

# **Compte rendu intermédiaire de projet industrie**

## **Pile à combustible en partenariat avec Symbio**

Plan

## Remerciements

Nous remercions Jean-Pierre BELLOT et Julien JOURDAN, qui nous ont encadrés et aidés tout au long de cette année.

Nous tenons aussi à remercier Arthur LAGEL pour son suivi tout au long de l'année, ses conseils et son expérience dont il nous a fait part pour nous éviter bien des problèmes lors de la mise en place de notre système expérimental.

Nous remercions aussi l'entreprise Symbio pour nous avoir fourni la pile à combustible, sans laquelle ce projet n'aurait pas pu fonctionner.

Nous remercions la Fondation Mines Nancy pour nous avoir fourni l'argent nécessaire pour acheter les composants utilisés au cours de nos expériences.

Nous remercions l'Institut Jean Lamour pour nous avoir fourni des locaux dans lesquels travailler et du matériel pour mener à bien nos expériences.

Nous remercions le LEMTA pour le prêt de la première pile à combustible sur laquelle nous avons pu expérimenter.

Nous remercions l'Université de Lorraine pour avoir soutenu notre projet.

Enfin, nous remercions les chercheurs de l'Institut Jean Lamour avec lesquels nous avons pu échanger, et qui nous ont donné conseils et idées pour avancer plus facilement dans notre projet.

Glossaire avec toutes les notations + unités pour ce qui est d'ordre théorique + mesures

## Intro

### Motivations du projet

Depuis quelques années, l'hydrogène est au centre des questionnements relatifs aux énergies renouvelables. Il est vu comme une opportunité de se défaire de la dépendance aux ressources fossiles, souvent issues de l'importation, et des investissements sont faits par de nombreux organismes. Par exemple, le gouvernement français a prévu d'investir jusqu'à 7 milliards dans ce domaine, pour développer la recherche et l'industrialisation de procédés utilisant l'hydrogène, avec pour finalité la décarbonation des transports et de l'industrie, mais aussi la création de nouvelles filières et de nouveaux emplois.

L'entreprise Symbio joue un rôle clef dans ce développement en mettant au point des systèmes utilisant de l'hydrogène et adaptés pour des véhicules légers à lourds. Elle est notamment spécialisée dans le développement de piles à combustible à base d'hydrogène.

Ce projet industrie est né de l'intérêt fort que porte l'école des Mines de Nancy à l'innovation technologique et aux thématiques environnementales. La finalité est de pouvoir développer un système de recharge autonome via pile à combustible du robot SCAR de Boston Dynamics. En effet, ce robot est amené à travailler dans des endroits difficiles d'accès pour des humains, ce qui signifie qu'il sera difficile d'y installer des systèmes permettant au robot de se recharger. L'intérêt de la pile à combustible est qu'elle peut être assez compacte, et donc tout indiquée pour fournir une source d'énergie à SCAR dans ces situations. L'entreprise Symbio a donc proposé de fournir une pile à combustible pour que nous puissions travailler sur ce projet, tout en assurant un suivi du travail et proposant des échanges constructifs pour l'avancement du projet.

## Bibliographie

<https://www.entreprises.gouv.fr/fr/strategies-d-acceleration/strategie-nationale-pour-developpement-de-l-hydrogene-decarbone-france#:~:text=Dans%20le%20cadre%20du%20plan,est%20pr%C3%A9vu%20jusqu'en%202030.> (Site du gouvernement français pour les données d'investissement dans l'hydrogène)

<https://www.symbio.one/>#! (Site de Symbio)

## Annexes

Idées en vrac

Plan proposé :

I. Intro

Motivations du projet (enjeux actuels, utilisation à terme)

II. Le début du projet

Les bases du fonctionnement de la pac

Plan d'action prévu sur l'année entière (quelles actions/étapes, pourquoi ?)

III. Ce que nous avons fait

Etat des lieux de ce qui a été fait par le groupe précédent

Ce que nous avons fait jusqu'à présent (châssis, analyse des données déjà acquises, CFD, P&ID, BOM, commandes, visite de Symbio)

Les problèmes rencontrés, identifier les difficultés futures

IV. Conclusion

Perspectives dans le projet (plus en détails) + objectifs finaux

## **Travail théorique sur les données récupérées de l'année précédente**

Ce travail nous a permis de dimensionner les ressources en H<sub>2</sub> dont nous aurons besoin pour faire fonctionner la pile à combustible. Nous avons envisagé différents cas : utilisation d'un électrolyseur, utilisation d'une bouteille de H<sub>2</sub> à différentes pressions (difficultés au niveau de la sécurité lors de l'utilisation de bouteilles de H<sub>2</sub>)



## Construction du châssis

Pour pouvoir travailler de manière efficace et sûre, nous avons mis au point un châssis (la réalisation a été faite par Erwan et Valentin).

Les critères à respecter étaient :

- Critère de sécurité
- Critère de praticité

### Critère de sécurité :

Le châssis doit être fermé afin de ne pas laisser d'hydrogène se répandre dans la pièce en cas de mauvais fonctionnement du montage ou de fuite. L'hydrogène étant léger, il s'amasserait au niveau du plafond de la pièce. Le danger est alors de ne pas s'en rendre compte suffisamment rapidement. Au-delà d'une certaine quantité présente dans un volume donné (donner l'info sur le point flash ou d'explosion), une explosion peut se produire. Il faut limiter au maximum la quantité d'hydrogène qui s'échapperait du montage pour éviter de nous mettre en danger, mais aussi de faire se déclencher le capteur d'hydrogène présent dans la pièce de travail, car cela ferait évacuer l'intégralité de l'Institut Jean Lamour et pourrait nous faire exclure du laboratoire à cause de notre projet qui serait alors jugé trop dangereux.

### Critère de praticité :

Le châssis doit être suffisamment large pour pouvoir y installer une tuyère permettant de diriger les flux d'air réfrigérant sur la pile de manière homogène. Il doit avoir une profondeur raisonnable afin de pouvoir y installer notre matériel et notre pile. Enfin, il doit être à hauteur d'homme afin de pouvoir y travailler sans être dans une position inconfortable, mais aussi pour pouvoir suspendre du matériel (la pile en particulier), ce qui est plus pratique pour faire les branchements. Nous avons souhaité un châssis mobile, avec des vitres non opaques pour pouvoir observer aisément le système expérimental en cours de fonctionnement. Nous y avons installé deux fenêtres pour avoir accès à l'intérieur du châssis.

La construction du châssis s'est déroulée en plusieurs temps. Nous avons d'abord commandé tout le matériel nécessaire :

- 12 profilés en aluminium 40x40x3000 mm<sup>3</sup>
- 4 raccords cubiques tridimensionnels adaptés
- 8 raccords cubiques bidimensionnels adaptés
- 28 vis fraisées utilisées avec les raccords cubiques
- 8+8+4+4 ? Raccords triangulaires adaptés, avec 2 prisonniers et 2 vis par raccord
- 2 roues avec freins et 2 roues sans freins
- 3 plaques de plexiglas
- 1 plaque en plexiglas plombé

Nous avons ensuite découpé les profilés en aluminium avec une scie circulaire pour obtenir :

- 4 profilés de 1800mm (hauteur du châssis)
- 6 profilés de 1500mm (largeur du châssis)
- 12 profilés de 800mm (profondeur du châssis)
- 4 profilés de 670mm (largeur des fenêtres)
- 4 profilés de 920mm (hauteur des fenêtres)

Il a fallu fileter les profilés pour pouvoir les assembler ensemble et construire le châssis, puis découper les vitres en plexiglas à une taille adaptée aux emplacements prévus. Enfin, nous avons inséré les plaques dans le châssis, en mettant des joints au niveau des fenêtres pour en augmenter l'étanchéité.

*Joindre photo châssis*

## Modélisation de la tuyère et de l'écoulement à travers la pile avec SolidWorks

Pour assurer un refroidissement efficace et nécessaire au bon fonctionnement de la pile, nous avons choisi de créer une tuyère. Celle-ci a pour but d'homogénéiser le flux d'air arrivant sur la pile.

### Design de la tuyère :

Pour modéliser la tuyère, nous avons dû, dans un premier temps, nous former à la manipulation du logiciel SolidWorks. Nous avons procédé par essais-erreurs avec différents modèles de tuyère, pour en retenir une d'une forme relativement simple (joindre photo).

### Modélisation de l'écoulement :

L'utilisation de SolidWorks était aussi motivée par la possibilité d'utiliser le module Flow Simulation, qui permet d'étudier l'écoulement de l'air au travers de la tuyère et de la pile. Pour obtenir un résultat de modélisation le plus fiable possible, nous avons configuré le modèle au travers de divers paramètres :

- Le flux d'air est produit par deux (ou un ?) ventilateurs (donner la référence et les caractéristiques) ;
- Présence ou non d'un milieu poreux (donner la réf/les propriétés) permettant d'homogénéiser le flux d'air dans toute la tuyère ;
- Longueur de la tuyère (150 mm ou 200 mm) ;
- (Pertes thermiques au niveau de la pile ?) ;
- ...

Cas	Milieu poreux (MP)	Cond Tpile	Obj delta P
150base	avec	sans	sans
200base	avec	sans	sans
150sansMP	sans	sans	sans
200sansMP	sans	sans	sans
150Tpile	avec	avec	sans
200Tpile	avec	avec	sans
150deltaP	avec	sans	avec
200deltaP	avec	sans	avec
150tout	avec	avec	avec
200tout	avec	avec	avec

Tous les cas	Longueur tuyère	Maillage	Maillage local pile	Cond Patm sortie	Obj moy Pstat	Obj moy V 2
Valeur	150 ou 200	1	4	avec	avec	avec

## Travail sur une première pile à Hydrogène, prêtée par le LEMTA

Pour comprendre le fonctionnement – en pratique – d'une pile à combustible utilisant l'hydrogène, nous avons d'abord travaillé sur un modèle simplifié composé d'une seule cellule, prêté par le LEMTA.

La première étape de notre travail a été de la démonter, pour comprendre le fonctionnement et l'utilité de chaque composant. Elle est ainsi composée de 9 niveaux.

Niveau 1 : Interface utilisateur – pile. On peut y brancher les tuyaux pour les entrées et sorties de  $H_2$ ,  $O_2$  et fluide de refroidissement (air ou eau).

Niveau 2 : Plaque collectrice de courant.

Niveau 3 : Plaque séparatrice qui régule les flux ( $H_2$ ,  $O_2$ , fluide de refroidissement).

Niveau 4 : Plaque contenant sur la face supérieure un premier circuit de refroidissement, et qui abrite dans son épaisseur le circuit de .... Sur sa face inférieure se trouve la membrane/interface entre les deux cellules.

Niveau 5 : Plaque qui contient le circuit de  $H_2$

Niveau 6 : Plaque contenant sur la face inférieure un deuxième circuit de refroidissement.

Niveau 7 : Plaque séparatrice qui empêche les flux de passer (pour marquer la fin de la cellule).

Niveau 8 : Plaque collectrice de courant.

Niveau 9 : Fermeture de la pile.

A compléter.

## P&ID et BOM

Un **schéma tuyauterie et instrumentation** (en anglais *Piping and instrumentation diagram* ou *Process and instrumentation diagram*, abrégé P&ID) est un diagramme qui définit tous les éléments d'un procédé industriel. Il contient tous les composants inclus dans notre système ainsi que les flux de matière et d'énergie. Nous avons étudié deux cas (alimentation par électrolyseur (noté **A**) et alimentation par bouteille à hydrogène et détendeurs (noté **B**)) et nous avons séparé le circuit électrique et Arduino.

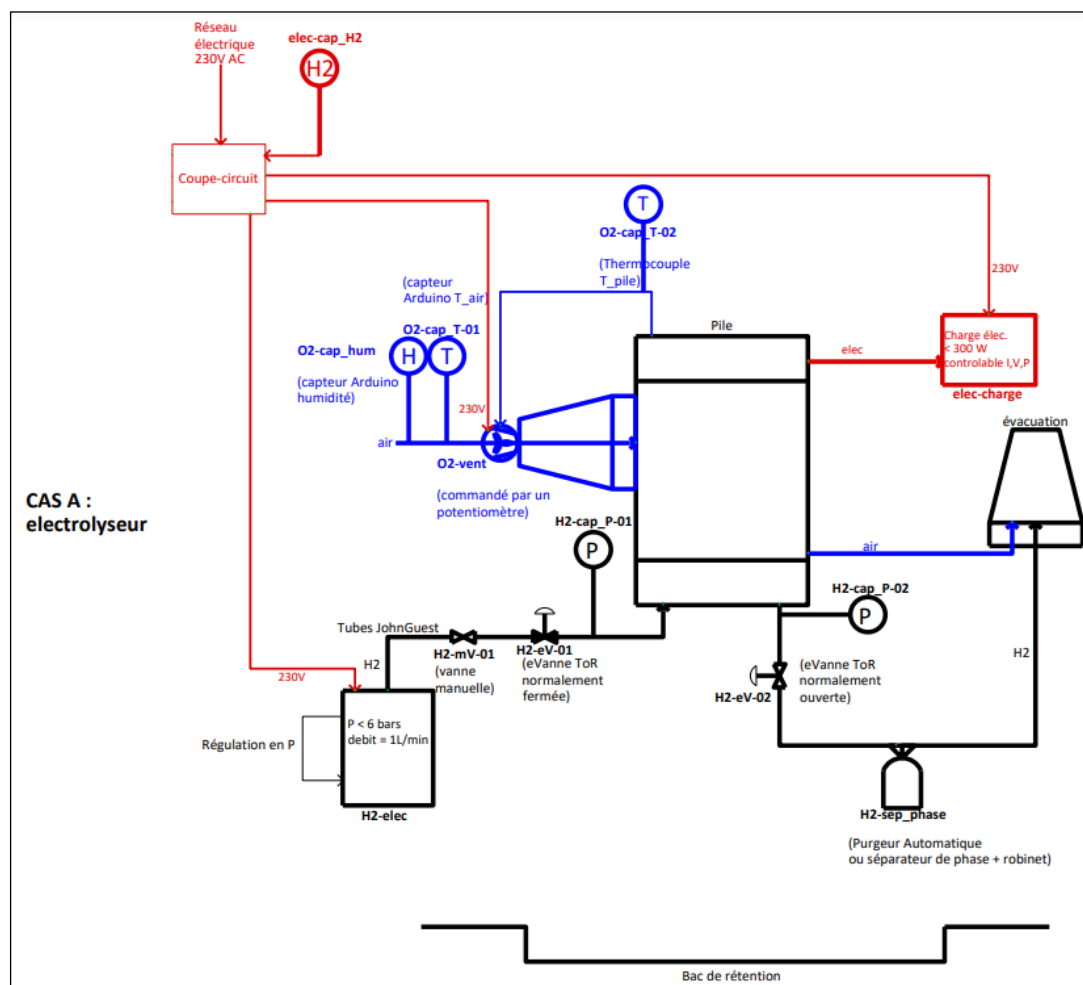
Le circuit "hydrogène" est dessiné en **noir** sur les diagrammes suivants. Dans le cas **A**, le circuit hydrogène est approvisionné par un électrolyseur alimenté en 230V, automatiquement régulé en pression et sortant un débit d'hydrogène fixé. Alors que dans le cas **B**, la source d'hydrogène est remplacée par une bouteille d'hydrogène suivie par des tubes en inox supportant la pression nécessaire puis par une série de deux détendeurs. Le premier détendeur est un détendeur haute pression, il a pour objectif de réduire la pression en sortie de bouteille (d'environ 200 bars) à une pression d'environ 10 bars. Le second détendeur est un détendeur basse pression, il se trouve en aval du précédent et il a pour objectif de diminuer la pression à 1,3 bars précisément pour alimenter la pile en H<sub>2</sub>. Ce dernier détendeur est régulé en pression à l'aide d'un capteur de pression approprié à l'hydrogène, placé entre le détendeur et la pile. Le reste du circuit hydrogène est le même dans les deux cas : des tubes flexibles et étanches sont utilisés pour contenir le flux d'hydrogène en basse pression. En amont de la pile, nous plaçons une vanne manuelle pour la sécurité manuelle. En cas de problème sur le circuit, celle-ci permet de ne pas endommager la pile en coupant l'apport d'hydrogène. Cette vanne est suivie par une électrovanne tout ou rien normalement fermée et commandable en 24V. Il est nécessaire qu'elle soit normalement fermée pour bloquer le circuit d'hydrogène en cas de coupure de courant. Enfin, entre cette électrovanne et la pile, se trouve un capteur de pression adapté à l'hydrogène permettant de vérifier que la pression demandée en entrée est bien celle attendue. Il permet aussi de réguler la pression d'hydrogène en entrée de la pile dans le cas **B** grâce à une boucle de rétroaction. En aval de la pile, se trouvent un capteur de pression, une électrovanne tout ou rien normalement ouverte ainsi qu'un séparateur de phase. Le capteur de pression sert à visualiser la dynamique de pression lors de la purge. L'électrovanne est normalement ouverte pour éviter une surpression anodique en cas de coupure de courant. Le séparateur de phase, composé d'un purgeur automatique et d'un robinet, permet de séparer les parties liquides et gazeuses entre la sortie de pile et l'évacuation. Placée au point le plus bas du circuit, celui-ci permet aussi d'éviter les bouchons formés par le liquide dans les tuyaux. Enfin, le gaz restant est jeté dans l'évacuation. Un circuit de circulation de l'hydrogène grâce à une pompe a été imaginé mais pas implanté.

Le circuit d'air est dessiné en **bleu** sur les diagrammes suivants. Il est le même dans les deux cas étudiés. En amont de la pile, se trouve une tuyère en plastique imprimée et contenant un diffuseur en mousse pour répandre le flux d'air de façon homogène sur le stack. Un ventilateur commandé en tension (230V) permet d'alimenter la pile en air en maîtrisant le flux d'air incident. Nous avons décidé d'ajouter deux capteurs Arduino d'humidité et de température autour du ventilateur pour récolter des données sur le refroidissement de la pile et sur l'environnement dans laquelle elle se trouve. En aval de la pile, il y a un thermocouple permettant de contrôler la température dans la pile en régulant la vitesse du ventilateur par rétroaction. Enfin, l'air en sortie de pile est aspiré par l'évacuation.

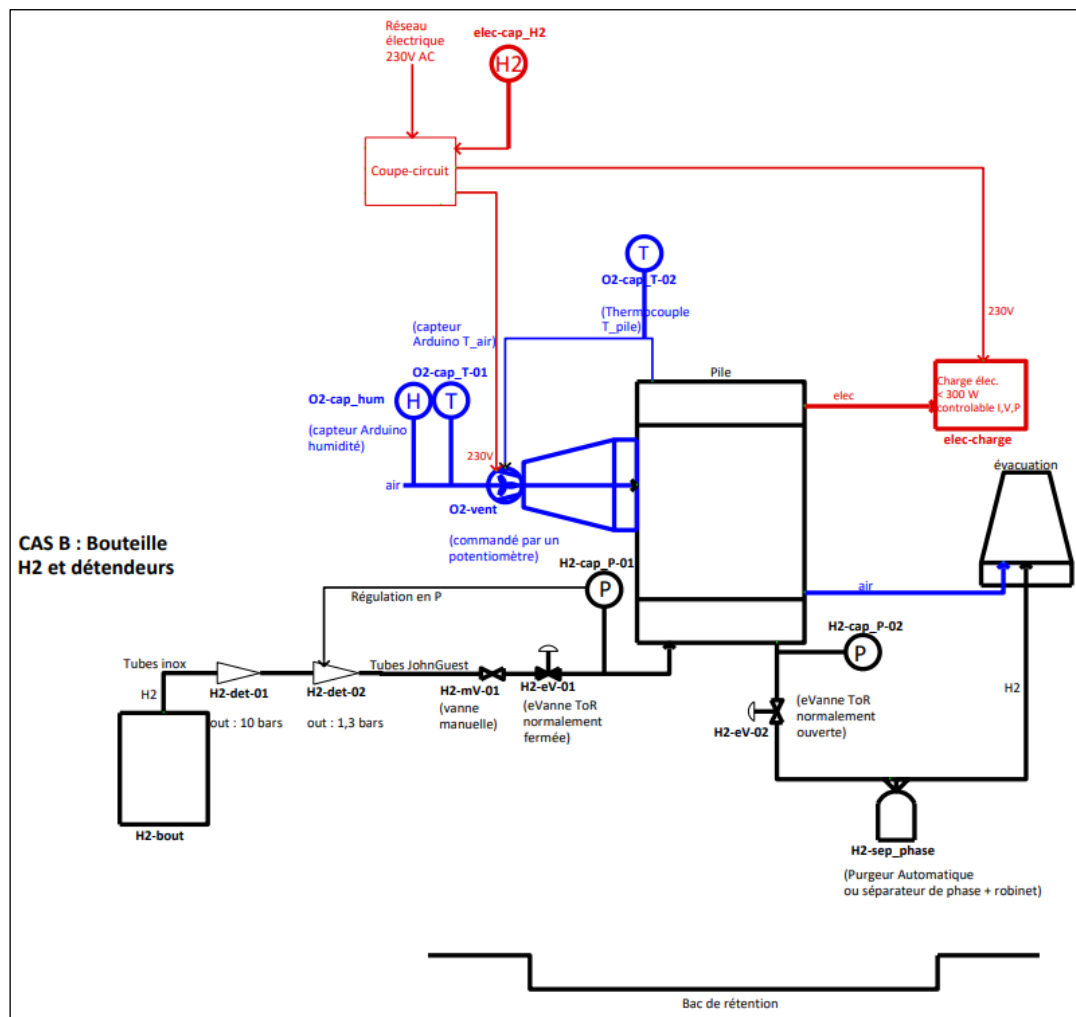
Le circuit électrique est dessiné en **rouge** sur les diagrammes suivants. Il est décrit précisément sur le P&ID circuit électrique et partiellement sur les cas A et B, en particulier les liens vers les capteurs

et électrovannes ainsi que les transformateurs ne sont pas représentés. La source électrique est le réseau électrique de l'IJL qui est en 230V 50Hz et dont on se rattache grâce à une prise secteur. Un coupe-circuit est ensuite placé pour des raisons de sécurité. Il s'ouvre si le taux d'hydrogène dans l'armoire dépasse un seuil fixé (en cas de fuite par exemple). Cette concentration d'hydrogène est mesurée par un capteur à hydrogène alimenté en 24V. Le circuit électrique permet ensuite d'alimenter l'électrolyseur (dans le cas **A**), le ventilateur et la charge électrique qui simule une charge de la batterie du robot en tirant des électrons. Le circuit contient aussi deux transformateurs, le premier permet de sortir du 24V et d'alimenter l'ensemble des capteurs et des électrovannes. Le second transformateur permet de sortir du 12V pour alimenter la carte Arduino MEGA. Le circuit Arduino est aussi dessiné en **rouge** et est décrit sur le P&ID circuit Arduino. L'ensemble des capteurs et multimètres fourni une mesure convertie en courant de 4 à 20 mA. Des relais permettent de récupérer ces mesures en entrée de la carte Arduino. Les données sont traitées et analysées par le microcontrôleur Arduino et envoyées vers un ordinateur pour la partie contrôle-commande du système. Les électrovannes sont commandables par le procédé inverse : les données de commande sont envoyées sur la carte Arduino qui va délivrer une tension dans un relais puis dans l'électrovanne pour mettre à jour sa position.

[Cas A : P&ID avec électrolyseur]

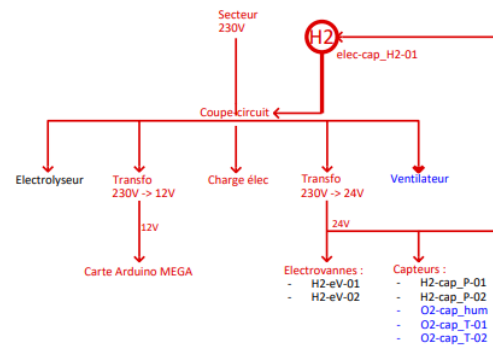


[Cas B : P&ID avec bouteille à hydrogène et détendeurs]



[P&ID circuit électrique et circuit Arduino]

## Circuit électrique



## Circuit Arduino

