

Concours Parlons Chimie 2021



Réalisation d'un générateur d'hydrogène utilisant l'électrolyse

Réalisé par :

**Stach Mélia
Lachger Assia
Paul Fubert
Yanis Toutain
Rodrigue Houillon**

Sous la supervision de :

**Khalid MSELLAK
Laurent DELCROIX
Professeurs de Sciences Physiques**



**Lycée Jeanne d'Arc
2 Bis Boulevard Toussaint Lucas,
95130 Franconville**



Résumé

La production alternative d'énergie à partir de sources renouvelables, ainsi que par l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur énergétique a fait l'objet de plusieurs études. L'objectif de notre projet est de réaliser un générateur d'hydrogène issu de l'électrolyse de l'eau. Celui-ci va décomposer l'eau en molécules de dihydrogène et de dioxygène.

Le générateur de production d'hydrogène est capable de produire deux litres par minute. Des plaques en acier de type 316 L ont été utilisées comme électrodes et KOH utilisé comme électrolyte.

Les résultats obtenus nous montrent que les variations de l'intensité de courant et de la concentration en masse de l'électrolyte ont une influence sur la production d'hydrogène.

L'hydrogène produit a été brûlé instantanément en fabriquant un chalumeau à hydrogène, et pourra être utilisé comme économiseur de carburant.

Summary

The alternative production of energy from renewable sources, as well as through the use of hydrogen as an energy carrier has been the subject of several studies. The objective of our project is to produce a hydrogen generator from the water electrolysis.

The hydrogen generator is capable of producing two liters per minute. Type 316 L stainless steel is used for electrode and KOH used as electrolyte.

The results obtained show us that the variations in the current intensity and the mass concentration of the electrolyte influence the production of hydrogen.

The hydrogen produced was burned instantly by making a hydrogen torch, and can be used as a fuel saver.

Problématique

Nous avons comme objectif de réaliser un générateur d'hydrogène issu de l'électrolyse de l'eau. Et d'étudier l'effet de l'intensité de courant et de la concentration en masse de l'électrolyte sur le débit de gaz.

1. Introduction :

La demande croissante d'énergie exige des ingénieurs, des scientifiques, et des équipes de recherche pour développer différents procédés de production d'énergie ayant un impact réduit sur l'environnement. Pour les vecteurs d'énergie alternative, l'hydrogène pourrait être le carburant du futur en raison de sa haute teneur en énergie et du respect de l'environnement. L'hydrogène peut également être utile pour faire face au réchauffement climatique et à l'augmentation des problèmes de pollution. En outre, il est préférable au méthane en raison de ses applications industrielles plus larges, à savoir H_2 est utilisé dans la synthèse de l'ammoniac, l'hydrogénation de l'huile comestible, le raffinage du pétrole et le décollage des missiles. Et aujourd'hui le dihydrogène peut aussi être utilisé dans certaines applications techniques ; transport et production d'électricité durable.

L'épuisement des combustibles fossiles conventionnels (c'est-à-dire gaz, le charbon et le pétrole) et l'augmentation des besoins énergétiques afin de soutenir le nombre plus élevé de la population mondiale et la croissance des industries dans le monde entier conduit à la nécessité de plus d'énergie à partager à partir des ressources renouvelables. L'extraction d'énergie, à partir de réactions chimiques, serait l'une des techniques les plus intéressantes de production d'énergie renouvelable. En fait, produire de l'énergie, à partir de la réaction chimique, avec le dihydrogène gazeux est actuellement la technique la plus ciblée en raison des méthodes simples possibles pour le générer ; où le gaz peut être facilement produit en termes de mélanges de dihydrogène et de dioxygène (ou gaz Oxyhydrogène : HHO) provenant de petites plaques d'acier inoxydable qui plongent dans le solvant d'hydroxyde de potassium. Alternativement, le gaz peut, à partir de la décomposition d'une molécule d'eau utilisant l'effet d'électrolyse, donner du dihydrogène et du dioxygène avec un rapport productif de 2:1.

Les polluants nocifs qui sont le résultat des émissions de fossiles brûlants les carburants ont des impacts négatifs sur l'environnement et la vie [1]. Cette crise environnementale exige l'utilisation de sources d'énergie plus propres pour différents secteurs, y compris les transports. Le dihydrogène peut soutenir la transition de l'industrie automobile de l'essence et du diesel vers un carburant durable. Il pourrait être la principale source d'énergie ou un carburant auxiliaire dans les véhicules. En tant que carburant auxiliaire, certaines recherches axées sur la réduction des émissions de gaz (NO_x et CO) et de la consommation de carburants des moteurs à combustion interne essaient d'améliorer le moteur essence en ajoutant le mélange HHO [2,3]. Ces études ont montré que le gaz oxyhydrogène (HHO) généré par le processus d'électrolyse de l'eau a un effet significatif dans l'amélioration de l'efficacité thermique des moteurs, sur la réduction de la consommation du carburant et sur les émissions de combustion qui en résultent de ces moteurs.

Dans ce projet, un générateur de gaz HHO a été fabriqué et testé en différentes conditions de fonctionnement de concentrations molaires de potasse et d'intensités de courants électriques.

Notre travail est subdivisé en 3 parties dont :

- La première partie est consacrée à quelques généralités sur l'hydrogène et sur le principe de l'électrolyse.
- La deuxième partie traite l'étude expérimentale et la conception de l'appareil.
- Enfin les résultats des essais expérimentaux et interprétations.

2. Généralité de l'hydrogène

Le premier élément qui apparaît dans le tableau périodique est l'hydrogène de symbole H et de numéro atomique Z égal à 1. D'après la théorie de big bang, il est le premier élément qui apparaît. Dans l'univers 75% de la masse de toute la matière dans les étoiles et les galaxies sont de l'hydrogène.

L'élément hydrogène est le plus léger et le plus petit de la nature, il est aussi le plus énergétique par unité de masse. Sur notre planète, il se trouve presque toujours combiné à d'autres atomes.

L'obtention du dihydrogène H_2 , appelé communément hydrogène, nécessite un apport d'énergie. Contrairement aux combustibles fossiles présents à l'état naturel dans le sous-sol, l'hydrogène n'est pas une source d'énergie mais un vecteur d'énergie qui permet de stocker ou de transporter l'énergie issue d'autres processus.

La production d'hydrogène, ou plus exactement de dihydrogène, s'obtient principalement par un procédé d'extraction chimique d'hydrocarbures fossiles. Les technologies utilisées pour cette filière sont aujourd'hui : le vaporeformage d'hydrocarbures légers, l'oxydation partielle d'hydrocarbures et la production par reformage auto-therme [4].

Le dihydrogène peut également être extrait par décomposition de l'eau. Elle utilise, soit les cycles thermochimiques qui permettent de casser les molécules d'eau afin d'obtenir de l'hydrogène, soit un courant électrique pour l'électrolyse.

D'autres procédés de production de l'hydrogène grâce à des algues microscopiques ou des bactéries sous la lumière du soleil sont encore au stade de la recherche [5].

3. Principe d'électrolyse

3.1. Transfert des électrons aux électrodes

Un électrolyseur est composé de deux électrodes qui plongent dans une solution contenant des espèces chimiques dont certaines ioniques, dont au moins une oxydante et au moins une réductrice. Un électrolyseur est le lieu d'une transformation chimique forcée, c'est-à-dire en sens opposé à l'évolution spontanée du système. Cette évolution est réalisée grâce à un générateur qui impose un courant électrique en sens opposé à celui qui aurait été observé lors de l'évolution spontanée du système.

L'électrolyseur est branché à un générateur extérieur qui fournit l'énergie nécessaire à la transformation chimique forcée. Les électrons libérés à la borne négative du générateur extérieur sont captés par une espèce chimique au contact de l'électrode reliée à cette borne. Il s'y produit ainsi une réduction.

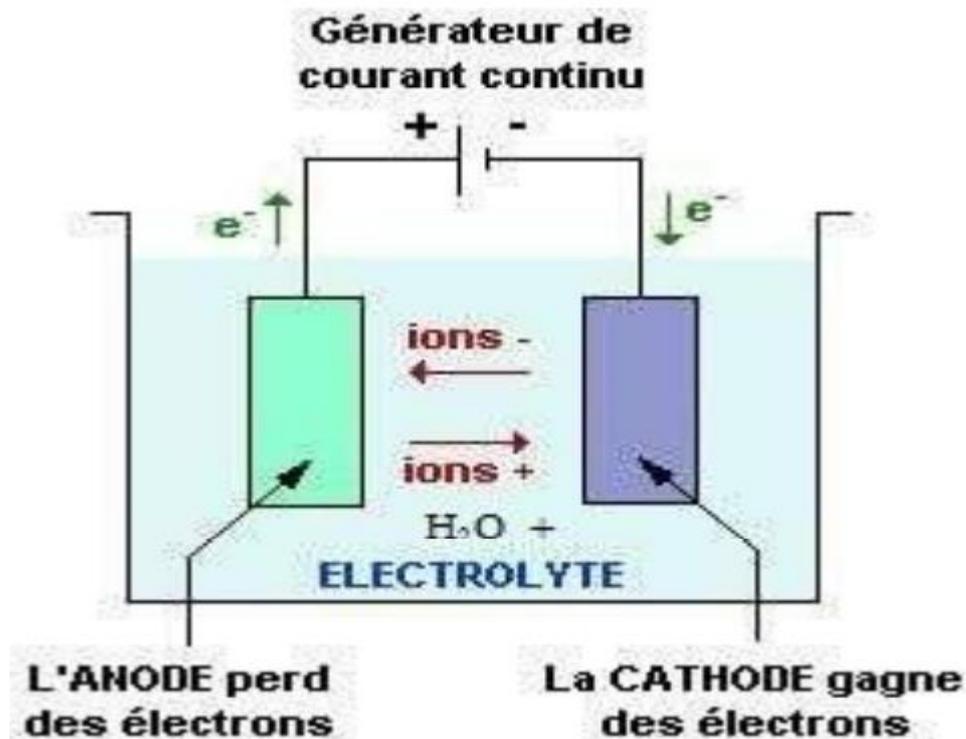


Figure 1 : Electrolyse de l'eau en milieu alcaline

Dans le circuit électrique et les électrodes, le courant électrique est dû aux électrons qui circulent en sortant de la borne négative du générateur extérieur. Dans la solution, le courant est dû aux ions. Les anions suivent, selon une « boucle », le sens de circulation des électrons ; les cations circulent en sens contraire.

Dans la cellule de l'électrolyse de l'eau en milieu basique, l'eau est réduite par des électrons reçus par un circuit externe qui produit de l'hydrogène et des ions l'hydroxydes (HO^-). Les ions HO^- sont transportés à travers la solution liquide à l'anode, ce dernier est oxydé pour produire de l'oxygène. Les équations des réactions électrochimiques aux électrodes correspondantes s'écrivent :

- à la cathode : $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{HO}^-(\text{aq})$
- à l'anode : $4 \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4 \text{e}^-$

La réaction globale s'écrit :



Dans la littérature, il a été établi que la tension de travail doit être entre 1,8V à 2,3V selon la résistance entre les plaques.

3.2. Étude quantitative de l'électrolyse

L'intensité de courant qui traverse l'électrolyseur pendant un temps donné s'écrit d'après la loi de Faraday :

$$Q = \int_0^t i(t) dt$$

avec : Q : Quantité de courant (C), $i(t)$: Intensité du courant qui traverse la cellule (A) et t : temps (s).

La quantité de matière produite (Hydrogène et oxygène) est proportionnelle à la quantité de matière consommée (eau).

La quantité de courant est en fonction des nombres d'électrons mise en jeu dans la réaction pour assurer le rôle de réduction d'eau pour produire de l'hydrogène et d'oxygène. En tenant compte que la constante Faraday (F) est la charge électrique portée par un électron :

$$Q = n \cdot z \cdot F$$

$$n = Q / z \cdot F$$

Avec n : nombre de mol de gaz (mol), z : stœchiométrie de la réaction, t : temps (s) et F : constante de Faraday ($96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$).

D'après la loi du gaz parfait: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Avec n : nombre de mol de gaz (mol), V : Volume de gaz (m^3), P : pression ambiante du gaz ($1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$), R : constante de gaz parfait ($8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) et T : Température de la cellule (K).

En tenant compte du nombre de cellule et/ou nombre d'électrodes, le volume de production est :

$$V = (Q / z \cdot F) \times (RT / P) \times N_c$$

Avec N_c : est le nombre de cellule

Le **rendement faradique** vaut : $R_f = V_{\text{réel}} / V_{\text{théorique}}$

avec $V_{\text{réel}}$: volume réel et $V_{\text{théorique}}$: volume calculer

Le **rendement énergétique** est donné par : $R_w = W_{\text{th}} / W_r$

avec W_{th} : énergie électrique théorique. $W_{\text{th}} = R_f \cdot E_{\text{th}} \cdot I \cdot t$, où E_{th} est la différence de tension électrique théorique ;

W_r : énergie électrique réelle nécessaire pour produire ou consommer une quantité donnée d'espèce par électrolyse. $W_r = E_r \cdot I \cdot t$, où E_r est la différence de tension électrique entre les deux bornes.

Après simplification, soit la formule du rendement énergétique : $R_W = R_f \times E_{th} / E_r$

où R_f est le rendement de Faraday.

4. Réalisation du générateur

4.1. Choix d'électrode et d'électrolyte

L'électrolyse en milieu basique est couramment utilisée en industrie. Nous avons utilisé l'hydroxyde de potassium KOH comme électrolyte, sa conductivité est de $7,3 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ et sa solubilité est constante. L'électrode à base de platine est le plus utilisé en phase de recherche en laboratoire, comme celui-ci est partie de métal noble qui est très cher nous avons choisi l'acier inoxydable. Ce dernier a une bonne conductivité électrique et il peut résister à la formation de rouille.

4.2. Générateur HHO

La figure 1 montre la cellule sèche utilisée dans cette expérience, elle a 13 plaques (en acier inoxydable de qualité 316 L) de dimensions $20 \times 20 \times 0,1 \text{ cm}$ d'épaisseur. L'acier inoxydable a une bonne conductivité électrique et il peut résister à la formation de rouille.



Figure 2 : Construction de la cellule sèche



Figure 3 : Plaques utilisées pour la cellule sèche.

La distance entre deux plaques adjacentes est limitée à 2 mm par 4 joints en caoutchouc isolant noir, de sorte que l'électrolyse sera située entre les plaques via ces joints. Ceci permet d'augmenter la surface de contact ainsi que le débit de gaz.

Douze trous sont percés dans les plaques pour l'arrivée de l'électrolyte et la sortie du H_2 plus O_2 et sont séparés par des joints de caoutchouc de taille (voir figure 3).

Pour couvrir les plaques inox, nous avons aussi eu besoin de deux plaques en plexiglass de taille 25×25×0,8 cm qui vont permettre de manipuler le générateur sans toucher les plaques métalliques électrifiées.

Nous avons choisi plexiglass dans un premier temps afin de visualiser la circulation de l'électrolyte et la formation du mélange de gaz. En revanche, il faut serrer sagement les boulons afin d'empêcher toute fuite entre les plaques et les joints dans la cellule.

Et enfin nous avons utilisé des tiges, des vis, des écrous et des boulons pour fixer les 13 plaques entre elles et former le générateur d'HHO. Chaque plaque agit à titre d'électrode et en ayant plus de surface de contact, les électrodes peuvent dissocier beaucoup plus de molécules d'eau à la fois donc produire plus de gaz.

Le générateur sera alimenté par une tension de 12 V (30 A ou 50 A). D'après la littérature, la tension de travail est entre 1,8V à 2,3V selon la résistance entre les plaques. Pour notre projet, nous avons choisi la tension maximale de 2V. Nous avons placé cinq plaques neutres entre les plaques reliées à l'alimentation. L'explication du rôle des plaques neutres est montrée par la figure suivante :

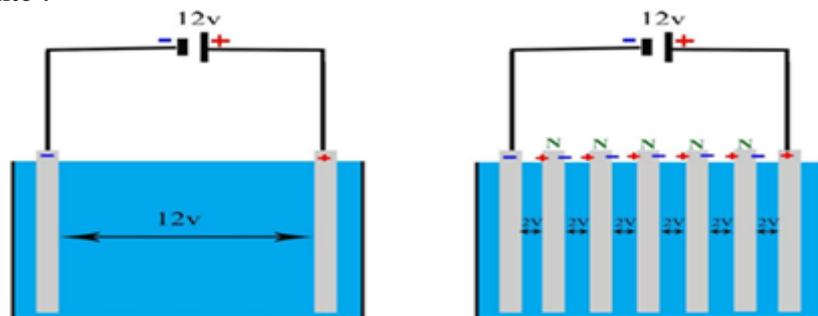


Figure 4: explication d'utilisation des plaques neutres

La configuration -NNNNN+NNNNN- est utilisée sous la tension 12V pour satisfaire la tension théorique 2V entre chaque plaque. La plaque neutre est la somme de deux polarités plus (+) et moins (-), l'une de face produit d'hydrogène tandis que l'autre de l'oxygène.

Les figures 5 et 6 montrent successivement le montage des plaques -NNNNN+ et -NNNNN+NNNNN- .

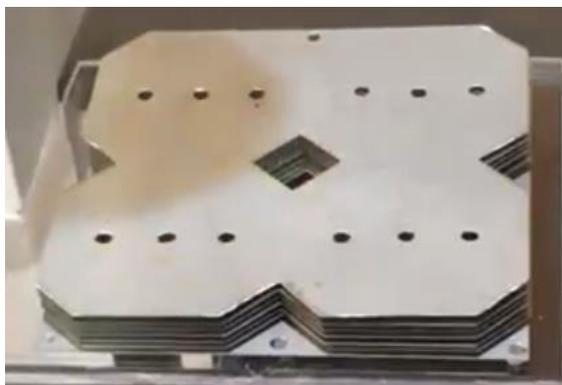


Figure 5: Configuration -NNNNN+

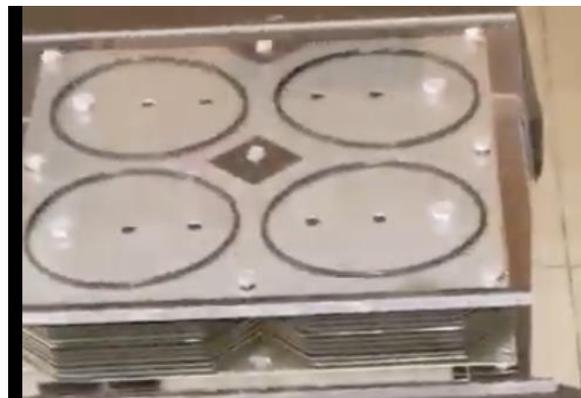


Figure 6 : Configuration - NNNNN+NNNNN-

4.3. Réservoir de séparation.

C'est un petit réservoir en plexiglas et a une dimension de 20×20×25 cm. Il est utilisé pour séparer le gaz HHO de l'eau. Il dispose de 3 ports, un premier port pour la sortie du gaz, un deuxième port d'entrée à partir duquel un mélange de gaz et l'eau générés y sont entrés. Et le troisième port est utilisé pour purger l'eau dans la cellule. Le réservoir de séparation est monté près de la cellule comme le montre la figure 7. Il doit être complètement fermé pour s'assurer qu'aucune fuite n'apparaît pendant le fonctionnement de la cellule. Le plexiglass utilisé doit être adapté au cas d'augmentation de la température de l'électrolyte, et ne doit pas avoir de réaction chimique avec l'électrolyte.

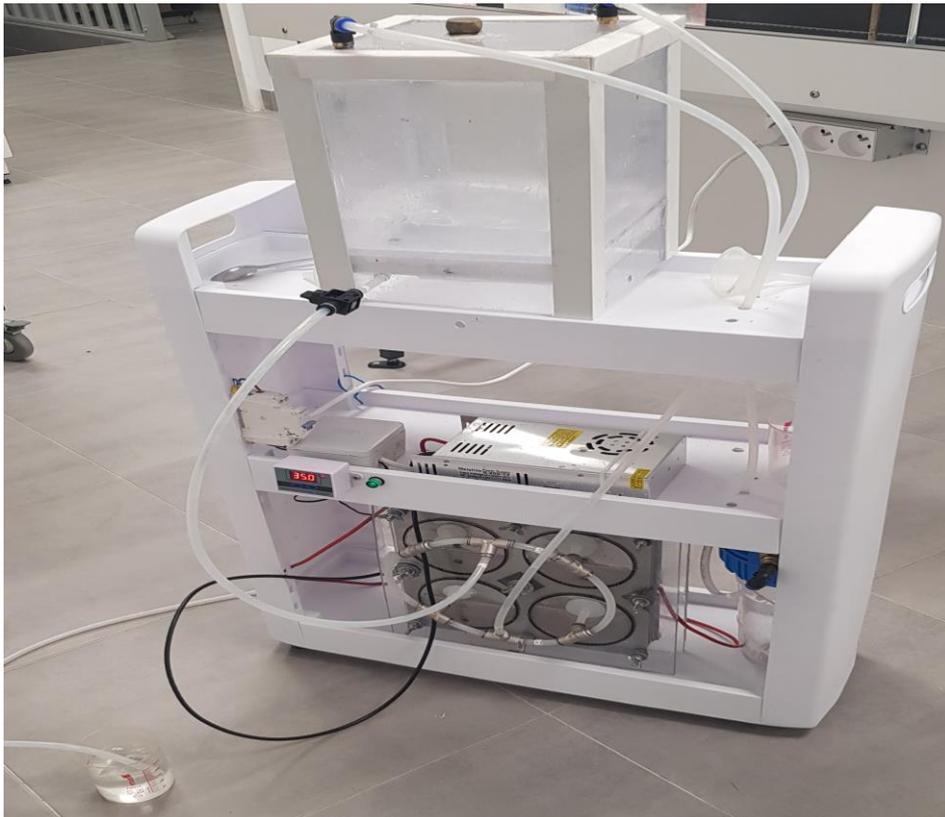


Figure 7 : photo du générateur HHO

Barboteur (ou bulleur).

Le bulleur est un petit réservoir d'eau utilisé afin de fonctionner en toute sécurité car si le gaz peut exploser, l'explosion ne pouvant pas passer à travers l'eau, ça protégera notre générateur. Ce dispositif est très utile si nous voulons utiliser notre générateur sur une voiture, cela évitera que l'électrolyte ronge l'intérieur des cylindres. Le bulleur a deux ports : un port d'entrée qui conduit à un tuyau à l'intérieur du bulleur, l'extrémité de ce tuyau est située à une distance suffisante sous le niveau de l'eau et le deuxième port est situé dans la partie la plus élevée du réservoir et est utilisé pour la sortie de gaz.

5. Résultats et discussions

Dans cette partie, on va traiter les différents types de mesures pendant la phase d'essais de la production de gaz HHO du générateur.

5.1. Les appareils de mesures

Les mesures de la température de la cellule, de la tension et de l'intensité du courant sont faites par usage d'un multimètre (voir figure 8).



Figure 8 : Appareils de mesures d'intensité, de tension et de température

Le débit de gaz est mesuré par une éprouvette graduée remplie d'eau dans un cristallisoir. Le gaz produit est entré par la flèche rouge et s'accumule en haut de tube (figure 9). Le volume d'eau déplacé par le gaz détermine le volume d'occupation pendant un temps bien défini. Nous avons testé la mesure du débit avec un débitmètre de gaz à flotteur noir et nous avons trouvé la même chose.

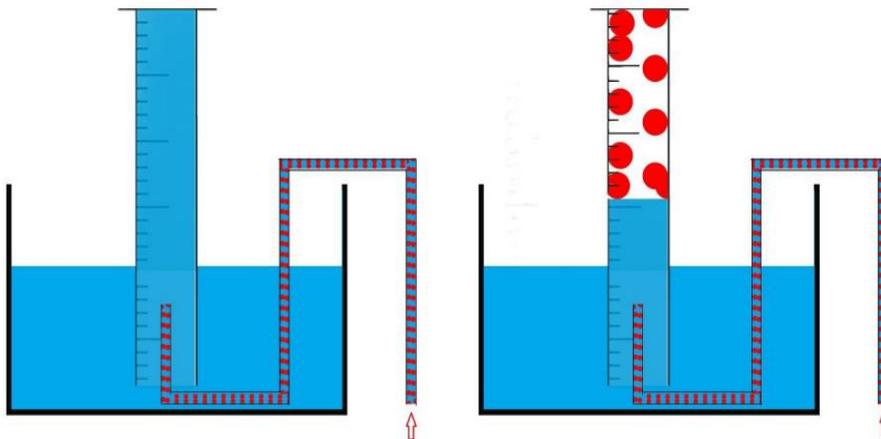


Figure 9 : Prouvette graduée pour mesurer le débit de gaz produits

5.2. Résultats expérimentaux et interprétations

Les premiers résultats montrent que la variation du taux de production de générateur HHO par rapport au temps pour une période de 30 minutes de fonctionnement. Il peut être illustré que le taux de production de générateur HHO a augmenté avec le temps, il atteint 2 L/min en fin d'expérience (figure 10).

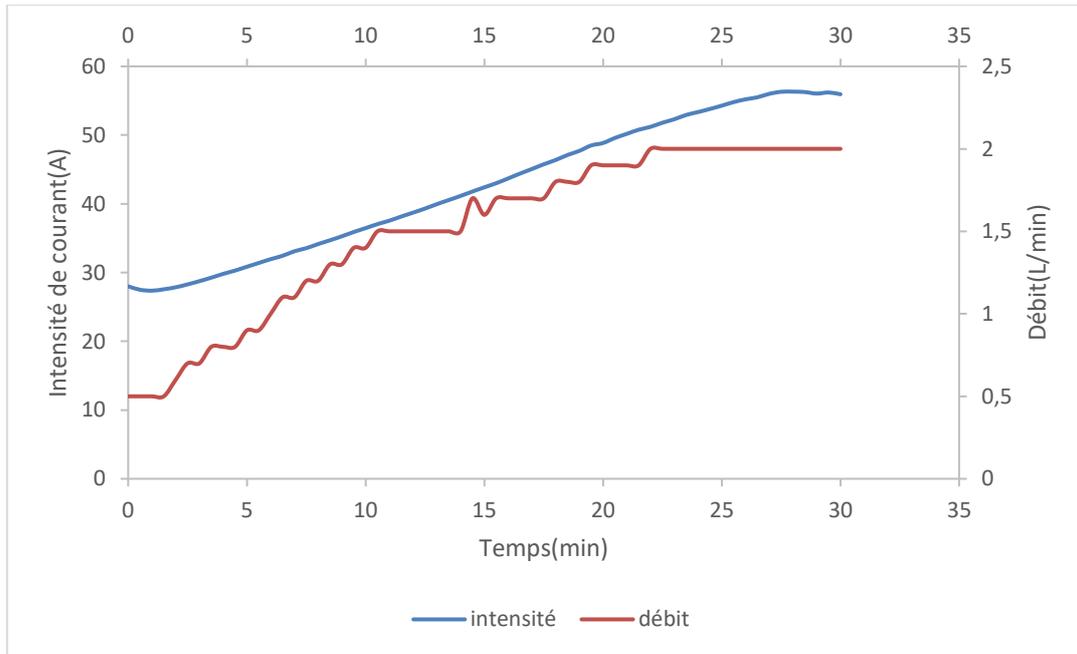


Figure 10: Variation de l'intensité de courant électrique et du débit HHO en fonction du temps. Concentration en masse de la potasse est de 40 g/L, la tension entre deux électrodes est de 2 V.

La figure 11 montre également un effet secondaire sur l'augmentation de la température de l'eau en raison de l'augmentation du courant électrique tiré.

L'augmentation du courant conduit à une augmentation subséquente du taux de production. Toutefois, une partie de l'énergie électrique est consommée dans le chauffage de l'eau qui augmente sa température à cause de la conductivité ionique de l'électrolyte et de la réaction de surface [6].

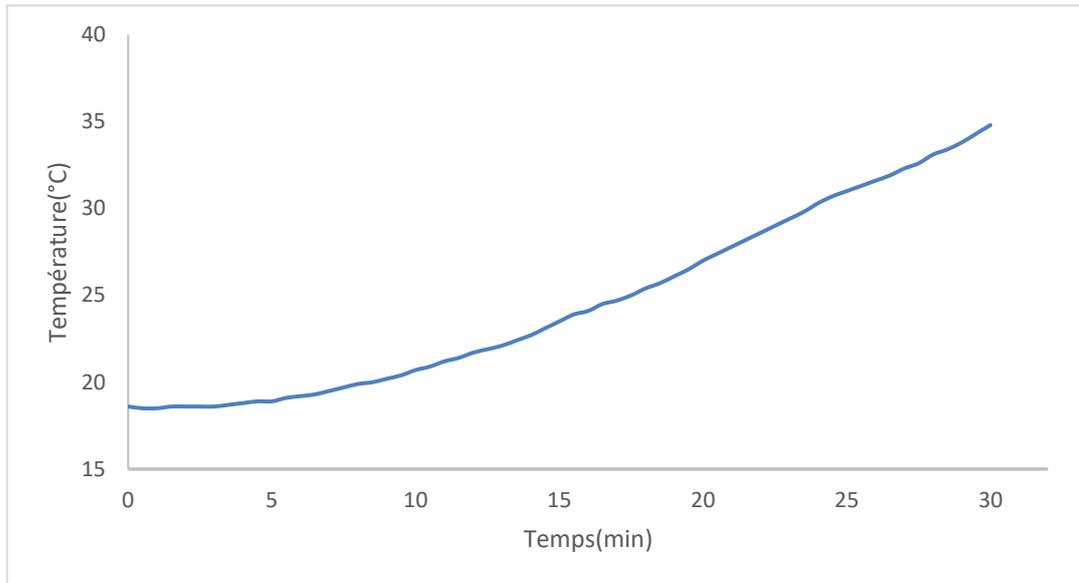


Figure 11: Variation de la température de la cellule en fonction du temps. Concentration en masse de la potasse est de 40 g/L, la tension entre deux électrodes est de 2 V.

La figure 12 montre l'effet sur l'augmentation du débit en raison de l'augmentation de la concentration en masse de la potasse.

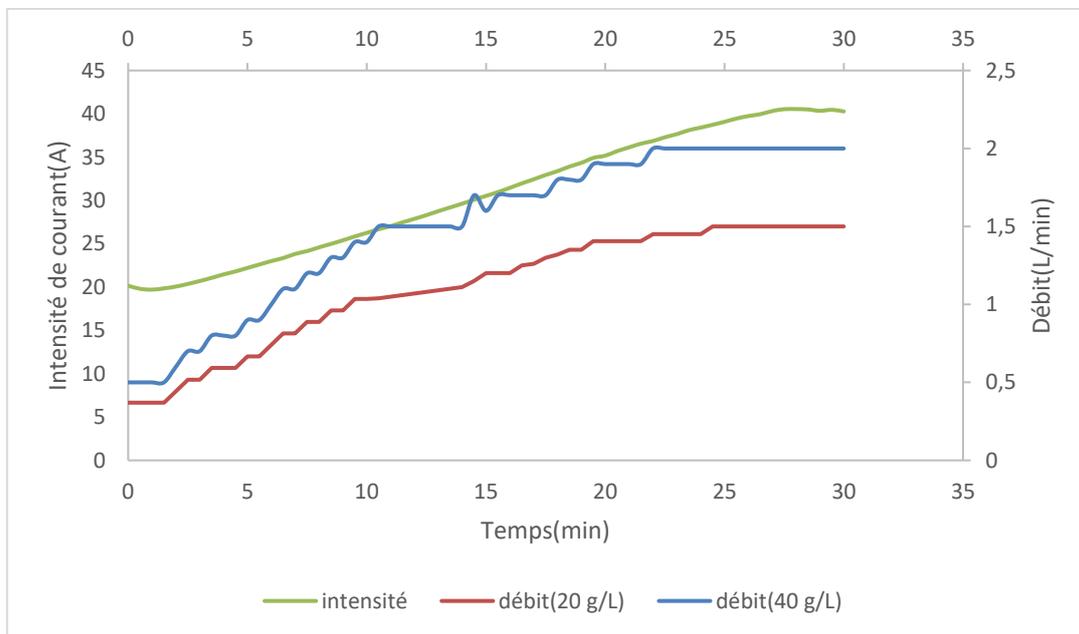


Figure 12: Variation du débit HHO en fonction du temps pour deux concentrations en masse de la potasse : 20 et 40 g/L, la tension entre deux électrodes est de 2 V. L'intensité de courant électrique mesurée correspond à une concentration de 20 g/L.

Nous avons utilisé une tension E_r égale 2 V entre chaque plaque de la cellule. Le rendement énergétique est calculé à partir de la formule $R_w = R_f \times E_{th} / E_r$, où R_f est le rendement Faradique.

$$R_f = (V_{réel} \times 2 \times F \times P) / (Q \times R \times T) = 0,53$$

E_{th} est 1,229V donc le rendement énergétique du générateur est de 33 %.

Pour une application expérimentale, le générateur HHO a été utilisé comme un chalumeau à oxyhydrogène. Le système de sortie des gaz est relié à une tête de chalumeau en cuivre via un petit dispositif d'antiretour de flamme. À son intérieur se trouve un petit filtre qui bloc la flamme pour des mesures de sécurité.

6. Perspectives

Grâce à l'utilisation des nouveaux types d'électrodes qui catalyse la séparation de molécule d'eau, on peut augmenter la production de dihydrogène en consommant moins d'énergie. On peut, éventuellement, produire de dihydrogène gazeux par électrolyse couplé à une cellule photovoltaïque. Le courant, collecté du solaire, est utilisé en électrolyse pour la décomposition directe de l'eau.

7. Conclusion

Dans ce projet, nous avons réalisé un générateur HHO utilisant l'électrolyse. Nous avons utilisé KOH comme électrolyte, et de l'inox 316 L comme électrodes. Nos premiers résultats ont montré que lorsque l'intensité de courant et / ou la concentration en masse de l'électrolyte augmentaient, le débit de gaz augmentait aussi et finalement, nous avons réussi à construire un générateur de HHO fonctionnel. La synthèse bibliographique nous a permis de voir les applications du gaz HHO dans l'amélioration de l'efficacité thermique des moteurs et la réduction de la consommation du carburant des véhicules, or dans notre travail nous avons mis au point un chalumeau à oxyhydrogène avec un débit de 2 L/min sous 12V-50A à 35°C.

Bibliographie

1. H. H. Masjuki, A. M. Ruhul, N. N. Mustafi, M. A. Kalam, M. I. Arbab, and I. M. R. Fattah, "Science Direct Study of production optimization and effect of hydroxyl gas on a CI engine performance and emission fueled with biodiesel blends," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 33, pp. 14519–14528, 2016.
2. S. Wang, C. Ji, J. Zhang, B. Z.-I. J. of H. Energy, and undefined 2011, "Improving the performance of a gasoline engine with the addition of hydrogen–oxygen mixtures," Elsevier.
3. Ibrahim Elgarhi, Mohamed M.El-Kassaby, Yehia A.Eldrainy. *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 45, Issue 46, 21 September 2020, Pages 25409-25425
« Enhancing compression ignition engine performance using biodiesel/diesel blends and HHO gas ».
4. Analyse de cycle de vie exégétique de système de production d'hydrogène.
5. Ghimire A., Frunzo L., Pirozzi F., Trably E., Escudie R., Lens P.N.L., Esposito G. (2015) A review on dark fermentative bio hydrogen production from organic biomass: process parameters and use of by-products, *Applied Energy* 144, 73–95.
6. H. Masjuki, A. Ruhul, N. Mustafi, M. K.-I. J. of, and undefined 2016, "Study of production optimization and effect of hydroxyl gas on a CI engine performance and emission fueled with biodiesel blends," Elsevier.