

L'HYDROGÈNE – VECTEUR ÉNERGÉTIQUE : BANC À HYDROGÈNE



Etudiants :

Anoushé ALAM

Noé MARRY

Adrien PICHON

Flore BALLY

Marine PEYRELONQUE

Julien VOLLET

Enseignant-responsable du projet :

Abdellah HADJADJ

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE ROUEN

Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur

avenue de l'Université - 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray - tél : +33 (0)2 32 95 97 00 - fax : +33 (0)2 32 95 98 60

Date de remise du rapport : 17/06/2023

Référence du projet : STPI/P6/2023 – 005

Intitulé du projet : **Etude et conception d'un banc à hydrogène**

Type de projet : **Expérimental et bibliographique**

Objectifs du projet :

- **Présentation de l'hydrogène en tant que vecteur d'énergie**
- **Explication des différents moyens de produire de l'hydrogène**
- **Etude théorique de l'électrolyse de l'eau**
- **Optimisation d'un banc à hydrogène**
- **Calcul du débit d'hydrogène produit**

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

- **Hydrogène**
- **Optimisation**
- **Electrolyse de l'eau**
- **Energie renouvelable**

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	5
2. Méthodologie / Organisation du travail	5
3. Théorique.....	6
3.1. Reformage	7
3.1.1. Vaporeformage	7
3.1.2. Oxydation partielle	7
3.1.3. Reformage autotherme	7
3.2. Electrolyse de l'eau	7
3.2.1. Théorie.....	7
3.2.2. Fonctionnement :	8
4. Nos objectifs face aux travaux des groupes PRECEDENTS :	8
5. Conception.....	9
6. Réalisation	11
7. Expérimentations	14
7.1. Expérience n°1 :.....	14
7.2. Expérience n°2 :.....	15
7.3. Expérience n°3 :.....	15
7.4. Conclusion des expériences et axes de progression	16
8. Travail de recherches : l'hydrogène, une solution durable ?.....	17
9. Conclusion	18
10. Bibliographie.....	19

REMERCIEMENTS

Nous aimerions tout d'abord remercier Monsieur Abdellah HADJADJ, l'enseignant responsable de notre projet pour nous avoir orienté sur des pistes d'amélioration du projet précédent, ainsi que de nous avoir conseillé sur l'organisation du travail en groupe et la gestion de projet.

Nous adressons notre reconnaissance à Monsieur Pascal WILLIAMS et ses collègues pour nous avoir assisté lors de ce projet.

Nous tenons également à remercier Madame Isabelle DELAROCHE, enseignante de chimie en STPI et CFI, pour ses connaissances sur l'électrolyse ainsi que l'aide et le matériel qu'elle nous a apporté pendant toute la durée de notre projet.

Enfin, nous souhaiterions remercier Monsieur David PARESY ainsi que Stefan MARRY pour leur aide et leur expertise technique concernant la réalisation de notre banc à hydrogène.

1. INTRODUCTION

“Oui, mes amis, je crois que l’eau sera un jour employée comme combustible, que l’hydrogène et l’oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisable et d’une intensité que la houille ne saurait avoir.” affirme Cyrus Smith dans L’île mystérieuse de Jules Verne en 1875.

Comme nous pouvons le constater, l’hydrogène est une source d’inspiration qui intrigue les scientifiques depuis plusieurs décennies. Mais aujourd’hui, les enjeux ont changé, au vu des conditions climatiques et écologiques, on peut se demander si l’hydrogène peut changer la donne.

Dans le but de répondre à cette question, depuis 4 ans des groupes se relaient sur ce projet. Les deux premiers se sont surtout concentrés sur l’aspect théorique et la faisabilité du projet ce qui a permis au groupe nous précédant de pouvoir réaliser un prototype de banc à hydrogène.

Notre principal objectif dans ce projet était de repenser le dispositif précédent. Notre optimisation s’est concentrée sur l’échelle du banc et sa sécurité afin de mesurer sa production d’hydrogène et d’oxygène.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Au début de notre projet, nous avons mis en place un diagramme de Gantt. L’objectif de cet outil était de nous permettre de savoir quelles tâches étaient à effectuer et pour quelle date. Il nous a permis de nous repérer au cours du projet. Nous avons organisé les tâches par difficulté : verte pour les tâches réalisables, jaune pour celles réalisables mais avec quelques difficultés et possiblement retardées, et finalement rouge pour les tâches difficilement réalisables. Ce diagramme a, de toute évidence, été modifié au cours du semestre dû aux imprévus. Cependant, le diagramme ci-dessous est une bonne rétrospective de notre organisation et déroulement du projet.

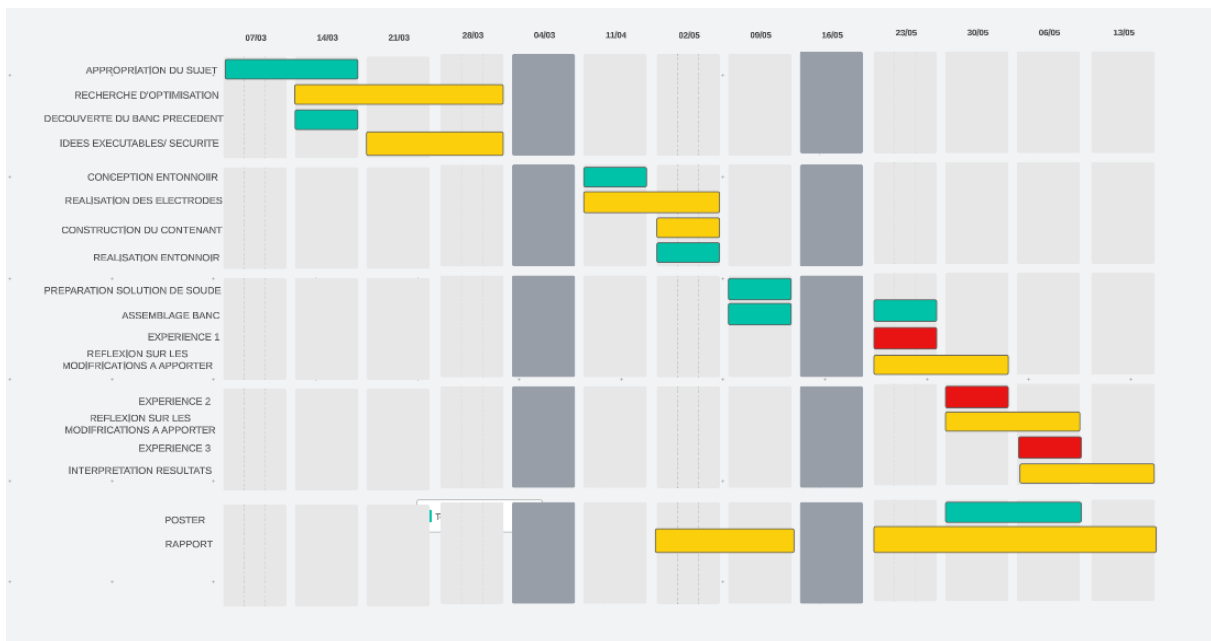


Figure 1 : Diagramme de Gantt

Les premières séances furent dédiées à la prise de connaissances autour du sujet, ce qui consistait essentiellement à lire les comptes rendus des années précédentes et éventuellement quelques recherches parallèles complémentaires. Le premier tiers du semestre fut ensuite consacré à des échanges avec le professeur encadrant et d'autres professeurs, cités dans les remerciements. Au retour des vacances d'Avril, il fallait utiliser les séances de P6 intelligemment afin de préparer au mieux les séances dédiées à l'expérimentation en fin de semestre. Il s'agissait alors de faire l'inventaire des éléments restants de l'année dernière, réaliser les pièces supplémentaires ou demander l'accord pour les emprunter. En amont, nous avons, bien entendu, réfléchi aux potentiels imprévus et tenté de les anticiper. Nous avons tout de même réussi à garder trois séances pour l'expérimentation, ce qui nous a permis de rebondir lorsque les résultats n'étaient pas concluants. Comme indiqué ci-dessus, sur les dernières semaines, nous avons consacré une partie de notre temps hors séance au rapport.

Le projet a été pensé en plusieurs parties telles que la conception, la réalisation ou encore la réflexion qui pouvaient être facilement réparties. Puisque notre projet repose essentiellement sur la création d'un banc à hydrogène, nous avons eu besoin, pour avancer, de matériel et d'expérimenter. En effet, certains se mettaient en quête du matériel pendant que d'autres soudaient, ou créaient des pièces à l'aide du logiciel de CAO: SolidWorks. Cette répartition s'est faite naturellement en fonction des préférences et compétences de chacun. Cependant, nous n'avons jamais hésité à nous entraider. En effet, dès qu'un problème survenait, nous réfléchissions ensemble et toute suggestion fut approuvée par chacun d'entre nous. Notre objectif était que chacun est participé de près ou de loin à chaque étape du projet. Pour ce faire, à chaque début de séance et même en dehors des heures dédiées à la P6, nous faisons régulièrement des points sur les avancées ainsi que sur les prochains objectifs. Le plus important était que tout le monde comprenne bien les manipulations effectuées, et ne se sente pas perdu au sein du projet.

Pour le poster et le rapport du projet, nous avons chacun rédigé une partie, afin que tout le monde ait la même quantité de travail. En adéquation avec le projet, nous nous sommes mis d'accord sur la répartition des différentes parties. Il faut tout de même noter que chaque partie a été relue plusieurs fois par chacun d'entre nous pour assurer la qualité du rapport.

En résumé, l'organisation de ce projet, n'a pas été une source de tension bien au contraire nous avons su apprécier le travail d'équipe.

3. THEORIQUE

La première question que nous nous sommes posés est tout d'abord : pourquoi produire de l'hydrogène ? En effet, comme nous l'avons dit plus tôt, l'hydrogène pourrait servir de source d'énergie car lors de sa combustion, facile à provoquer, il dégage une grande quantité d'énergie en émettant uniquement de l'eau. Ainsi la solution d'alimenter, par exemple, nos voitures avec de l'hydrogène paraît, dans un premier temps, pertinente ainsi qu'écologique. Cependant, cette solution présente quelques problèmes. Comment stocker l'hydrogène ? Dans ce rapport, nous ne traitons pas ce problème. Nous nous sommes, en effet, concentrés sur sa production. Bien que la partie exploitation semble très "verte", la partie production l'est nécessairement moins. Il existe différentes méthodes de production d'hydrogène. Chacune présente des avantages et inconvénients. On distingue trois types de procédés : le reformage, la gazéification et l'électrolyse.

3.1. Reformage

Le reformage est une méthode lors de laquelle des molécules d'hydrocarbures sont divisées sous l'effet de la chaleur afin d'obtenir des molécules de dihydrogène. On distingue trois principales méthodes de reformages : le vaporeformage, l'oxydation partielle et le reformage autotherme.

3.1.1. Vaporeformage

Le vaporeformage, aussi appelé reformage à la vapeur, est réalisé par une réaction catalytique. L'hydrocarbure chauffe au contact de la vapeur d'eau ce qui lui donne l'énergie suffisante pour se diviser et ainsi former un mélange de H_2 , de H_2O , de CO_2 et de CO . Lors de réactions secondaires, du méthane et du carbone sont également produits. Cette réaction nécessite une température entre 700°C et 1100°C pour se produire.

Cette méthode est facilement utilisable car les réactifs sont assez simples à trouver et que la température nécessaire n'est pas excessivement élevée. De plus, aucune condition de pression n'est attendue. Cependant on remarque que cette réaction produit du dioxyde de carbone ainsi que du méthane qui sont tous deux des gaz à effet de serre. On remarque aussi la production de monoxyde de carbone gaz extrêmement nocif. Ainsi, malgré sa facilité, cette solution est polluante mais elle reste la plus utilisée de nos jours.

3.1.2. Oxydation partielle

Cette deuxième méthode est caractérisée par la combustion d'hydrocarbures et d'air. Un gaz de synthèse contenant du dihydrogène est produit. Pour obtenir ce gaz, il faut impérativement que la combustion soit incomplète, c'est-à-dire que le dioxygène soit en faible proportion. Les conditions nécessaires à cette réaction sont une température comprise entre 1200°C et 1500°C et une pression de 20 à 90 bars. Un atout de cette réaction est sa faible production de méthane.

3.1.3. Reformage autotherme

Le reformage autotherme reprend les principes des deux méthodes précédentes : dans un premier temps, a lieu l'oxydation partielle qui dégage de la chaleur puis dans un second temps, se produit le vaporeformage qui augmente la production d'hydrogène. Il faut une température placée entre 900°C et 1100°C et une pression entre 20 et 60 bars.

Le principal avantage de cette solution est que la chaleur nécessaire au vaporeformage est apportée par l'oxydation partielle. Cependant, la majeure difficulté de cette solution est de maintenir une quantité d'oxygène suffisante pour que la réaction puisse se produire.

3.2. Electrolyse de l'eau

3.2.1. Théorie

L'électrolyse de l'eau est un procédé qui consiste en la séparation des molécules d'eau pour produire du dioxygène et du dihydrogène.

Ce processus de production d'hydrogène est en plein développement dans le cadre de la transition énergétique. En effet, aujourd'hui nous tentons de plus en plus de développer des énergies telles que l'éolien et le solaire qui sont des énergies intermittentes.

Une solution pour éviter la perte d'électricité serait d'utiliser le surplus d'électricité afin d'effectuer une électrolyse de l'eau. Lorsque que l'on a de nouveau besoin de cette électricité et que la production n'est plus suffisante, il suffirait alors de transformer l'hydrogène en électricité à l'aide d'une pile à combustible.

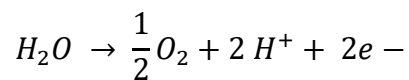
Par exemple, une maison qui dispose de panneaux solaires pourrait produire de l'hydrogène la journée puis utiliser ce même hydrogène comme carburant pour alimenter l'éclairage le soir.

On pourrait envisager de transposer cela sur de plus grande durée. On pourrait produire de l'hydrogène à l'aide de panneaux solaires l'été lorsque la demande en électricité est moins forte, pour la réutiliser en hiver. Cependant, on retrouve la grande problématique de l'hydrogène, le stockage.

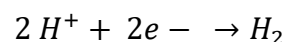
3.2.2. **Fonctionnement :**

Un courant électrique passe dans l'eau et sépare les molécules d'eau en molécules de dihydrogène et de dioxygène. L'électrolyse de l'eau se résume alors en une réaction d'oxydoréduction. Les demi équations de réaction liées aux électrodes sont :

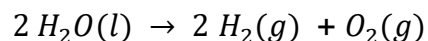
- Pour le pôle négatif soit l'anode : réaction d'oxydation :



- Pour le pôle positif soit la cathode : réaction de réduction :



On obtient, comme équation finale :



On constate alors que le volume de dihydrogène produit est deux fois plus important que le volume d'oxygène produit.

Nous avons réalisé notre électrolyse en milieu basique bien qu'un milieu acide ou encore alcalin étaient possibles. Nous avons utilisé une solution de soude pour l'électrolyte dont l'équation de dissolution est :



La soude va permettre à l'eau d'être plus conductrice en autorisant la formation d'ions.

Les différents paramètres à prendre en compte sont donc :

- le volume d'eau
- le type d'électrodes et leur dimensions (surface d'échange)
- le type d'électrolyte et sa concentration
- la différence de potentiel appliquée aux bornes des électrodes

4. NOS OBJECTIFS FACE AUX TRAVAUX DES GROUPES PRECEDENTS :

Comme cela a été notifié dans l'introduction, le projet "étude et conception d'un banc à hydrogène", est un projet mené depuis 2020. Au cours du temps, de nombreuses idées sont nées, certaines ont été délaissées et d'autres ont été conservées. Comme cela a été expliqué précédemment, nous nous sommes basés sur les avancées de l'année dernière afin d'obtenir un banc à hydrogène optimisé.

Le groupe de l'année 2022 a pu concevoir le banc à hydrogène :



Figure 2 : Banc à hydrogène de l'année 2022

Pour cela, ils ont utilisé un aquarium de 27L qu'ils ont rempli d'une solution d'hydroxyde de sodium, plus connu sous le nom de soude, pour réaliser l'électrolyse.

Afin d'étudier l'impact de la concentration sur l'électrolyse, le groupe a utilisé deux solutions de concentrations 0,1 mol/L et 0,25 mol/L ce qui représentent 40g et 100g respectivement de soude sous forme de granulés. Cette large utilisation de soude représente notre premier point d'amélioration : réduire la taille de l'aquarium afin de réduire les quantités d'eau et de soude. En effet, il n'est pas utile dans notre projet de produire une grande quantité d'hydrogène, il est donc inutile d'utiliser autant de ressources.

Afin d'avantager la production d'hydrogène, il est important de maximiser la surface de contact entre l'électrolyte et le conducteur (l'électrode). Dans ce but, le groupe précédent avait choisi de créer deux blocs d'électrodes en parallèle. Celles-ci étaient constituées de 18 plaques d'acier galvanisé (9 pour l'anode et 9 pour la cathode) et mesuraient 15 cm de long et 8,5 cm de large. Il est évident que contenu dans un large récipient, les électrodes pouvaient elles aussi être de grande taille.

Enfin, pour récupérer l'hydrogène produit, ils ont donc utilisé afin de faire passer le dihydrogène de la cathode jusqu'au brûleur, un tube de cuivre reliant l'électrolyseur et le brûleur, un entonnoir placé au-dessus de la cathode.

5. CONCEPTION

Dans le but de poursuivre le projet déjà commencé au cours des années précédentes, nous avons décidé d'optimiser le banc à hydrogène. Notre objectif principal était de réduire la taille du banc à hydrogène préétabli et d'améliorer sa durabilité.

Nous avons eu plusieurs idées, malheureusement certaines étaient plus ou moins envisageables. Tout d'abord, nous avons voulu nous pencher sur l'électrolyte. Afin d'éviter une perte d'eau potable et d'utiliser un produit toxique pour l'environnement (la soude), nous avons voulu utiliser de l'eau de mer. En effet, l'eau de mer présente plusieurs avantages. Il est facile de s'en procurer et c'est une ressource respectueuse de l'environnement. Cependant, nous avons abandonné cette idée après avoir fait des recherches et en avoir discuté avec Isabelle de Laroche. Nous sommes arrivés à la conclusion qu'une électrolyse avec de l'eau de mer dégage du dichlore (comme le montre l'image ci-dessous) qui est un gaz extrêmement toxique. Nous ne pouvions donc pas prendre ce risque.



Figure 3 : Equation d'oxydo-réduction de l'eau salé

Nous nous sommes donc rabattus sur des solutions de soude, comme l'année précédente, de concentration de 0,1 mol/L et de concentration 0,25 mol/L. En effet, la soude permet d'améliorer la conductivité de notre système par rapport à de l'eau classique, par exemple.

Une autre idée que nous avons eu pour améliorer le côté environnemental de notre banc était d'utiliser un vélo pour l'alimenter en électricité, comme l'avait suggéré un groupe précédent. Il y avait néanmoins beaucoup d'incertitudes concernant le rendement de l'alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. De plus, cette amélioration aurait demandé beaucoup de temps ainsi qu'un investissement important.

Dans un second temps, nous nous sommes penchés sur le remplacement de l'aquarium. En effet, ce dernier était beaucoup trop volumineux (27 litres). Nous avons d'abord pensé à utiliser des pots de confitures, car ces derniers sont hermétiques (idéal pour étanchéité à l'hydrogène), ont un petit volume et sont faciles à trouver. Toutefois, nous voulions récupérer le dioxygène et le dihydrogène de manière séparée. Nous devions les percer, or, il n'était pas possible de le faire à l'INSA. Nous avons donc abandonné cette idée. Comme le problème était que nous ne pouvions pas découper le verre, nous avons opté pour des pots ayant sensiblement les mêmes propriétés, mais faits en plastique, comme des pots de café. Cependant, il était impossible de faire une découpe propre sur du plastique, notre système n'aurait pas été étanche.

Figure 5 : Pot à café que nous souhaitions utiliser



Figure 4 : Pot en verre que nous souhaitions utiliser

Après avoir mis de côté nos deux premières idées, nous avons décidé de créer nous-mêmes un récipient en forme de U en plexiglas. Nous avons ainsi consulté David PARESY, un des représentants de la section mécanique, qui nous a grandement aidé à la conception du récipient.

Après avoir réfléchi au récipient et à l'électrolyte, nous avons cherché à améliorer les électrodes. En effet, nous avons remarqué que celles de l'année dernière étaient extrêmement abîmées après seulement un essai du banc. Nous avons changé le matériau qui les constituait en passant de l'acier galvanisé au zinc qui ne rouille pas et nous avons également pensé un nouveau support pour améliorer la durabilité des électrodes.

Enfin, nous avons eu l'idée d'imprimer en 3D un couvercle qui permettrait de récupérer l'hydrogène produit par notre banc.

6. REALISATION

Après avoir trouvé une idée de récipient remplissant notre cahier des charges et réalisable, nous avons commencé sa réalisation.

Nous avons dessiné sur Solidworks, l'ensemble des parois nécessaires à la réalisation de notre récipient. De plus, le récipient a été dimensionné pour une contenance de 1 litre.

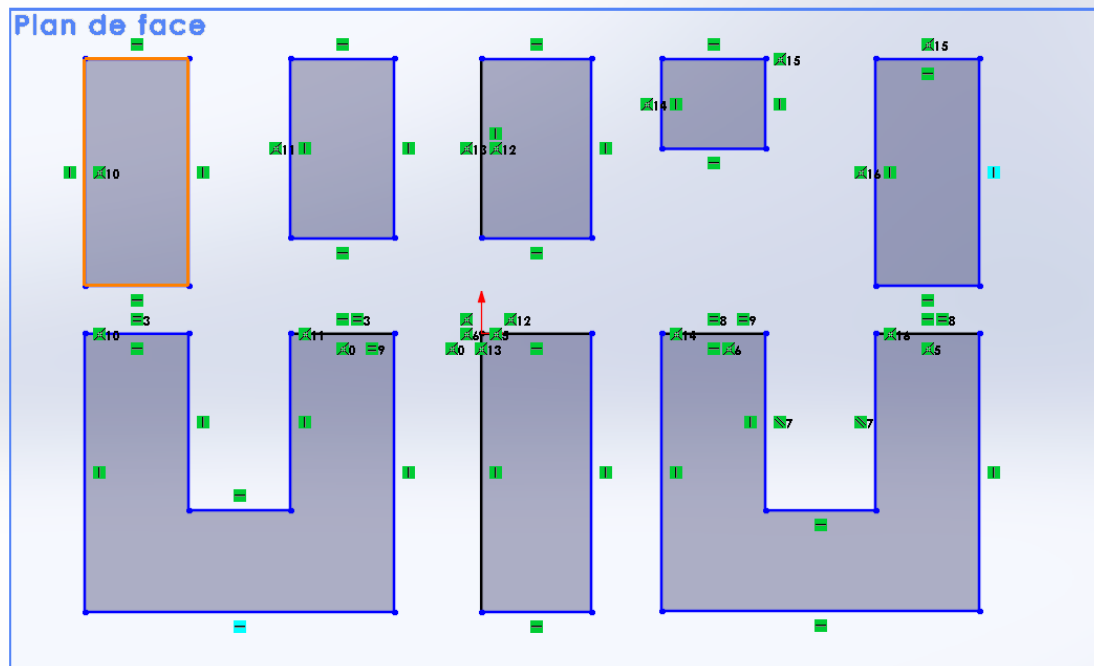


Figure 6 : Plan de la nouvelle cuve

Une fois le design créé, nous avons séparé chacune des parois sur un logiciel pour qu'elles puissent être lues par la machine découpe laser. La machine a alors découpé les différentes parois du récipient, qui ont été assemblées avec du silicone d'assemblage, de manière à avoir une étanchéité parfaite. Nous avons fait un trou fileté de chaque côté du récipient de manière à pouvoir visser une vis pour relier l'anode et la cathode au générateur, grâce à une simple pince crocodile, sans contact avec l'électrolyte. De plus, ce système permet de ne pas percer le couvercle qui permet de récupérer l'hydrogène.



Figure 7 : Nouvelle cuve

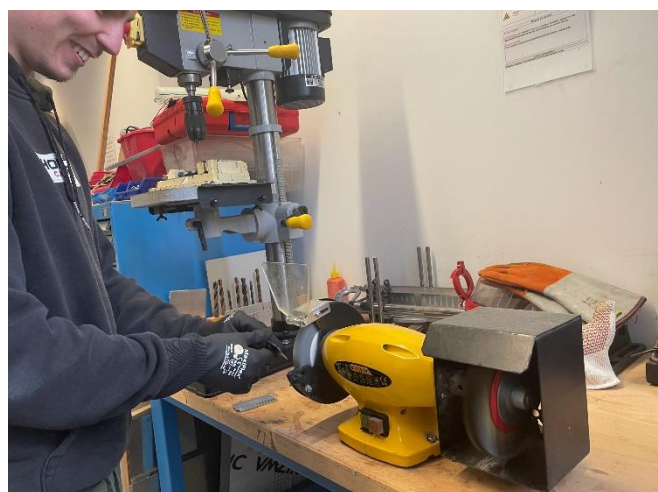
Pour la réalisation de l'anode et de la cathode, nous avons découpé 10 petits rectangles à partir d'une grande plaque de zinc. Puis, nous les avons poncé de manière à avoir une meilleure adhérence lors du soudage. Ces rectangles ont été soudés 5 par 5. Enfin, nous avons créé un support pour glisser les lames de zinc qui constituent nos électrodes. Cependant, le support était trop fragile et il était compliqué d'enfiler les lames donc nous avons simplement gardé la base qui est un carré avec des rainures pour glisser les lames de zinc.



Figure 9 : Soudage des cathodes et des anodes



*Figure 10 :
Découpage des
plaques de
métal*



*Figure 8 : ponçage des
plaques de métal*

Nous avons également dessiné un couvercle pour le récipient pour pouvoir récupérer l'hydrogène créé par l'électrolyse sur Solidworks. Ce couvercle est rectangulaire pour pouvoir être clipsé sur le récipient et l'intérieur du couvercle est légèrement évasé de manière à faciliter l'écoulement de l'hydrogène. Enfin, sur le dessus du couvercle, il y a un raccord qui permet la connexion avec un tube tout en assurant une bonne étanchéité. Nous l'avons imprimé grâce à une imprimante 3D.

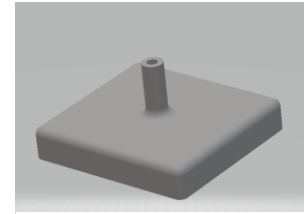


Figure 11 : Couvercle V1

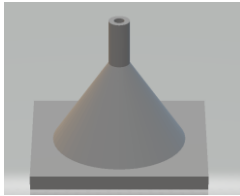


Figure 12 :
Couvercle V2

Cependant, ce couvercle était trop fragile, notamment dû au fait que les congés présents sur les arêtes du couvercle étaient mal passés lors de l'impression en 3D. Par ailleurs, le fait d'avoir un simple trou pour évacuer l'hydrogène ne remplissait pas le rôle d'un vrai entonnoir, nous avons donc réalisé un deuxième couvercle en tenant compte de ces modifications.

Passons dès à présent à la réalisation de l'électrolyte. Nous avons préparé une solution de soude de concentration de 0,1 mol/L. Pour ce faire, nous avons dissous 4 grammes de soude dans 1 L d'eau.

Au cours de notre première expérience, nous avons remarqué une forte résistance électrique. C'est pourquoi nous avons augmenté la concentration de notre solution en la passant à 0.25 mol/L.

Pour l'expérience, nous avons plongé les anodes et cathodes de part et d'autre du récipient rempli de la solution de soude à 0.25 mol/L. Nous avons refermé le côté de la cathode avec le couvercle puis nous avons connecté le tuyau au couvercle. Ensuite, nous avons retourné une éprouvette graduée remplie d'eau dans un récipient lui aussi rempli d'eau, puis nous avons mis l'autre extrémité du tuyau dans l'éprouvette. Nous avons relié les deux pinces crocodiles du générateur aux vis du récipient de l'électrolyse. Enfin, nous avons allumé le générateur et mesuré l'hydrogène créé en fonction du temps de manière à avoir un rendement. Nous avons également inversé les polarités de manière à vérifier que l'on créait bien deux fois plus d'hydrogène que d'oxygène.

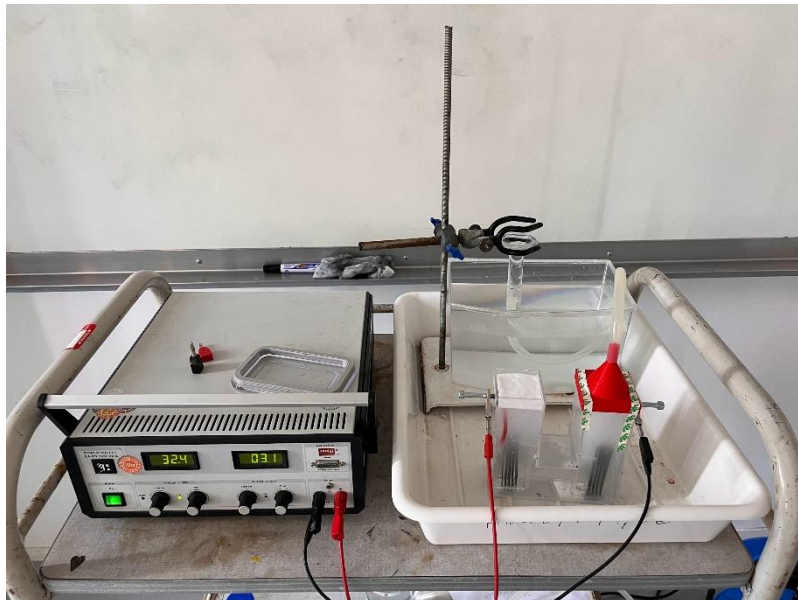


Figure 13 : Dispositif expérimental

7. EXPERIMENTATIONS

L'objectif de ces expériences est de mesurer la quantité de dihydrogène produite grâce à notre système. La répétition de notre expérience est due à des imprévus, qui nous ont amené à améliorer notre prototype.

A chacune de nos expériences, nous avons suivi le protocole suivant :

- Verser la solution de soude dans le contenant, environ 700 mL.
- Remplir un certain volume d'eau, en quantité suffisante pour immerger l'éprouvette.
- Purger le tuyau reliant l'entonnoir et l'éprouvette, afin de ne pas fausser nos résultats.
- Paramétrer et allumer le générateur.
- Allumer le chronomètre afin de relever les quantités de dihydrogène en fonction du temps.

De plus, nous nous sommes répartis les rôles suivants :

Opérateurs : Adrien et Julien

Prise de notes : Flore et Anoushé

En charge du chronomètre : Marine

En charge du générateur : Noé

7.1. Expérience n°1 :

Conditions extérieures :

Température : 15°C

Vent : 20km/h

Au cours de cette première expérience, nous pensions relever les quantités de dihydrogène produites toutes les 5 secondes. Cependant, nous nous sommes rendus compte que nous étions trop optimistes. En effet, au bout de 10 minutes, nous n'avions rien récupéré, même si on a pu observer des bulles témoignant d'une production de dihydrogène.

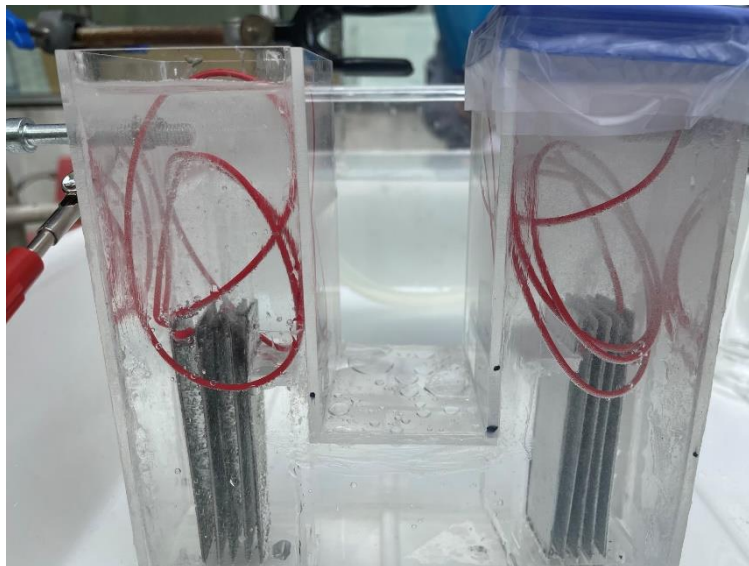


Figure 14 : Apparition de bulle de dihydrogène lors de la 1^{ère} expérience

Nous avons donc émis les hypothèses suivantes :

- Le prototype présentait un problème d'étanchéité,
- Le générateur n'était pas assez puissant,
- La solution n'était pas assez concentrée.

Puisque nous n'avions pas la possibilité de savoir quel facteur était réellement responsable et que nous n'avions pas le temps de faire des expériences indépendantes, nous avons décidé de modifier l'ensemble des paramètres.

7.2. Expérience n°2 :

Conditions extérieures :

Température : 20°C

Vent : 25 km/h

Afin de changer les paramètres cités ci-dessus, nous avons utilisé une solution dont la concentration s'élève à 0,25 mol/L, ainsi qu'un générateur atteignant les 30V.

De nouveau, aucune mesure ne fut relevée. Pour autant, nous avons pris suffisamment de notes dans le but de retranscrire le déroulement de cette expérience :

- 2 min : apparition d'une grosse bulle d'oxygène
- 3 min : apparition plus rapide de petites bulles de dihydrogène
- 5 min 30 : arrêt du générateur pour redresser les plaques
- 7 min 30 : fin de l'expérience, on remarque une fissure sur l'entonnoir qui rend le prototype invalide, il n'y a plus d'étanchéité



Figure 15 : Entonnoir cassé

Nous avons prévu pour la dernière expérience de modéliser un nouvel entonnoir, afin de renouveler une dernière fois l'expérience. Pour le nouvel entonnoir, nous avons épaissi la pièce et retiré les congés pour la rendre plus solide, nous avons également changé la forme comme nous l'avons précisé dans la partie réalisation.

7.3. Expérience n°3 :

À la différence des deux premières expériences, nous avons effectué cette dernière à l'intérieur, avec l'accord du professeur.

Conditions intérieures :

Température : 25°C

Au cours de cette dernière expérience, nous n'avons pas lancé de chronomètre. Au vu des dernières tentatives, notre objectif était seulement de récupérer du dihydrogène dans l'éprouvette. Notre échelle de temps ne correspondait pas au voltage permis par le générateur.



Nous avons laissé notre banc fonctionner pendant environ 45 minutes et nous avons seulement récupéré de petites bulles d'hydrogène dans l'éprouvette.

Cette faible récupération peut s'expliquer par deux raisons principales. La première est

Figure 16 : Récupération de bulle d'hydrogène lors de la 3^{ème} expérience



que l'intensité du générateur n'était pas assez élevée. Nous aurions souhaité avoir une intensité de 15A, mais nous ne sommes arrivés qu'à 5A. On ne produisait donc pas assez vite de l'hydrogène pour notre échelle de temps. La deuxième raison réside dans le manque d'étanchéité de notre système, qui a empêché le dihydrogène de monter en pression et de monter dans le tuyau de récupération. Idéalement, il aurait fallu immerger complètement notre banc dans de l'eau pour forcer l'hydrogène à monter vers notre tuyau.

Nous avons aussi remarqué qu'à la fin de l'expérience le deuxième entonnoir n'a pas tenu le choc : il a fondu à cause de la chaleur dégagée par effet de Joule pendant toute la durée de l'expérience.

7.4. Conclusion des expériences et axes de progression

Au vu des résultats des expériences, nous pouvons considérer que notre projet a été mené à bien. Nous avons réussi à faire trois expériences distinctes, en modifiant certains des

Figure 17 : Entonnoir fondu

paramètres. Malgré une première expérience peu fructueuse, nous avons su rebondir afin de faire avancer le projet.

On peut noter que nous produisons de l'hydrogène, mais que nous n'arrivons pas à le stocker. Les deux problèmes majeurs sont le manque d'intensité du générateur, ainsi qu'un problème d'étanchéité. On pourrait donc envisager l'utilisation d'un générateur plus puissant ou une réduction de la résistance équivalente mais ce qui surtout pourrait permettre de faciliter la récupération serait de travailler sous pression (par exemple en immergeant complètement le système).

Les prochains groupes pourront donc s'appuyer sur nos conclusions, dans le but de stocker le dihydrogène.

8. TRAVAIL DE RECHERCHES : L'HYDROGENE, UNE SOLUTION DURABLE ?

Dans un contexte énergétique complexe, les questions sur les voies de transition énergétique se multiplient. En effet, aujourd'hui on sait que nos systèmes de production, consommation et distribution d'énergie ne peuvent plus être durables dans la mesure où ils mettent en péril la biodiversité, les écosystèmes et notre santé. L'utilisation d'énergies dites fossiles est à ce jour prédominante. Leur place s'élève à 85 % du mix énergétique. Il s'agit donc de réfléchir sur de nouveaux potentiels acteurs pour atteindre l'objectif « neutralité carbone ».

Bien qu'au premier plan, l'éolien et le solaire se présentent comme de parfaits candidats, l'hydrogène est aujourd'hui assimilé à l'énergie du futur.

Dans un premier temps, on peut noter la présence de l'hydrogène autour de nous et plus particulièrement dans l'eau. Bien qu'il ne soit jamais présent à l'état pur, des procédés chimiques permettent sa récupération. En cassant la liaison du dihydrogène et en obtenant ainsi un atome d'hydrogène, une importante quantité d'énergie est libérée.

Il est vrai qu'à ce jour l'hydrogène est produit principalement à partir d'hydrocarbures mais l'électrolyse, procédé que nous avons utilisé dans notre projet, est une manière « verte » de l'obtenir.

Le dihydrogène contient de l'énergie sous forme chimique qui peut donc être transportée, on parle ainsi de vecteur d'énergie. Son intérêt majeur est son stockage durable. Plus qu'une source énergétique, l'hydrogène favorise les autres énergies dites renouvelables telles que l'énergie solaire et éolienne, comme citées précédemment, que l'on qualifie d'intermittentes. Contrairement à ces dernières, son stockage permet un équilibre entre consommation et production. En effet, il n'est plus question de perdre de l'électricité mais de la stocker sous forme de gaz hydrogène qui pourra être brûlé ou reconverti dans une pile à hydrogène.

L'avantage de l'hydrogène est donc évident : il est à la fois capable de remplacer certains usages des énergies fossiles et est complémentaire à la production d'électricité verte. Il faut tout de même préciser que son impact environnemental n'est pas nul. En effet, il faudrait disposer d'importantes quantités d'énergie verte pour déployer son usage. Cependant, cela implique nécessairement une grande quantité d'infrastructures de production. En résumé, son impact dépend des méthodes de production, du stockage et usage de l'hydrogène et du rendement final.

Cependant, un problème se pose quant à son utilisation pour un modèle de mobilité sobre et équitable. Son rendement étant faible, l'idée d'une voiture à hydrogène n'est pas forcément envisageable. En effet, si l'on dispose d'une électricité bas carbone, il est plus pertinent de l'utiliser directement pour se déplacer. Il n'est pas envisageable de transformer cette électricité en hydrogène pour la retransformer en électricité dans une voiture à pile à combustible. Cela impliquerait des pertes importantes. De plus, aujourd'hui, la plupart des

déplacements quotidiens sont de distance modérée et l'autonomie de l'électrique est suffisante.

Ainsi, dans le domaine de la mobilité, l'électrique est tout de même gagnant. On pourrait donc se pencher sur des moyens de transports où une quantité d'énergie très dense est recherchée tels que l'aviation ou encore le transport routier. Le poids d'une batterie électrique classique suffisamment puissante serait en contradictions à l'optimisation du poids recherché en aviation. L'hydrogène est ici intéressant car comme dit précédemment, une quantité donnée d'hydrogène engendre de grandes quantités d'énergie. On peut d'ailleurs noter que l'industrie spatiale utilise déjà de l'hydrogène liquide comme carburant. De la même façon, d'autres procédés industriels lourds qui utilisent des énergies fossiles pourraient être voués à changer d'alimentation.

9. CONCLUSION

Pour conclure, ce projet a été très enrichissant pour chacun d'entre nous et cela sur plusieurs points.

Premièrement, nous avons pu progresser dans le domaine de la physique ainsi que de la chimie. En effet, nous avons pu aborder ces deux domaines de manière pratique, venant ainsi compléter la théorie apprise au cours des années précédentes. Ceci nous a donc amené à rencontrer des problématiques bien différentes qu'habituellement.

Nous nous sommes également retrouvés à devoir faire un effort d'organisation. En effet, en étant six, nous ne pouvions pas négliger ce point. La gestion du temps a été un facteur important à prendre en compte car pour un projet comme celui-ci d'une grande ampleur, nous ne pouvions pas nous permettre de perdre du temps. Toutefois, nous avons su faire preuve d'autonomie notamment en allant échanger avec différents professeurs et professionnels. Ces points nous ont donc permis de mener ce projet à bien.

Par ailleurs, nous avons aussi dû faire preuve de motivation compte tenu des résultats de nos expérimentations. Il est vrai que nous ne sommes pas parvenus à accomplir tous nos objectifs. Les plusieurs échecs nous ont certes déçu mais la preuve d'une production de dihydrogène nous a quand même satisfait. En effet, nous sommes fières d'avoir pu atteindre ce premier palier dans la réalisation d'un banc à hydrogène.

Pour finir, nous avons apprécié l'idée de devoir retravailler et optimiser un projet entamé sur plusieurs années. Nous pensons avoir apporté de bonnes idées et solutions. Nous espérons sincèrement que ce projet soit peaufiné l'année prochaine.

10. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gabriel HOURY, Alexandre JUNG, Alexis FRILEUX, Julien PETITPAS, “Banc à hydrogène”, *Rapport de projet P6*, 2022.
- [2] Adam AFONSO, Ambre DE CRESCENZO, Eugénie GUEST, Clara IDZIK, Aymeric LE GOFF, Léo MAUROUARD, “Production d'hydrogène”, *Rapport de projet P6*, 2021.
- [3] Rémi CLEMENCIN, Domitille GENOT, Guillemette HECART, Brice JIBEAUX, Corentin PECQUET, Léonie RYST, “Etude et conception d'un banc à hydrogène”, *Rapport de projet P6*, 2020.
- [4] lien internet : <https://www.gouvernement.fr/actualite/lhydrogene-une-filiere-davenir#:~:text=La%20fili%C3%A8re%20de%20l'hydrog%C3%A8ne,et%20la%20maintenance%20des%20installations.> (valide à la date du 05/05/2023)
- [5] lien internet : <https://www.capital.fr/economie-politique/eolienne-solaire-hydrogene-ces-energies-vertes-du-futur-1342371> (valide à la date du 05/05/2023)
- [6] lien internet : <https://www.h2-mobile.fr/actus/hydrogene-vert-baisse-prix-similaire-eolien-solaire/> (valide à la date du 05/05/2023)