînement du gaz d'hydrogène. La voiture sera équipée aussi d'un capteur de niveau d'eau, ce qui nous donnera le pourcentage d'eau restant dans le réservoir. Ainsi le conducteur sera protégé de tout type de danger que peut engendrer ce dispositif.

Abstract :

The aim of this project is a hydrogen generator industry that relies on electrolysis of water and its use in automobiles. The latter decomposes water molecules into oxygen and hydrogen atoms, which are both combustible if passed through the engine combustion chamber and will help the car engine to operate. To reduce the consumption of fuel and also to preserve the environment by reducing the spread of gases polluting the atmosphere, thanks to their presence in the engine will reduce the proportion of fuel combustion because it will play its role.

And of course, we provided the car with a detector of hydrogen gas leak, which will alert us if there is a leakage of hydrogen gas in the car and also the water level sensor, which will give us the percentage of water remaining in the tank this is to protect against some dangers.

This generator will play a major role in energy conservation, especially conservation of the environment.

Reference:

- [1]-Filière hydrogène-énergie
- [2]-L'Hydrogène en soutien aux réseaux électriques
- [3]-Etude d'un système de production d'hydrogène par voie solaire
Application sur l'électrolyse de la vapeur d'eau à très hautes températures
- [4]-Analyse de cycle de vie exégétique de systèmes de production d'hydrogène
- [5]-Le stockage chimique de l'énergie : développement d'une filière hydrogène ou renforcement de la filière méthane ?
- [6]-Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à haute température
(MEZIANE Fares) Attaché de Recherche
- [7]-Division Hydrogène Energies Renouvelables – CDER E-mail:
f.meziane@cder.dz
- [8]- L'actualité chimique de décembre 2001 «l'hydrogène, carburant de demain »
- [9]-L'association française du dihydrogène (AFH2) et leur site : www.afh2.org
- [10]-L'actualité chimique de décembre 2001 «l'hydrogène carburant de demain»
- [11]-L'association française du dihydrogène (AFH2) et leur site : www.afh2.org
- [12]-L'actualité chimique de décembre 2001 «l'hydrogène, carburant de demain»
- [13]-L'association française du dihydrogène (AFH2) site : www.afh2.org
- [14]-Etude de faisabilité de l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur alternatif d'énergie
- [15]-Production de l'hydrogène a partir des énergies renouvelables
- [6]-Production d'hydrogène à partir de déchets
- [17]-L'hydrogène vecteur énergétique : Rôle de l'hydrogène dans le stockage de l'électricité a base des énergies renouvelables
(R. Benchrifa *, A. Bennouna et D. Zejli)
- [18]- L'hydrogène naturel: Une nouvelle source d'énergie? Recherche exploratoire pour une nouvelle source d'énergie primaire, propre et durable.
- [19]-Les techniques de production de l'hydrogène et les risques associés
- [20]-Tuto fabrication dry cell générateur hho de A à Z _
- [21]- [Http://www.generateurhho.com/laboutique/16-relais](http://www.generateurhho.com/laboutique/16-relais)
- [22]- Info@hho-1.com
- [23]- tuto fabrication dry cell generator hho de A à Z _ brico musique.htm
- [24]- Wikipédia
- [25]- Licence Productique (REALISATION D'UN DETECTEUR DE GAZ)