

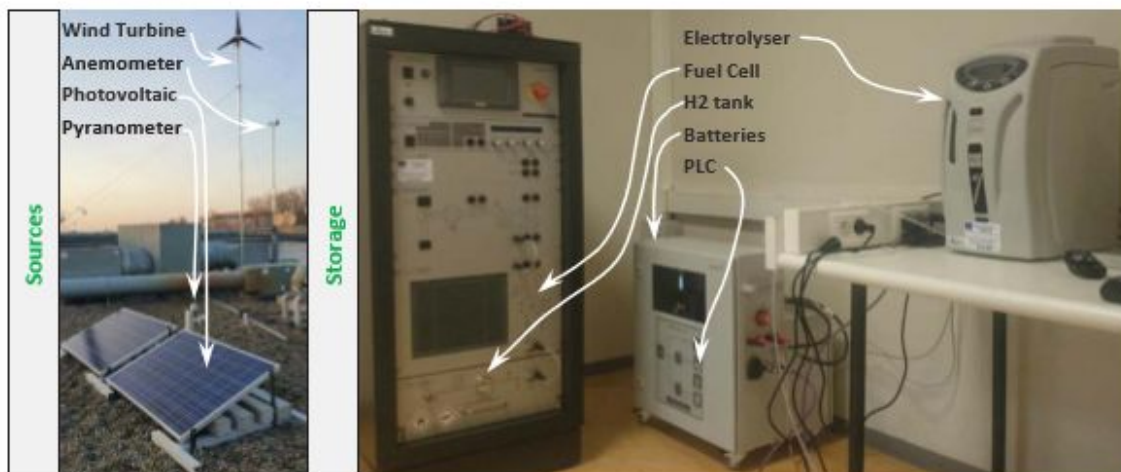
INGENIEUR POLYTECH'LILLE

Département IMA (Informatique, Microélectronique, Automatique)

Mémoire final de PFE

Système multi-sources de production d'hydrogène

François-Xavier Cockenpot



Introduction	3
I/ Présentation du projet	4
Contexte	4
Présentation du matériel	4
Cahier des charges	6
II/ Travail réalisé	8
Analyser l'existant	8
Rechercher des solutions	10
Implémenter les solutions	13
Identification et calibration des registres	13
Châssis CompactDAQ	15
Réalisation de l'interface de supervision	17
Surveillance des grandeurs mesurées	18
Ajout de fonctionnalités	20
Réalisation et commande du système ajouté	21
Rédaction du manuel d'utilisation	23
III/ Retour d'expérience	24
Résultat obtenu et bilan personnel	24
Difficultés rencontrées	24
Perspectives	25
Conclusion	26
Bibliographie	27
Annexe	28

Introduction

Ce projet se déroule dans le cadre de ma formation d'ingénieur Informatique Microélectronique et Automatique au sein de l'Ecole Polytechnique Universitaire de Lille.

Lors de cette formation, j'ai l'occasion de réaliser un projet de fin d'étude. J'ai choisi de travailler sur un système multi-sources de production d'hydrogène. L'objectif étant de réaliser une commande et une supervision de ce système. Plusieurs raisons m'ont poussé à prendre ce sujet. Tout d'abord, la supervision est aujourd'hui une compétence très recherchée par les entreprises. Ce projet est donc l'occasion de m'améliorer dans ce domaine. De plus, il me donnera l'occasion de travailler sur un système utilisant des énergies renouvelables telles que l'éolien et le photovoltaïque qui sont aujourd'hui au coeur de la transition énergétique nécessaire à la sauvegarde de notre planète.

Ce projet va me permettre de mettre en pratique de nombreuses compétences vues au cours de ma formation notamment autour de l'informatique et de l'électronique. La programmation se fera sous Labview.

Ce rapport apparaît dans le cadre de ce projet de fin d'études afin de rendre compte, au terme des 3 mois alloués, du travail accompli. Ainsi, plusieurs points seront abordés dans ce rapport, comme le cahier des charges, le travail effectué, les difficultés rencontrées ou encore les perspectives d'amélioration du projet. Une conclusion faisant la synthèse de ce dossier clôturera ce rapport.

I/ Présentation du projet

a) Contexte

La création d'énergie verte est un enjeu majeur de nos jours. En effet, nous avons aujourd'hui besoin de plus en plus d'énergie et notre système actuel basé sur les énergies fossiles n'est plus viable. La transition énergétique est nécessaire et obligatoire pour le bien de générations futures.

L'éolien et le solaire sont des sources d'énergies inépuisables. Elles ne sont cependant pas disponibles à la carte. Il faut donc développer des moyens de stockage pour ces énergies.

L'université a fait l'acquisition d'un système multi-sources de création d'hydrogène. Ce système est basé sur une production d'énergie photovoltaïque et éolien. Ce travail s'inscrit dans le projet européen "Electrons to high value Chemical products (E2C)".

b) Présentation du matériel

L'université a acquis en fin d'année 2016 une plate-forme technologique permettant d'illustrer des enseignements dans le domaine des énergies propres. Elle a été réalisée par l'entreprise Heliocentris. Cette plateforme est constituée d'une éolienne, de deux panneaux photovoltaïques, d'un électrolyseur, d'une unité de stockage de l'hydrogène. Une pile à combustible a également été achetée (Cf Image 1). L'idée est d'utiliser l'énergie produite par les sources renouvelables lorsqu'elles sont disponibles pour produire de l'hydrogène à partir de l'électrolyse de l'eau puis de réutiliser ultérieurement cet hydrogène pour produire de l'électricité via la pile à combustible, ceci permettant de pallier l'intermittence des sources primaires. L'utilisation de la pile à combustible fera l'objet d'un projet dans les années futures.

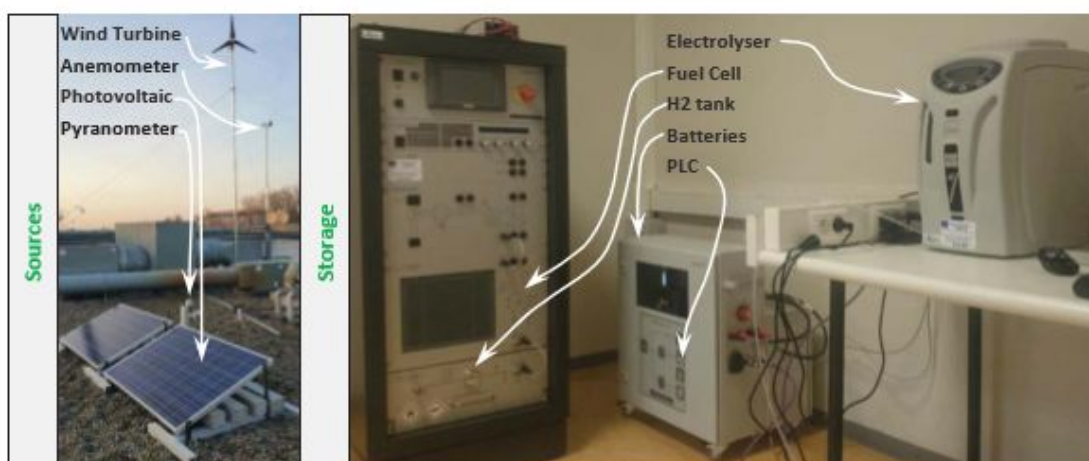


Image 1 : Système multi-sources de production d'hydrogène

Je vais ici vous présenter le système de manière plus détaillée.

L'armoire de commande :

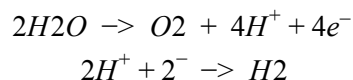
Elle est composée d'un automate programmable industriel (API ou PLC) Beckhoff. Cet API est accompagné de cartes d'entrées de différents types (courant, tension, PT100 pour les températures). On trouve dans cette armoire les capteurs de tension et de courant, les batteries du système et l'onduleur + transformateur de tension permettant d'avoir une sortie 230V 50Hz.

Des fiches sont présentes sur le côté permettant de relier les panneaux photovoltaïques et l'éolienne au système. Un switch présent sur le côté permet également de mettre l'automate dans différents mode :

- OFF
- Charge : On recharge uniquement les batteries sans mettre en marche l'API.
- Output : L'automate s'allume. Selon le fonctionnement de l'automate, la sortie 230V peut être activée ou non. Les batteries ne sont pas en charges.
- Charge & Output : Même fonctionnement que Output avec la possibilité de charger les batteries.

L'électrolyseur :

L'électrolyseur permet de stocker l'énergie électrique sous forme de d'hydrure métallique, le dihydrogène grâce à une réaction chimique. Les équations de réactions chimiques ayant lieu dans l'électrolyseur sont les suivantes :



On trouve donc dans cet électrolyseur un réservoir d'eau permettant la création de dihydrogène et un élément de stockage de celui ci, une bouteille.

L'électrolyseur est relié à l'armoire de commande grâce à un câble RS232. Il peut être relié électriquement à l'armoire ou au secteur.

Les sources d'énergie renouvelables :

On trouve sur le toit de l'université deux panneaux photovoltaïques et une éolienne. La gestion de ceux ci est réalisée en interne, que ce soit le MPPT (Maximum Power Point Tracking) des panneaux photovoltaïques et de l'éolienne ou la mise en route et l'arrêt en cas de vent trop violent de l'éolienne. Ils sont tous les deux reliés à l'armoire de commande.

Différents capteurs sont disponibles. Nous avons pour les panneaux photovoltaïques un capteur de radiation solaire et un capteur de température. Il nous permet de récupérer l'énergie disponible par mètre carré (W/m²). Pour l'éolienne, deux capteurs ont été ajoutés au système existant. Un anémomètre permet de récupérer la vitesse du vent. Il nous renseigne également du sens du vent. L'éolienne n'étant pas fixe, cela n'a pas une très grande importance ici.

Un ordinateur :

Un exécutable a été fourni par la société ayant réalisé le système. On trouve sur cet exécutable la visualisation des différents capteurs et la possibilité de commander l'automate manuellement. Cet ordinateur est relié en ethernet à un switch, lui même raccordé à l'automate.

Un Châssis National Instruments CompactDAQ :

Ce châssis comporte une carte d'entrée sur laquelle sont branchés les capteurs ajoutés au système, les capteurs pour l'éolienne. Il est relié en USB à l'ordinateur.

c) Cahier des charges

Comme pour tout projet, il faut définir un cahier des charges permettant d'identifier le projet et toutes ses spécificités. Pour cela, je me sers de l'analyse fonctionnelle, une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur.

Pour le projet, un diagramme 'FAST' (Cf Image 2) et un diagramme de GANTT ont été réalisés.

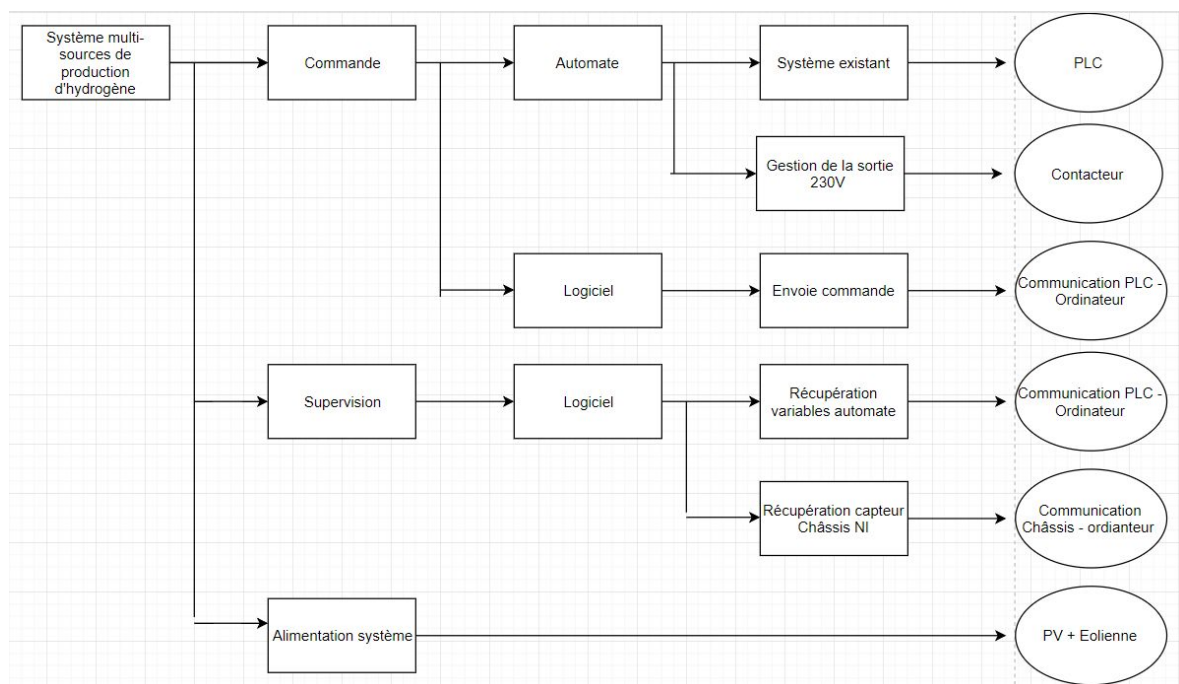


Image 2 : Diagramme FAST

Une partie importante du matériel nécessaire était déjà présent. J'ai cependant ajouté une gestion supplémentaire de la sortie disponible sur l'armoire de commande. En effet, on dispose actuellement d'une seule prise de sortie 230V. Après réflexion sur le projet global, la possibilité de brancher la pile à combustible en plus de l'électrolyseur est quelque chose d'intéressant puisqu'il permet de regrouper l'alimentation et la gestion de tout le système sur l'armoire de commande prévue uniquement pour l'électrolyseur.

Une fois le projet bien compris, un planning prévisionnel ayant pour but de définir l'enchaînement des tâches est réalisé.

Cela débutera donc avec les tâches préliminaires puis la commande et la supervision.

La réalisation de la commande et de la supervision se feront en même temps. En effet, l'un ne peut aller sans l'autre. La rédaction des livrables peut être étalée durant le projet comme la rédaction du wiki. Le projet se conclura avec la rédaction d'un rapport.

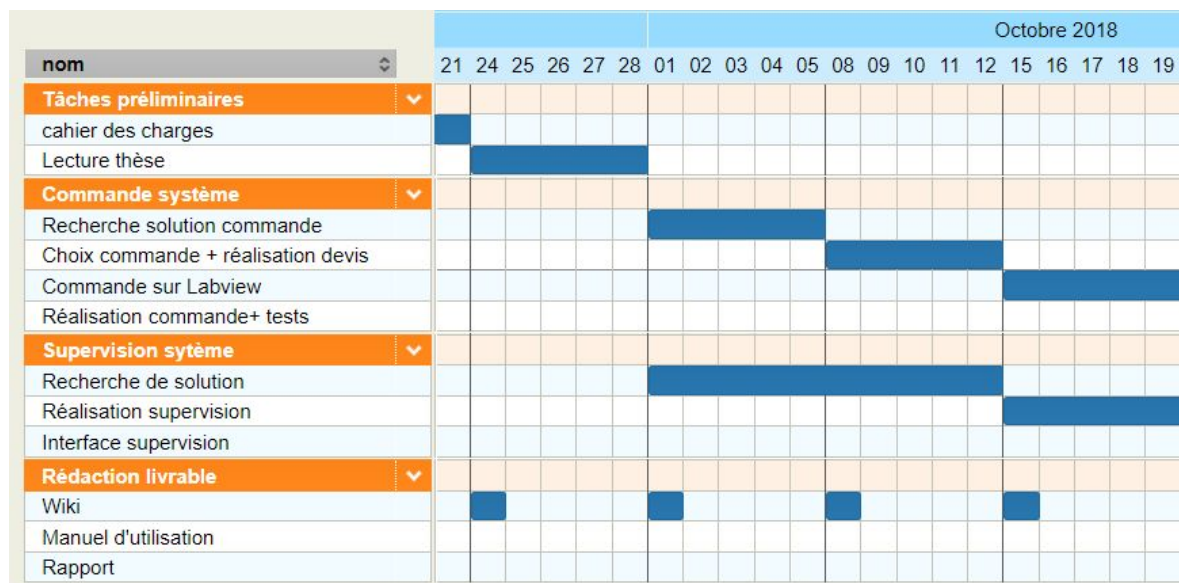


Image 3 : Extrait du diagramme de GANTT

Une mise à jour de ce tableau est possible selon les aléas du projet.

Le projet doit être terminé pour le 19 décembre 2018.

II/ Travail réalisé

a) Analyser l'existant

La première tâche de ce projet est d'analyser ce qui existe avant même le commencement de celui-ci.

Du point de vue commande, un exécutable (Cf Image 4) a été fourni par la société ayant vendu le système.

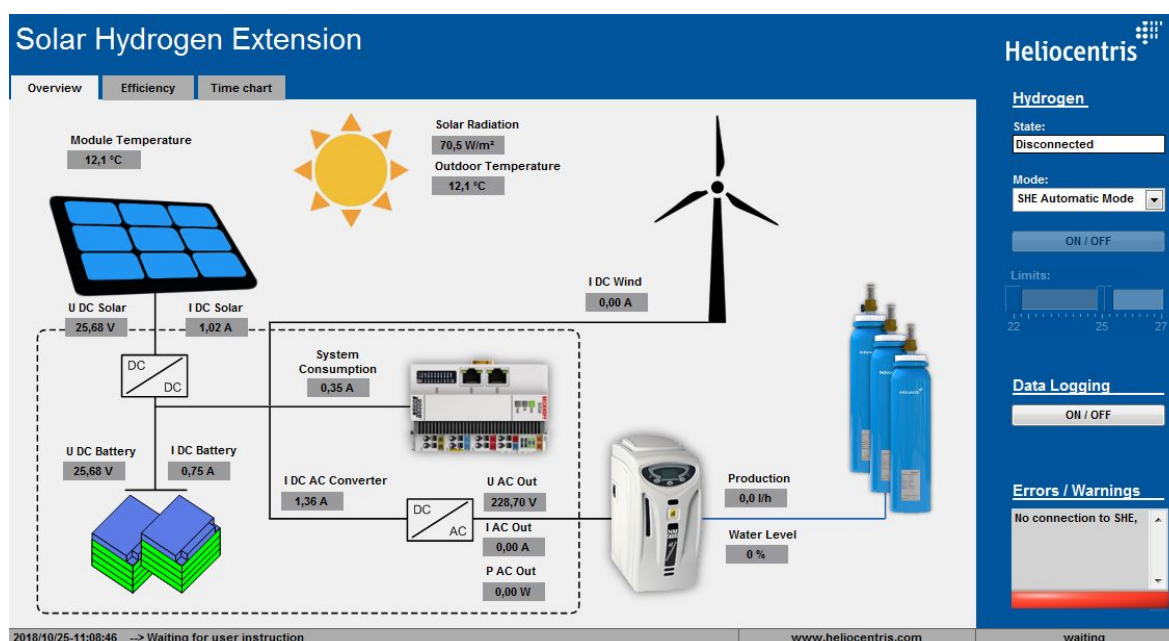


Image 4 : Exécutable existant

On retrouve sur cet exécutable la visualisation des différentes variables, la possibilité de contrôler manuellement l'électrolyseur et de visualiser les états du système.

Il n'y a, cependant, aucun moyen de compléter cet exécutable. Le rajout postérieur de capteurs pour l'éolienne ne peut en aucun cas apparaître sur celui-ci. De même qu'une gestion automatisée de l'électrolyseur.

Si l'on souhaite gérer un système global utilisant la pile à combustible en plus de l'électrolyseur, il faut ici utiliser 2 exécutables différents n'ayant pas de partage de variables. Ce projet s'inscrivant dans un projet européen ne portant pas uniquement sur l'électrolyseur, il est important de penser à une solution pouvant être complétée par la suite.

Une thèse réalisée l'année passée sur le système complet par Ibrahim Abdallah, m'a permis de comprendre le fonctionnement du système. Le fonctionnement décrit dans la thèse est un fonctionnement global, ne correspondant pas à l'état du système actuel. Le système actuel n'est pas relié au réseau électrique. Aucune charge n'est actuellement présente sur le système pour simuler une utilisation continue de 100W. Cela fera l'objet de futurs projets permettant de compléter la thèse et le projet que je réalise.

Voici les différents modes de fonctionnement :

- Production < 100W (insuffisance énergétique)

L'électricité produite par les panneaux solaires et l'éolienne ne suffit pas à combler l'utilisation de 100W. Le complément d'énergie peut être fourni par d'autres moyens. Soit de l'hydrogène est présent dans les réservoirs et il est possible d'utiliser la pile à combustible pour générer le complément, soit il est possible d'utiliser de l'énergie stockée dans la batterie. Si cela n'est pas suffisant ou si les deux moyens de stockage sont vides, le système va alors faire appel au réseau électrique pour fournir l'énergie suffisante.

- Production > 200W (Production d'hydrogène)

L'électricité produite est largement suffisante pour combler le besoin. Nous allons donc dans ce cas là, utiliser le surplus d'énergie pour créer de l'hydrogène ou la stocker directement dans la batterie. Une recherche sur les conditions d'utilisation de l'électrolyseur devra être faite (condition de tension minimum etc). Une surveillance devra être réalisée sur le stockage de l'hydrogène, il ne faut en aucun cas dépasser une pression supérieure à 10 Bar dans les réservoirs. Dans le cas où tous les réservoirs (batterie ou réservoirs d'hydrogène) sont pleins, le surplus est rejeté sur le réseau.

- 100W < production < 200W

Les deux moyens de production sont ici suffisants pour satisfaire le besoin. Nous n'avons donc pas le besoin d'utiliser l'énergie stockée ou le réseau. Il y a ici 2 cas. Soit l'état précédent était le cas d'insuffisance énergétique, lorsque l'on passe dans ce mode ci, nous allons uniquement remplir la batterie mais nous ne créerons pas d'hydrogène. Soit l'état précédent était la production d'hydrogène et le fonctionnement reste le même.

La partie me concernant dans la description des modes de fonctionnement voulus est la partie concernant la mise en route de l'électrolyseur.

La thèse étant centrée sur la description du système à l'aide de Bond-Graph de manière essentiellement théorique, aucune piste a été développée concernant la commande et la supervision de la production d'hydrogène.

b) Rechercher des solutions

La recherche de solution a été nécessaire sur les différents aspects du projet. En effet, que ce soit pour la commande ou la supervision, beaucoup de recherches ont été nécessaires avec plus ou moins de succès.

On parlera tout d'abord de l'automate présent dans l'armoire de commande.

Etait-il possible de remplacer celui ci par un autre automate ?

Cette question fût sans réponse pendant le début du projet. Il était en effet possible de trouver des automates capables de réaliser ce que l'automate Beckhoff présent dans l'armoire faisait avec des cartes d'entrées/sorties identiques. Le choix s'était porté sur le châssis CompactDAQ déjà présent dans la salle. La possibilité d'utiliser une carte DSpace avait été envisagée. Cependant, utiliser une technologie de cet "âge" dans le cadre d'un projet européen qui sera peut-être présenté dans le futur n'est pas une bonne idée.

Le remplacement de l'API par un autre API est cependant soumis à une condition. La récupération du programme présent actuellement dans l'automate. En effet, la communication entre l'automate et l'électrolyseur n'est pas décrite dans les datasheet fournies. Tous les éléments étant réalisés par leur soin, aucune autre datasheet pourrait me permettre de récupérer les informations nécessaires à la réalisation de la communication entre un autre automate et l'électrolyseur.

Deux solutions étaient possibles pour la récupération de ce programme. Demander directement à la société Heliocentris le programme dans l'automate. L'autre solution était de récupérer le programme de l'automate manuellement.

Un mail a été envoyé à Heliocentris. Pendant ce temps là, j'ai essayé de mon côté de récupérer le programme de l'automate. Pour réaliser cela, j'ai téléchargé le logiciel de programmation TwinCat permettant de programmer les automates Beckhoff. N'ayant quasiment jamais utilisé ce logiciel, j'ai tout d'abord cherché par moi même puis sur internet comment récupérer le programme présent dans un automate. Il fallait faire très attention de ne pas faire une mauvaise manipulation qui aurait écrasé le programme présent sur l'automate.

Pendant ce temps, Heliocentris a répondu à ma requête par l'envoi des documents trouvables sur internet mais pas le programme automate. Il ne voulait pas envoyer le programme. Il s'est également avéré que l'automate ne permettait pas la récupération du programme présent dans celui-ci. Les industries bloquent la plupart du temps l'accès à leur programme ; ne pas le faire correspondrait à laisser leur travail en libre accès. La sécurité du matériel et plus précisément de l'électrolyseur faisait que l'automate présent dans le système n'était pas remplaçable.

La solution a donc été de conserver l'automate présent dans l'armoire de commande et d'utiliser le châssis NI CompactDAQ pour compléter le système existant. Plusieurs emplacements de cartes sont disponibles sur ce châssis ce qui permet des améliorations futures.

Un autre axe de recherche a eu lieu dans le même temps concernant la commande d'éléments supplémentaires. Ces éléments permettraient une plus grande souplesse dans la commande du système. Un schéma intéressant avait été trouvé dans la thèse lue au début du projet.

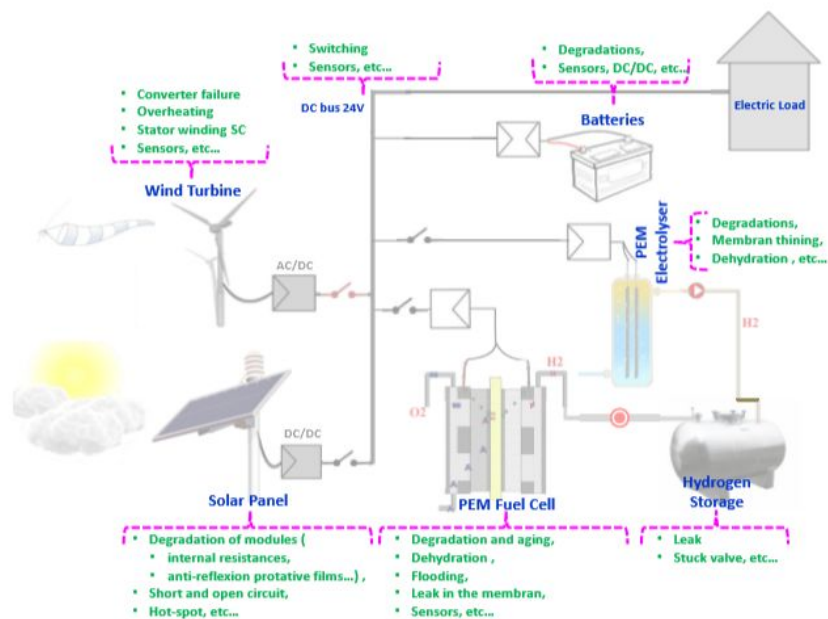


Image 5 : Schéma d'ajout de switch

On peut voir sur ce schéma (Cf Image 5) le positionnement d'interrupteurs permettant de séparer les différents éléments du système. Le système ci-dessus est le système pas actuel mais envisageable par la suite. Ce qui m'intéresse ici était donc de trouver une solution permettant de réaliser cela. Le système décrit ci-dessus diffère légèrement des modes de fonctionnement décrit. En effet, ce système ne serait pas relié au réseau électrique et serait un système entièrement autonome en énergie.

La première idée fût de respecter strictement le positionnement des interrupteurs. Une recherche a été réalisée. L'utilisation de contacteurs commandés par une carte présente sur le châssis NI CompactDAQ permettait à première vue de réaliser cela. Après avoir parlé avec plusieurs personnes ayant des connaissances dans ce domaine, j'ai dû me rendre à l'évidence que l'utilisation de contacteurs sur un bus continu n'était pas une très bonne idée. La création d'arc électrique est problématique. Il est possible de réaliser une commande mais le temps imparti pour ce projet a limité mes choix.

La seconde idée était de restreindre cette commande. On pouvait précédemment séparer les panneaux photovoltaïques, l'éolienne, l'électrolyseur et la PAC. Après réflexion, séparer les panneaux et l'éolienne n'était pas un élément déterminant. Il est plus important de pouvoir contrôler l'électrolyseur et la PAC. Pour cela, l'idée de contrôler l'alimentation de l'élément m'est apparue plus évidente. L'électrolyseur nécessite une alimentation 230V 50hz, de même que le système de commande de la PAC. Une seule sortie était présente sur l'armoire de commande.

L'idée retenue est donc de dupliquer cette sortie et de la gérer via le programme de commande. La commande se fera à l'aide d'une carte de sortie présente dans le châssis NI CompactDAQ.

Le troisième axe de recherche a été la récupération et la transmission des données de l'automate pour réaliser la supervision et la commande. En effet, une fois le choix de garder l'automate, la problématique de communiquer avec automate a été posée.

Comment récupérer et contrôler les variables de l'automate sans savoir quelles sont les adresses des registres ni quelle communication utilisée pour les récupérer ?

Je savais qu'il était possible de le faire puisqu'un exécutable présent sur l'ordinateur permettait d'ores et déjà de superviser les variables automates et d'envoyer des ordres. De même que pour le programme automate, j'ai initialement demandé à Heliocentris de m'envoyer les différentes informations.

Après le premier refus de donner des informations, cette solution n'était clairement pas la bonne et avant même de recevoir un mail, j'ai tenté de trouver d'autres solutions.

La première était de tenter de récupérer ce qui pouvait se trouver derrière l'exécutable. Cependant, il est impossible de réaliser cela.

J'ai alors eu l'idée de faire de la rétro-ingénierie. Etant donné que l'exécutable fourni communique avec l'automate, si l'on met un sniffer réseau sur le port ethernet communicant, il est alors possible de voir ce qui passe sur ce port. J'ai donc téléchargé le logiciel Wireshark. Une fois le logiciel installé et en marche, j'ai lancé l'exécutable Heliocentris et observé les trames passantes. Cela m'a permis de découvrir que la communication utilisée était le modbus et de repérer les adresses des registres de l'automate.

Une fois toutes ces solutions retenues, il est devenu évident que la supervision et la commande allaient être réalisées sur Labview, logiciel également réalisé par National Instruments. En effet, que ce soit la communication avec le boîtier NI CompactDAQ ou la communication avec l'automate en modbus, l'utilisation de Labview permet de faire cela dans de très bonnes conditions avec des outils déjà présents.

c) Implémenter les solutions

Je développerai dans cette partie le travail réalisé en fonction des solutions choisies. Je commencerai par vous parler de la supervision et de la commande du système existant puis de la réalisation des devis, de la réalisation du système ajouté et de sa commande.

1) Identification et calibration des registres

La première étape a été de réaliser une communication Modbus à l'aide de Labview. L'étude des trames récupérées via Wireshark (Cf Image 6) m'a permis de configurer la communication.

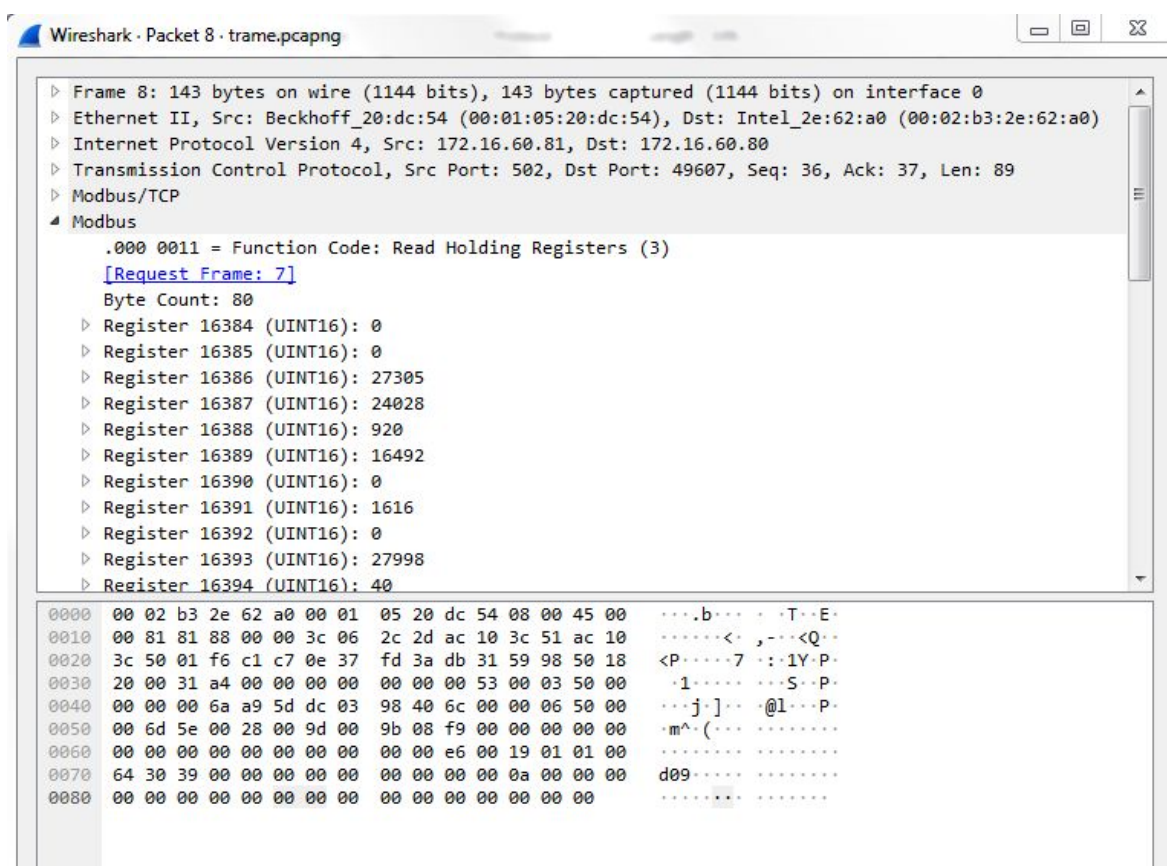


Image 6 : Capture d'une trame sur Wireshark

On peut également récupérer sur Wireshark le numéro d'identifiant de l'automate permettant la communication Modbus avec le bon élément du réseau. En plus des adresses, l'étude de la communication m'a permis d'identifier les types de requêtes émises. En effet, l'exécutable envoie des requêtes de lecture mais également des requêtes d'écriture permettant d'envoyer les ordres.

Une fois la communication mise en place sur Labview, le seul, mais pas des moindres, problème est que l'on reçoit la valeur des registres sans savoir à quoi cela correspond. L'identification des registres a été une étape longue et fastidieuse. Différents moyens ont été mis en oeuvre pour réaliser cela. Tout d'abord faire tourner Labview en visualisant les valeurs de registres et l'exécutable. Cela permet d'identifier les valeurs n'ayant comme calibration qu'un facteur de puissance 10.

Cela m'a permis d'identifier une partie des registres de courant, de tension etc... Un autre moyen a été de réaliser toutes les commandes possibles sur l'exécutable en gardant toujours les deux logiciels allumés. Cela m'a permis de voir quel registre varier selon les ordres émis.

J'ai également pu découvrir les simulateurs d'esclave Modbus (Cf Image 7). J'ai débranché l'automate du switch auquel il était relié et branché mon ordinateur. Sur mon ordinateur se trouvait le simulateur réglé avec les paramètres de l'automate (adresse ip sur l'ordinateur, numéro d'esclave sur le logiciel etc).

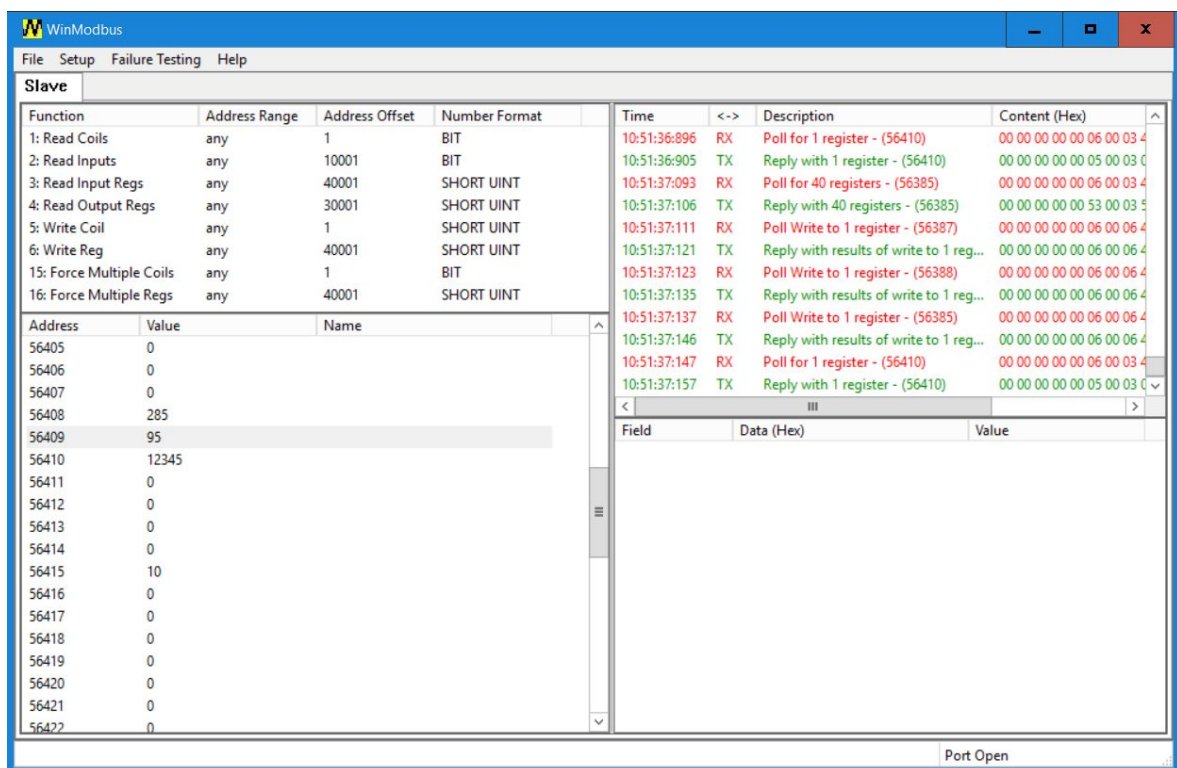


Image 7 : Simulateur d'esclave Modbus

Une fois l'exécutable initial en marche, j'ai modifié la valeur des registres sur mon simulateur et observé sur l'exécutable quelles variables changeaient. Cela m'a permis d'en identifier certaines.

La limite de toutes ces solutions est que les registres ne variant pas et n'apparaissant pas sur l'exécutable ne sont pas identifiables. N'ayant aucun accès à l'automate, je ne sais pas si ces variables ne sont juste pas utiliser ou si malgré le nombre de test réalisé, je n'ai pas réussi à les activer. Cette armoire de commande étant fournie uniquement avec l'électrolyseur, une fois tous les tests possibles réalisés sur celui-ci, je n'avais pu aucun moyen de récupérer d'autres informations.

J'ai alors réalisé un tableau (Cf Image 8) listant tous les registres avec leurs variables correspondantes et la calibration de ceux-ci. On peut effectivement voir qu'une partie des registres n'est pas décrit.

Une fois les calibrations réalisées sur Labview, j'ai pu mettre en marche les deux logiciels en même temps et vérifier la concordance des différentes variables.

	adresse registre	Variable	Calibration / Signification
0	16384	Mode	0 → SHE Auto ; 1 → off ; 3 → pc auto mode ; 5 → PC manual mode
1	16385		
2	16386	limite haute	x1000
3	16387	limite basse	x1000
4	16388	I DC solar	x1000
5	16389	I DC battery	0,0033 x - 53,73
6	16390	I DC Wind	x1000
7	16391	Solar radiation	x0,0397
8	16392		
9	16393	U DC Battery + U DC solar	0,0009156
10	16394		
11	16395	Out Door Température	x10
12	16396	Module température	x10
13	16397	U AC OUT	x10
14	16398	I AC OUT	x200
15	16399	P AC OUT	x2
16	16400	state hydrogen	1 reach internal pressur / 2 Ready / 3 reach external pressure / 5 Normal flow
17	16401	Error / warning	
18	16402		
19	16403	production	x0,3333
20	16404	water level	
21	16405		
22	16406		
23	16407		
24	16408		
25	16409	test de communication	12345
26	16410	factor m calibration	
27	16411	factor m calibration	
28	16412	offset n calibratio	
29	16413	offset n calibratio	
30	16414	choix de variable de calibration	
31	16415	variable pour lancement calibration	
32	16416	1 quand electrolyser en marche	
33	16417		
34	16418		

Image 8 : Tableau des registres

2) Châssis CompactDAQ

J'ai ensuite réalisé la communication avec le Châssis CompactDAQ permettant des récupérer les deux variables que l'on souhaite ajouter à la supervision.

The screenshot shows a LabVIEW block diagram for a CompactDAQ card. The diagram includes a 'Read value on the CompactDAQ card' label, a 'DAQ Assistant Read' block, a 'Select Signals' block, a 'Select Signals2' block, and two output indicators labeled 'Speed Wind' and 'Direction Wind'. The 'Speed Wind' indicator shows a value of 123, and the 'Direction Wind' indicator shows a value of 123. The diagram also features a '0: No Error' label and a '3750' value.

Les capteurs étant des 4..20mA, on calibre selon les caractéristiques des capteurs et on obtient directement les valeurs de variables.

Je teste en haut le retour d'état de la fonction, cela permet de savoir si la communication avec la carte d'entrée est bien réalisée.

La cadre (Cf Image 10) exécuté va dépendre de la production d'énergie actuelle mais aussi de l'état du système. Si les batteries sont sous un certain seuil ou si la bouteille de stockage est pleine, cela bloquera le système.

On va mettre dans la variable Management Convertir une valeur déterminée. Lors de la reconnaissance des registres, on peut voir dans le tableau que la valeur "0" allume l'onduleur et que le "1" va l'éteindre. Ces valeurs sont ensuite transmises à l'automate via la communication Modbus. Cette communication a lieu continuellement alternant la lecture des registres et l'écriture des variables de commande. On peut voir dans l'image 10 le contrôle des contacteurs. Cette partie sera développée par la suite.

3) Réalisation de l'interface de supervision

La partie suivante concerne la réalisation d'une interface de supervision. Cette interface (Cf Image 11) a été réalisée et continuellement améliorée suite à l'ajout d'options régulières.

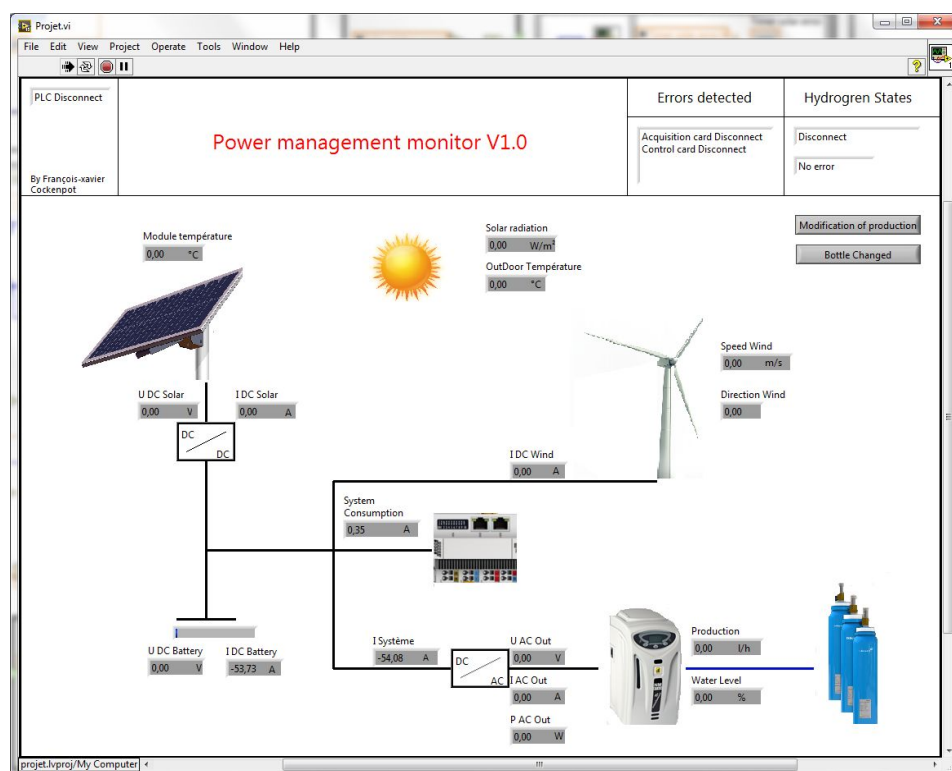


Image 11 : Interface Labview finale

On retrouve sur cette interface toutes les données voulues. Un nombre important d'informations supplémentaires sont disponibles sur cette interface. Je vais maintenant vous décrire ces informations.

4) Surveillance des grandeurs mesurées

Tout d'abord, une surveillance a été réalisée sur la production d'énergie via les panneaux solaires et l'éolienne.

La surveillance de la production des panneaux solaires est réalisé en calculant l'énergie théorique produite en fonction du capteur d'irradiation.

$$E = S * r * R * Cp$$

avec "S" la surface, "r" le rendement, "R" la radiation solaire et "Cp" coefficient de perte. Ces informations étaient disponibles dans les datasheet livrées avec le matériel. Ce calcul fournit l'énergie théorique instantanée.

Une fois cette énergie théorique déterminée, on la divise par la tension actuelle dans la système et on trouve le courant théorique sortant des panneaux photovoltaïques.

La surveillance de la production de l'éolienne a été plus difficile à réaliser car nous manquions d'informations. Un calcul théorique en prenant en compte toutes les caractéristiques de l'éolienne n'était pas possible. On peut cependant trouver sur le site de production de l'éolienne la courbe de production d'énergie théorique en fonction de la vitesse du vent. Je savais d'après mes souvenirs de mes cours de 4ème année qu'il était possible de récupérer l'équation d'une courbe sur Matlab. J'ai contacté l'entreprise ayant construit l'éolienne qui m'a transmis, avec réticence, un tableau de valeurs de production en fonction de la vitesse du vent. Une fois réalisé sur Matlab, l'utilisation de la fonction Polyfit m'a permis d'obtenir le polynôme correspond à la courbe tracé (Cf Image 12).

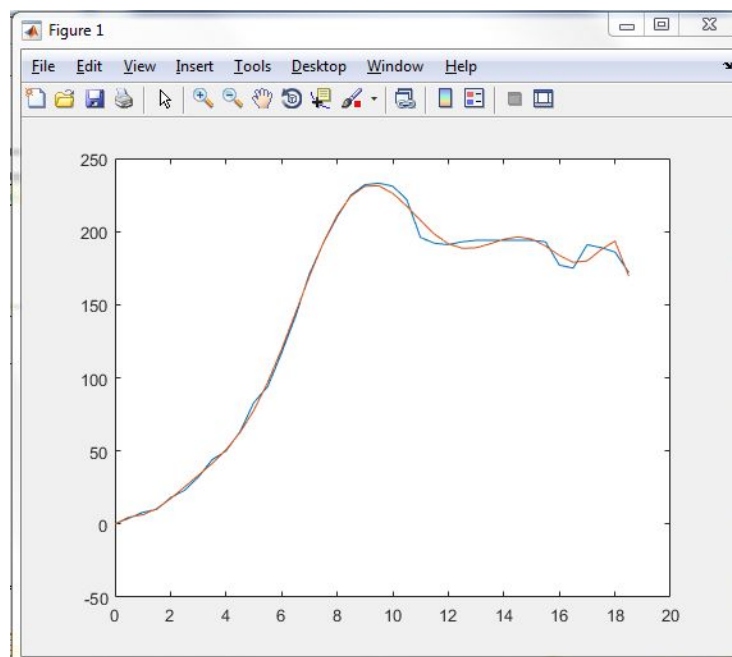


Image 12 : Courbe fournis par l'entreprise en bleu - courbe obtenu via le polynôme en orange

Le polynôme nécessaire pour tracer cette courbe est du 10ème ordre. Il est difficile d'obtenir un polynôme plus précis. Une fois ce polynôme obtenu, on trouve dans Labview une fonction permettant de faire appel à Matlab (Cf Image 13). On va donc utiliser cette fonction pour récupérer l'énergie théorique produite.

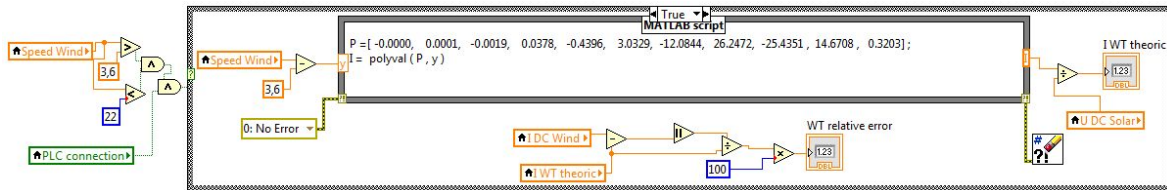


Image 13 : Fonction Matlab Script

On trouve dans cette fonction les lignes que l'on écrirait dans Matlab. Ayant déjà effectué le script Matlab pour récupérer le polynôme, je le mets dans le script et récupère la valeur de l'énergie théorique produite. La fonction est réalisée uniquement quand l'éolienne est en fonctionnement. Cela correspond à une vitesse de vent comprise entre 3,6m/s et 22m/s.

Une erreur relative est alors calculé pour les panneaux photovoltaïques et pour l'éolienne.

$$\text{Erreur relative} = (V_{th} - V_{réel}) / V_{th}$$

Cette erreur est scrutée constamment.

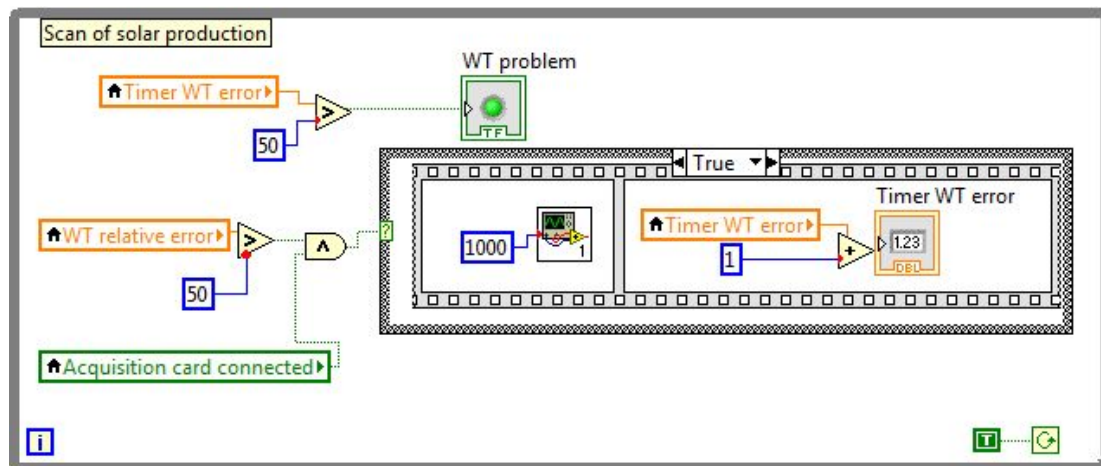


Image 14 : Détection d'erreur

On détecte ici (Cf Image 14) une erreur relative supérieure à 50% pendant une durée de 50 secondes consécutives. Si cela arrive, un message d'information est affiché dans l'encadré "Errors detected".

Toutes les détections d'erreurs concernant les variables ont été réalisées de cette manière.

Les erreurs détectables sont :

- Panneaux photovoltaïques
- Eolienne
- Batterie bas niveau
- Bouteille H2 pleine
- Niveau d'eau faible dans l'électrolyseur

La non connexion des cartes présentes dans le châssis CompactDAQ s'affiche également à cet endroit.

On retrouve également sur l'interface final (image 11) l'état des différents éléments du système. La communication avec l'API est affichée en haut à gauche et l'état de l'électrolyseur en haut à droite. L'électrolyseur affiche son état de fonctionnement. 6 cas sont possibles :

- Disconnect
- Standby
- Internal reach pressure
- Ready
- External reach pressure
- Normal flow

Il est précisé si une alerte ou une erreur est présente sur l'électrolyseur. Une alerte n'affectera pas le fonctionnement du programme. Une erreur va mettre automatiquement l'électrolyseur en Standby. Il n'est cependant pas possible de récupérer le nom de l'erreur ou de l'alerte. Il faut obligatoirement aller voir l'écran de l'électrolyseur.

5) Ajout de fonctionnalités

L'option de modifier la production réelle d'énergie a été ajoutée. En effet, les conditions météorologiques font qu'il est possible que l'électrolyseur ne se mette pas en route pendant de longue période. Si l'on souhaite réaliser des tests sur l'électrolyseur, il est possible d'ajouter une valeur à la production réelle pour passer dans un autre mode de fonctionnement.

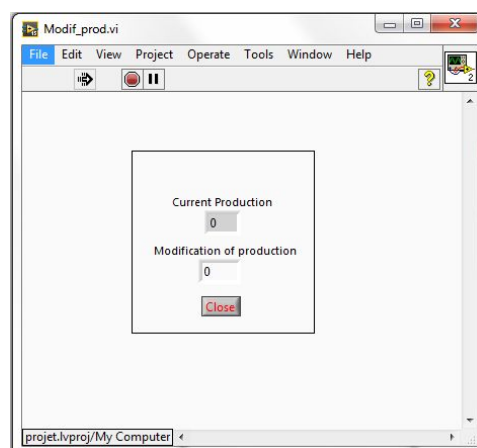


Image 15 : Fenêtre de modification de production

Le bouton présent sur l'interface fait appel au sous-vi présent ci-dessus (Cf Image 15). L'entrée de ce sous-vi est la production actuelle d'énergie. La consigne de modification de production est donnée en appuyant sur le bouton "close". Cette valeur est remise à 0 à chaque redémarrage.

Un bouton a également été ajouté pour signifier que la bouteille de dihydrogène a été changée lorsque celle ci est pleine. En effet, la détection d'une bouteille pleine de dihydrogène bloque la possibilité de mettre en route l'électrolyseur. L'appuie sur ce bouton a pour conséquence la suppression de l'erreur présente dans le cadre " Errors Detected ".

Labview offre également la possibilité de créer un exécutable pour son programme. L'exécutable fonctionne de la même manière que le programme réalisé.

L'exécutable créé ne donne aucune information sur ce que l'on peut trouver dans le Block diagram. Seul le " front" du programme est disponible. Dans un cadre commercial, cela permet de pouvoir fournir un exécutable sans donner toute la partie contrôle derrière. J'ai donc créé un exécutable car cela peut être suffisant pour réaliser la commande. Dans le cadre d'une poursuite de ce projet par un autre étudiant, cet exécutable n'est pas primordial mais je trouve intéressant de voir toutes les options que l'on peut avoir lors de sa création.

6) Réalisation et commande du système ajouté

Je vais maintenant vous décrire le travail réalisé concernant la réalisation de la partie commande ajoutée. Une fois les choix validés, la première étape a été de trouver les composants nécessaires à la réalisation de la commande.

Pour créer une seconde prise, j'ai utilisé des blocs de jonction, dispatchant les câbles d'alimentation sur deux contacteurs, ayant en sortie deux prises de courants modulaires. Les contacteurs sont contrôlés depuis une carte de sortie présente dans le châssis NI CompactDAQ. La carte de sortie possède une alimentation externe. C'est elle qui enclenche le contacteur. Le plus compliqué a été de trouver un contacteur commandable par une des cartes de sortie disponible pour le châssis CompactDAQ.

Une fois l'ensemble des composants trouvés sur internet, j'ai réalisé les devis chez les différents fournisseurs que sont Radiospare et National Instruments. Une fois tout le matériel réceptionné, j'ai pu réaliser le câblage (Cf Image 16). La carte de contrôle NI reçue est de type DSUB. J'ai donc pris un connecteur et soudé les différents câbles (alimentation, contacteur) sur ce connecteur. Celui ci est placé dans un boîtier pour éviter tout risque.

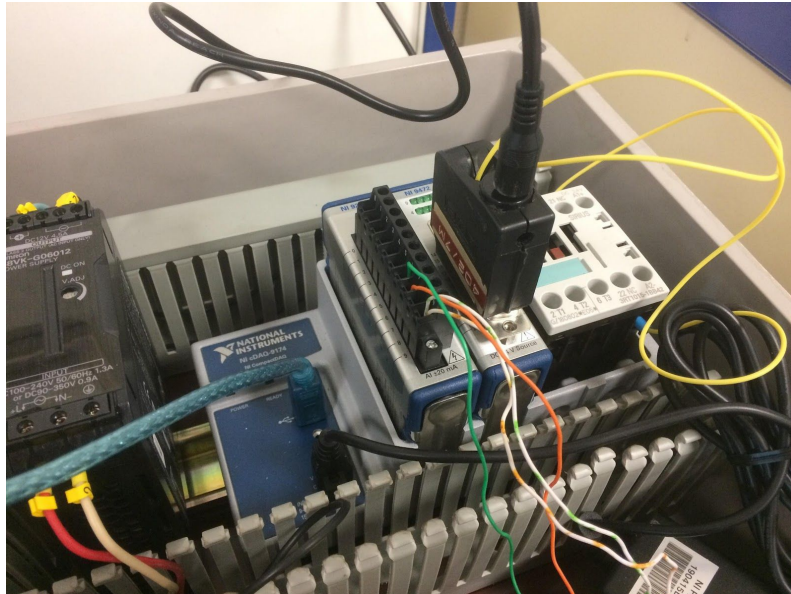


Image 16 : Test du système ajouté

J'ai alors réalisé un programme de test sur Labview permettant le contrôle de cette carte. Une fois le paramétrage réalisé sur Labview, l'utilisation de cette carte est très simple. Il faut envoyer à la fonction de contrôle un tableau de 1 booléen. Il y a en effet 8 sorties sur la carte de contrôle mais une seule a été paramétrée. La gestion du deuxième contacteur se fait de la même manière.

J'ai tout d'abord vérifié sans brancher l'alimentation ni le contacteur à la carte. Une led permet de visualiser l'état de la sortie. Une fois le contrôle réalisé j'ai pu brancher l'alimentation externe et le contacteur.

L'avantage du test d'un contacteur est que l'on entend son ouverture et sa fermeture. Ce test a fonctionné directement. J'ai pu inclure le programme de commande dans le programme du projet.

Il faut faire très attention à la gestion du contacteur puisque celui-ci se trouve entre l'onduleur et l'électrolyseur. Une ouverture brusque du contacteur engendre une coupure d'alimentation de l'électrolyseur et shunte donc la mise à l'arrêt nécessaire de celui-ci. Ce point pose problème lors de l'installation de ce système de commande. En effet, le contacteur étant un contacteur NO (normalement ouvert), si l'on coupe l'alimentation de la carte ou l'alimentation externe de commande, cela ouvre directement le circuit. Les contacteurs NO sont des contacteurs de sécurité. Un contacteur NF (normalement fermé) permettrait de supprimer ce problème puisqu'un arrêt brusque de l'alimentation n'ouvrirait pas le circuit.

L'installation actuelle ne pose aucun risque pour l'électrolyseur si cela se passe dans des conditions normales mais une mauvaise manipulation ou une coupure d'électricité pourrait endommager l'électrolyseur.

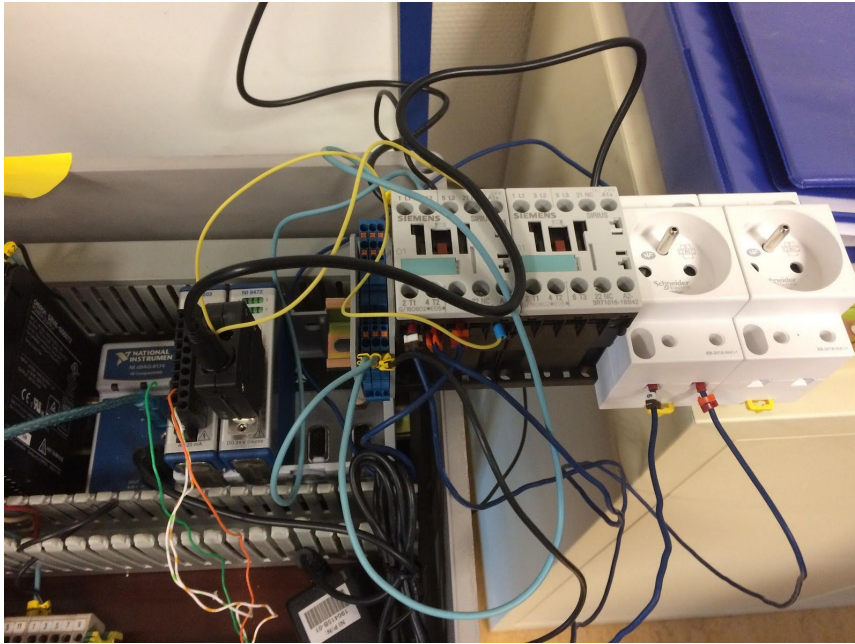


Image 17 : Câblage sur rail du système ajouté

7) Rédaction du manuel d'utilisation

Un manuel d'utilisation d'une dizaine de pages a été rédigé dans le but de pouvoir comprendre le travail réalisé. On trouve dans ce manuel différentes informations :

- Avertissements matériels
- Présentation du matériel
- Câblage
- Tutoriel pour Labview
- Précaution de mise en route
- Utilisation du programme

III/ Retour d'expérience

a) Résultat obtenu et bilan personnel

La commande et la supervision du système de production d'hydrogène sont réalisées. L'application sur Labview fonctionne en autonomie et permet les modes de fonctionnements souhaités. Le système permettant de dupliquer le nombre de prises sur l'armoire de commande a été créé, testé mais n'a pas été installé. Cela n'est pas problématique pour le fonctionnement du système.

Ce projet m'a permis d'utiliser et de compléter l'ensemble de mes connaissances acquises durant mon cursus, que ce soit la gestion de projet, l'utilisation de Wireshark, la programmation sur Labview, la supervision mais aussi d'acquérir de nouvelles compétences comme la réalisation de devis, le contact avec des fournisseurs mais aussi la rédaction d'un manuel d'utilisation. Ce type de livrable est systématiquement réalisé en entreprise et pouvoir s'entraîner à en rédiger pendant le projet était quelque chose de très intéressant. Le bilan de ce projet est positif.

b) Difficultés rencontrées

J'ai rencontré plusieurs difficultés durant ce projet.

Tout d'abord, la non coopération, bien que ceci soit compréhensible, de la société Heliocentris à fournir les informations de programmation de l'automate et de son exécutable. Cela eu comme conséquence d'allonger la période de recherche de solutions. Elle rend aussi le programme réalisé possiblement incomplet. Comme on peut le voir dans le tableau des registres disponibles plus haut dans ce rapport. Un certain nombre de registres reste sans variables assignées sans savoir si celle ci sont réellement utilisées dans l'automate ou non. Cela m'a aussi contraint à garder l'automate actuel.

Un autre problème est apparu durant le projet. L'onduleur présent dans l'armoire de commandes engendre de grosses perturbations sur certains capteurs. Cette perturbation, visible sur l'exécutable fournis et sur mon programme Labview indique un problème de CEM du système. Cette perturbation fait varier le capteur de radiation solaire à $\pm 20\text{W/m}^2$. Cette perturbation a un faible impact lorsque cette valeur est élevée. Cependant, le soir, cette variation rend une détection d'erreur impossible si l'onduleur est en marche. D'autres variables subissent également cette perturbation mais avec beaucoup moins d'impact sur leurs valeurs finales.

c) Perspectives

Dans l'état actuel des choses, le projet propose plusieurs perspectives d'évolutions.

La première évolution possible serait d'ajouter la gestion de la pile à combustible au programme Labview réalisé. En effet, de même que pour mon projet, un exécutable existe également pour le contrôle de la PAC. Le développement d'une commande et d'une supervision de la PAC sur le Labview permettrait d'avoir un seul programme capable de gérer tout le système.

Une supervision du système global avec une mise en commun de tous les capteurs du système permettrait un contrôle plus complet de celui-ci. Il serait alors très intéressant pour ce projet d'utiliser la partie matérielle réalisée lors de mon projet, ce qui aurait comme conséquence d'avoir un système globalement autonome sans être relié au secteur.

La seconde évolution possible serait d'intégrer le châssis NI CompactDAQ dans l'armoire de commande. Ce châssis actuellement alimenté par le réseau électrique fonctionne en 24V. Il est donc possible de l'alimenter via le bus continu. De même que l'alimentation de la carte de contrôle présente dessus nécessite une alimentation externe, celle-ci peut également être alimentée via le bus de l'armoire de commande. Un micro-ordinateur accompagné d'un écran pourrait remplacer l'ordinateur actuel. Il serait alimenté via l'armoire de commande et réaliserait la commande et la supervision du système.

Cela nécessiterait une recherche sur la puissance actuelle des micro-ordinateurs, son alimentation etc. Cela permettrait de rendre le système totalement autonome.

Conclusion

A la fin du temps alloué pour ce projet, le cahier des charges a été respecté et réalisé. Des améliorations pourraient encore possibles sur la commande et la supervision mais le programme est fonctionnel. Le système est commandé de manière automatisée comme demandé. La supervision réalisée offre plus d'informations du système que précédemment. On est passé d'un exécutable figé à un système modifiable. Il offre donc des perspectives d'évolution.

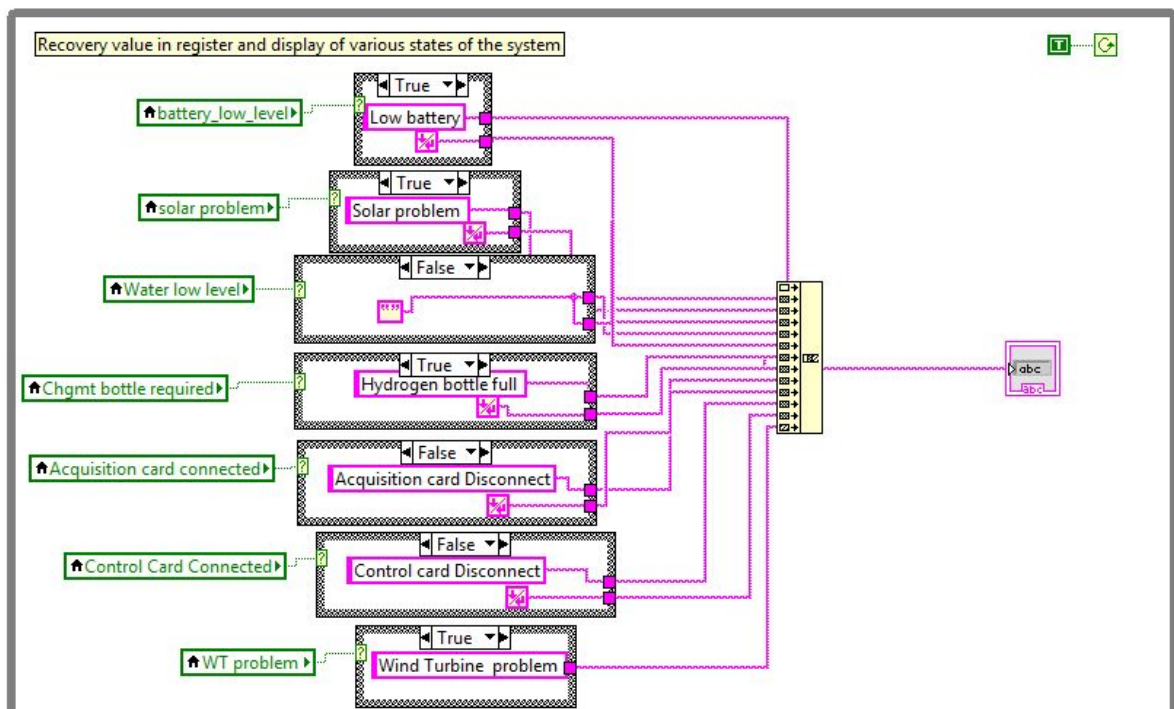
Ce projet complet m'a amené à réaliser beaucoup de recherches, à lire des thèses écrites sur le sujet, à faire de la rétro-ingénierie mais aussi à utiliser et compléter des compétences telles que le réseau, l'automatique, l'électronique. Ce projet, en plus d'être un projet innovant, a été très formateur.

J'ai également eu l'occasion d'entrer en contact avec des nombreuses personnes pour obtenir des informations mais également rencontrer des étudiants en thèse pour leur expliquer le fonctionnement du système global. Cela m'a permis d'améliorer ma communication.

Bibliographie

- Recherche d'information sur le système et sur l'éolienne
Thèse de Ibrahim Abdallah : <https://www.theses.fr/223838284>
Alejandro Lopez Pareja. "Evaluation of Gløshaugen wind conditions". MA thesis.
NTNU, 2016 :
<https://daim.idi.ntnu.no/masteroppgaver/014/14745/masteroppgave.pdf>
- Calcul théorique de la production d'un panneau solaire
<https://photovoltaïque-energie.fr/estimer-la-production-photovoltaïque.html>
- Information sur l'éolienne
<http://www.primuswindpower.com/>
- Aide Labview / Information Carte E/S
<http://www.ni.com>
- Information sur système Héliocentris
<http://heliocentrisacademia.com/portfolio-item/solar-hydrogen-trainer/>

Annexe



Annexe 1 : partie de programmation pour affichage d'erreur

