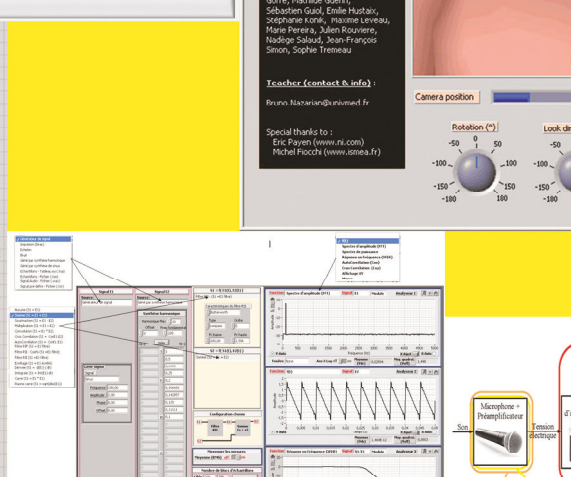
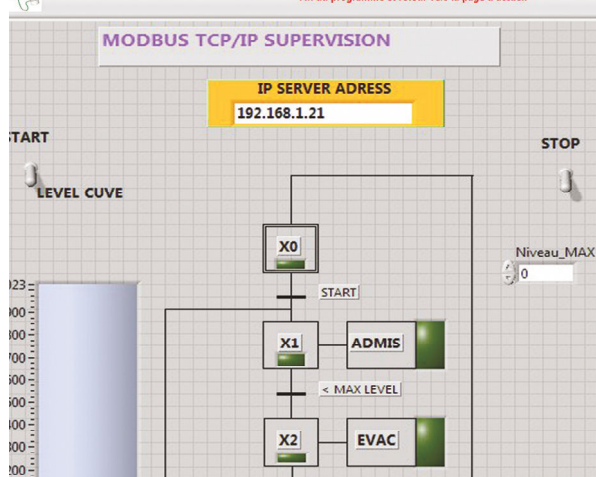
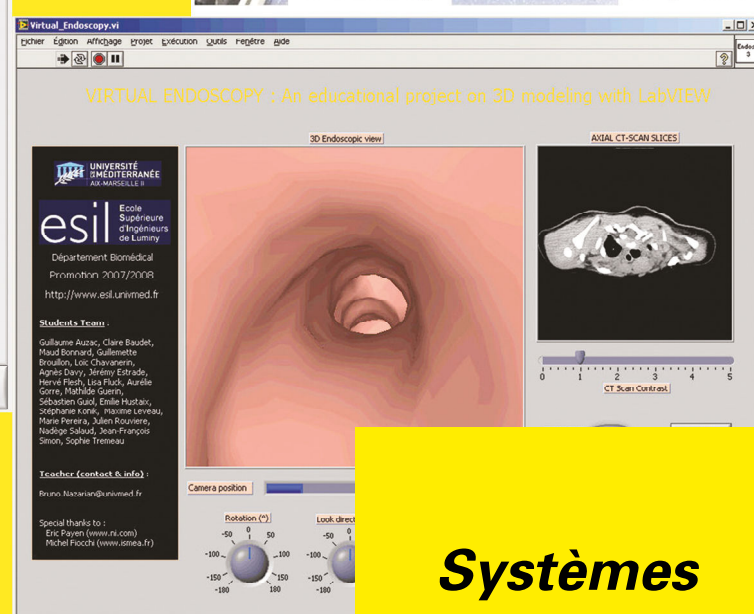
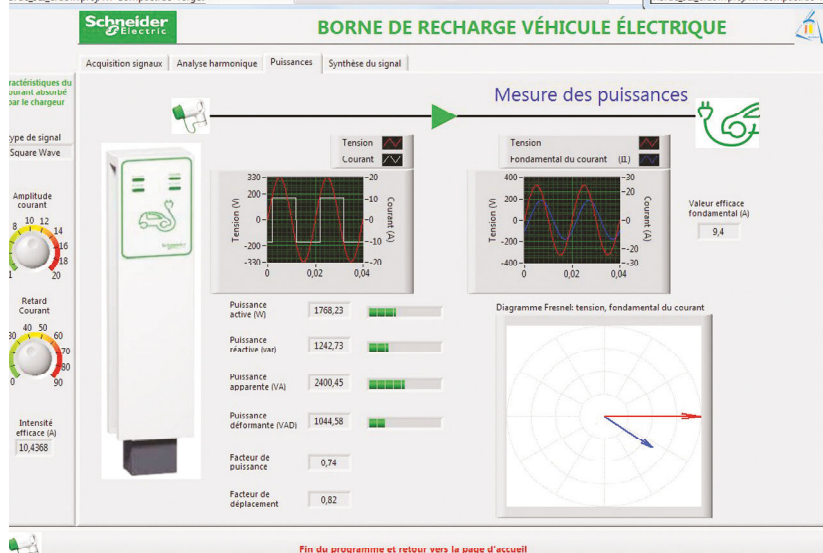
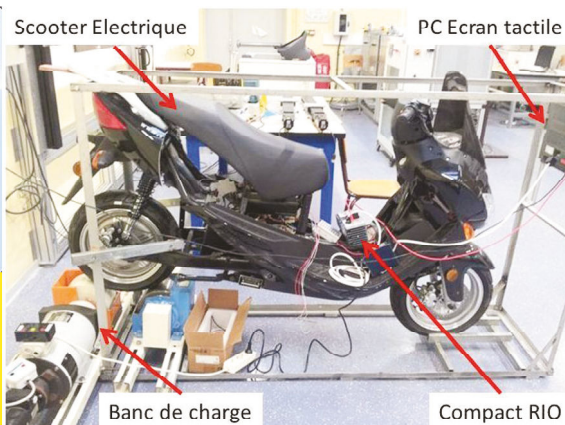
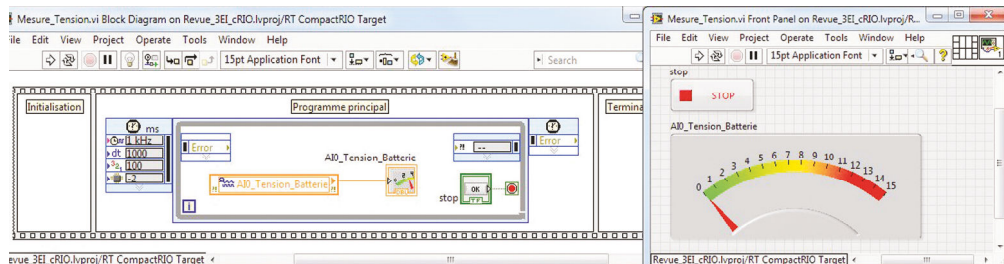


La Revue 3E.I



Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>



**Systemes
d'acquisition
et matériels
embarqués**

Publication trimestrielle du Cercle Thématique 13.01 de la SEE

ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE



**Société de l'Electricité, de l'Electronique
et des Technologies de l'Information
et de la Communication**



PREMIER APPEL A COMMUNICATIONS
PRELIMINARY CALL FOR PAPERS

CETSIS 2013



Le 10^{ème} Colloque du club EEA sur l'Enseignement des
Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes

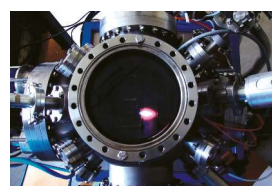
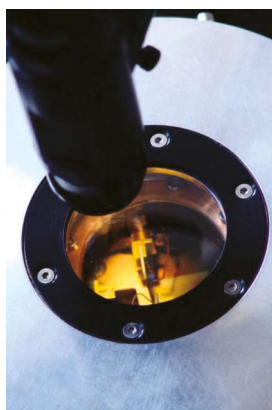
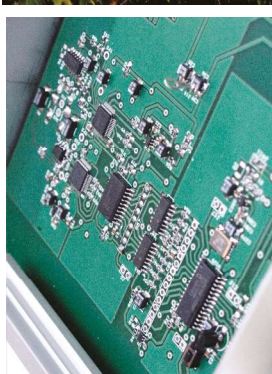
20-22 mars 2013, Caen, France

**Université de Caen Basse-Normandie / ENSICAEN
CAMPUS II**

<http://cetsis2013.sciencesconf.org>

Les thématiques générales du colloque concernent les champs
disciplinaires fondamentaux, les champs disciplinaires des sciences de
l'ingénieur et les articulations entre formations supérieures et société.

A côté de la tenue de ses célèbres POMMADES (POsters,
Maquettes, MANipulations, DEMonstrationS), le 10^{ème} CETSIS fera une
rétrospective de ce cycle de conférence comme temps fort d'une table
ronde.



UNICAEN
université de Caen
Basse-Normandie



ENSICAEN
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS DE CAEN
& CENTRE DE RECHERCHE



CONTACT

Didier ROBBES

Département de Physique – EEA

UFR Sciences - UCBN

6 Bd Maréchal Juin

F – 14050 Caen Cedex – FRANCE

Tél : +33 (0)2 31 45 26 97 Web : cetsis2013.sciencesconf.org

Fax : +33 (0)2 31 45 26 98 Mail : cetsis2013@sciencesconf.org



La Revue 3EI

publication trimestrielle
du **Cercle Thématique 13-01**
de la SEE

SOCIÉTÉ de l'ELECTRICITE, de l'ELECTRONIQUE et des TECHNOLOGIES de l'INFORMATION et de la COMMUNICATION.

17, rue de l'Amiral Hamelin, PARIS 75783 CEDEX 16
Tél : 01 56 90 37 00 Fax : 01 56 90 37 19
site web : www.see.asso.fr

SEE, association reconnue d'utilité publique par le décret du 7 décembre 1886
Siret 785 393 232 00042, APE 9412 Z, n° d'identification FR 44 785 393 232

3EI : Enseigner l'Électrotechnique et l'Électronique Industrielle

La Revue 3EI, Édition SEE,
17 rue de l'Amiral Hamelin
75783 PARIS Cedex 16

Directeur de la publication
Paul FRIEDEL
Président de la SEE

Rédacteur en Chef
Franck LE GALL

Adresser les propositions d'article à :
revue3ei.art@voila.fr

Communication
Mr Alain Brenac
communication@see.asso.fr
01 56 90 37 09

publicité au rapport

Abonnement (4 numéros par an)
Janvier, Avril, Juillet, Octobre 2012.

tarifs TTC :

Individuel :

France et CEE.....39 €

Pays hors CEE.....49 €

Collectivités

France et CEE.....55 €

Pays hors CEE.....68 €

Réalisation et impression

Repro-Systèmes
23, rue de Verdun 77181 Le Pin

Routage et Expédition

Départ Presse
ZI les Richardets
93966 Noisy le Grand

Dépôt Légal : Janvier 2013

Commission Paritaire 1212 G 78028
ISSN 1252-770X

Sommaire du n° 71

Systèmes d'acquisition et matériels embarqués

- p. 2 Éditorial,
- p. 3 Publications, Informations,
- p. 8 Exemples d'applications concrètes de test, de mesure et de contrôle
P. RENARD National Instruments France NANTERRE
- p. 21 Exemples de travaux pratiques et de projets pédagogiques
G. HYVERT National Instruments France NANTERRE
- p. 30 Enseigner avec un CompactRIO
G. REMY IUT de Cachan CACHAN
- p. 36 LABVIEW : une plateforme pour la mise en œuvre des TP sur les bus de terrains industriels
J L.BIANCHI Lycée Jules Ferry VERSAILLES
- p. 43 LABVIEW : une plateforme pour la mise en œuvre d'un TP de supervision par protocole
MODBUS/TCP d'une application automate
J L.BIANCHI Lycée Jules Ferry VERSAILLES

Hors thème ?

- p. 48 ZigBee, de la théorie à la pratique. Création d'un réseau ZigBee avec transmission de données
J. FRANCOMME F. VIROLLEAU PARIS
J. PANG Y X PHANG SINGAPOUR
T. VAL TOULOUSE
- p. 59 Production d'énergie électrique à base de machine asynchrone à double alimentation (MADA)
G. DIDIER Université de Lorraine VANDEUVRE-LES-NANCY
T. LUBIN E. RICHARD IUT HENRI POINCARÉ DE LONGWY COSNES ET ROMAIN
- p. 69 Pilotage d'un système automatisé de production via Profibus pour l'enseignement des
automatismes
JM ROUSSEL P REBEIX C DELAS IUT de l'Indre CHATEAUROUX
- p. 74 Compte-rendu d'une présentation sur l'électroménager intelligent, à une soirée débat de la
SEE

Et Demain ?

- p. 77 Et demain ? Tour d'horizon des avancées technologiques

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente édition, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées.

Toutefois des copies peuvent être utilisées avec l'autorisation de l'éditeur. Celle-ci pourra être obtenue auprès du Centre Français du Droit de Copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris, auquel la Revue 3EI a donné mandat pour la représenter auprès des utilisateurs. (loi du 11 mars 1957, art.40 et 41 et Code Pénal art. 425).

Nous commençons cette nouvelle année de parution avec le thème annoncé des **systèmes d'acquisitions et matériels embarqués**.

Ce thème très transversal a été construit en étroite collaboration avec des représentants de la société National Instrument (NI). Nous les remercions pour leur contribution à la revue 3EI.

Les cinq articles présentés dans ce thème exposent des applications basées sur les technologies développées par NI mais visent surtout à vous donner le maximum d'idées pour vos futurs projets, TD et TP et ceci quelque soit le constructeur choisi. Vous allez donc découvrir les nombreuses applications issues du domaine industriel ou plus directement des applications pédagogiques réalisées par des collègues.

- L'ouverture du thème se fait par un texte de M. Renard de la société NI qui nous propose un grand nombre d'applications tirées du domaine industriel.
- M. Hyvert, lui aussi collaborateur de la société NI, expose les applications plus directement liées à la pédagogie.

Après ces premières visions panoramiques sur les applications, les trois articles suivants abordent les choses de façon plus détaillée.

- Les premiers pas pour commencer à travailler en TP ou en projet avec le CompactRIO nous sont exposés par Ghislain Rémi,
- et les deux derniers articles du thème nous présentent en détails des exemples de TP que Jean Louis Bianchi a développé pour ces étudiants de BTS IRIS.

Dans la partie hors thème de la revue, vous pourrez aussi découvrir :

- un article très fourni sur le ZigBee que nous devons à Jackson Francomme et à ses collègues,
- un second article dédié à l'exposé d'un TP sur l'utilisation de la MADA dans l'application éolienne,
- et enfin un travail sur l'utilisation du protocole profibus présenté par JM Roussel et ses collègues.

La rubrique « **Et demain... ?** », vous donnera quelques nouvelles dans le domaine du véhicule électrique...

Comme vous le constatez, l'ordre des thèmes que nous avons envisagés pour l'année 2013 a été un modifié. Nous reportons donc le thème **Biologie et EEA** pour le numéro d'octobre 2013. Nous vous remercions donc de votre patience et nous espérons que ce délai ne fera qu'attiser votre envie de le lire !

Enfin, nous remercions les auteurs d'articles spontanés qui sont toujours de grande qualité. Continuez à nous envoyer des outils pédagogiques : fiches de TP, TD, cours... Nous sommes toujours très intéressés par des articles présentant des études de systèmes avec une approche pluridisciplinaire et nous serons heureux de recevoir vos productions (à envoyer à l'adresse e-mail revue3ei.art@voila.fr). Nous sollicitons également la participation des amoureux de l'histoire des Sciences ; les articles permettant d'alimenter cette rubrique sont les bienvenus.

Bonne lecture.

Le Comité de Publication de la Revue3EI

La Revue 3EI

Comité de publication

Hamid BEN AHMED

Jean BONAL

Arnaud BRUGIER

Jean FAUCHER

Gilles FELD

Jean-Philippe ILARY

Chérif LAROUCI

Marie Michèle LE BIHAN

Franck LE GALL

Pascal LOOS

Oviglio SALA

Jean-François SERGENT

Jean-Claude VANNIER

Pierre VIDAL

Jacques COURAULT

Sylvain PIETRANICO

**Faites connaître notre revue !
Vous en assurer ainsi la pérennité.**



Electrotechnique

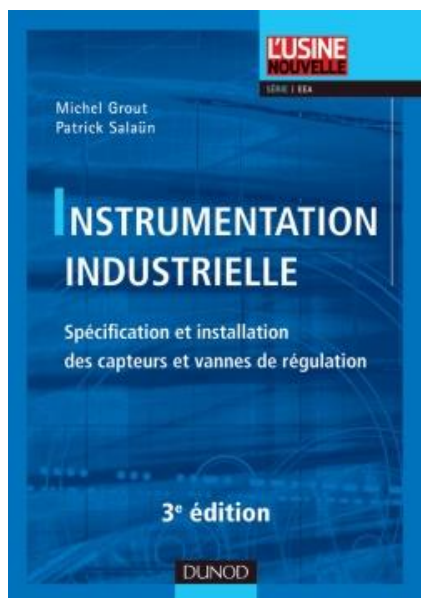
Base de l'électricité

Marcel Jufer, Yves Perriard

Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR)

L'électrotechnique, dans l'acception actuelle du terme, est la base de toutes les utilisations techniques de l'électricité. C'est à une initiation générale à ce vaste domaine, ainsi qu'aux principales méthodes de calculs utilisées par les praticiens, que se consacre cet ouvrage. Il expose l'ensemble des caractéristiques des composants passifs qui constituent aujourd'hui tout circuit électrique, à savoir la résistance, la capacité, l'inductance et les sources de tension et de courant. Deux chapitres dédiés aux phénomènes électrostatiques et électromagnétiques complètent ce manuel, et offrent une compréhension optimale des phénomènes associés.

De nombreux exercices corrigés, accompagnés d'une démarche de résolution, illustrent l'application des méthodes exposées, afin de permettre au lecteur de tester l'acquisition de ses connaissances au travers d'exemples concrets, pratiques et numériques. Cet ouvrage constitue une référence fiable et durable pour les étudiants en électricité, en microtechnique et en mécanique de niveau Bachelor.



Instrumentation industrielle

Spécification et installation des capteurs et vannes de régulation

Michel Grout, Patrick Salaün

Technique et Ingénierie, Dunod/L'Usine Nouvelle

En instrumentation industrielle, certains matériels subissent plus d'agressions que d'autres et méritent une attention particulière : c'est le cas des indicateurs, des transmetteurs de mesure et des vannes de régulation.

Cet ouvrage propose une approche pratique et concrète pour choisir, commander, installer et entretenir les matériels d'instrumentation en les adaptant au processus et aux environnements climatique et industriel :

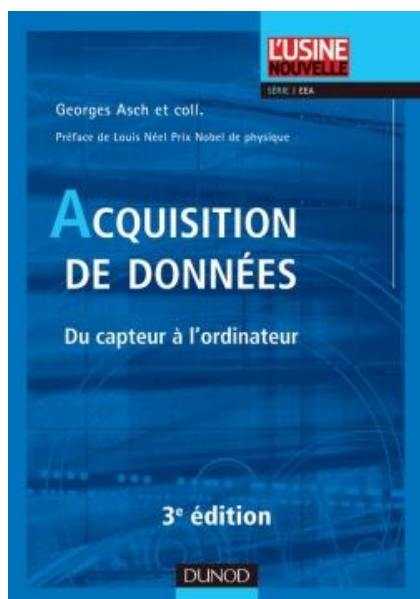
- fiches de calcul et feuilles de spécification des vannes de régulation,
- schémas types d'installation des matériels,
- règles à suivre pour le raccordement au procédé, aux sources d'énergie et aux autres éléments du système de contrôle.

Cette 2e édition tient compte des nouvelles normes et réglementations en vigueur et apporte des compléments, notamment sur les réseaux de terrain.

Cet ouvrage est l'outil de travail indispensable des techniciens et ingénieurs de bureaux d'études, des services travaux neufs et maintenance des usines, des installateurs et des régulateurs. Il sera également utile aux étudiants en instrumentation et en régulation.

Sommaire :

L'instrumentation dans les processus industriels. Capteurs et actionneurs : généralités. Mesure de la pression. Débitmètres à élément primaire et manomètre différentiel sur conduites cylindriques. Autres débitmètres sur conduites cylindriques et comparaison entre débitmètres. Mesure du niveau. Mesure de la température. Notions sur les analyseurs industriels. Vannes de régulation : conceptions. Vannes de régulations : spécifications et calculs. Schémas types d'installation des matériels (transmetteurs et vannes régulatrices). Alimentation en air de commande. Alimentations électriques. Appareils électriques pour atmosphères explosibles utilisés en instrumentation. Câblages des instruments.



Acquisition de données Du capteur à l'ordinateur

Georges Asch, Patrick Renard, Pierre Desgoutte, et al.

Technique et Ingénierie, Dunod / L'Usine Nouvelle

La nécessité d'acquérir un nombre croissant de grandeurs physiques fait partie des préoccupations quotidiennes des laboratoires. Cet ouvrage présente de façon claire et complète toute la chaîne d'acquisition de données, du capteur à l'ordinateur, dans ses aspects à la fois théoriques et pratiques, méthodologiques et matériels. Il tient compte des développements récents du domaine, liés à la généralisation des ordinateurs, à leur puissance croissante de calcul, ainsi qu'à l'importance grandissante des réseaux et bus de terrains en milieux industriels..

Sommaire

Chaîne d'acquisition de données. Parasites. Perturbations par couplage galvanique. Perturbations par couplage magnétique. Perturbations par couplage électrique. Perturbations par couplage électromagnétique. Caractéristiques métrologiques. Capteurs. Conditionneurs. Amplificateurs. Protection des circuits d'entrée. Bruit de fond. Filtre. Multiplexeur. Échantillonneur -bloqueur. Convertisseurs analogique- numérique. Organisation de la chaîne d'acquisition. Microprocesseur. Gestion matérielle de la chaîne par microprocesseur. Algorithmes d'acquisition et gestion des temps. Gestion métrologique de la chaîne. Transmission de données. Capteurs intelligents. Réseaux de terrain. L'ordinateur : architecture matérielle et logicielle. Acquisition de données sur PC.



La commande multivariable Application au pilotage d'un avion

Caroline Bérard, Jean-Marc Biannic, David Saussié

Collection: Technique et Ingénierie, Dunod

La commande moderne offre un large éventail de méthodes pour synthétiser un contrôleur, et il n'est pas toujours aisé pour l'ingénieur automatique de privilégier une approche par rapport à une autre.

Dans ce livre, les auteurs proposent d'illustrer différentes approches de la commande multivariable sur un même problème d'avion en phase d'atterrissage, mettant ainsi en avant les points forts de chaque démarche.

Sur la page dédiée au livre (dunod.com), retrouvez l'ensemble des fichiers Matlab/Simulink afin de reproduire les résultats présentés : fichiers relatifs au modèle de l'avion et fichiers relatifs à la synthèse modale (exemple d'une synthèse).

Points forts

Une démarche pratique sur un exemple très concret.

Une démarche pédagogique pour comprendre les bases des techniques de commande.

Une mise en évidence des complémentarités entre les différentes techniques.

Contenu de l'ouvrage

Modèle et cahier des charges

Synthèse classique

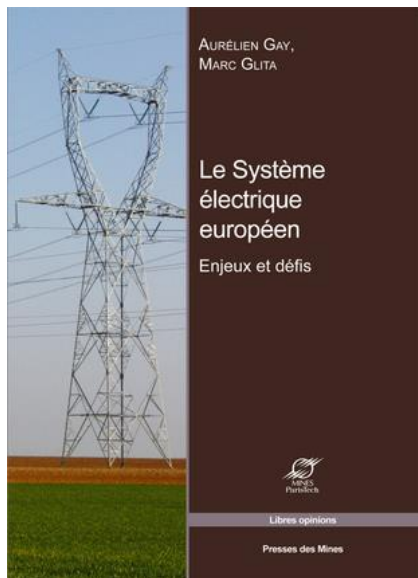
Synthèse modale

Synthèses LQ/LQG/LTR

Synthèse H_∞

Synthèse structurée H_∞

Guidage



Le système électrique européen Enjeux et défis

Auteur(s) : Aurélien Gay , Marc Glita

Transvalor - Presses des Mines

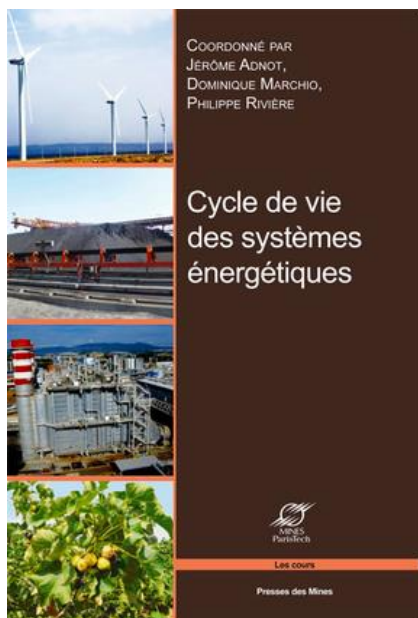
Le système électrique européen est un fleuron technologique d'une souplesse et d'une fiabilité irréprochables. Un cadre institutionnel favorable a permis dans la seconde moitié du XXe siècle de développer un outil capable de répondre aux défis particuliers posés par cette manière de transmettre l'énergie qu'est l'électricité.

L'électricité, que l'on sait produire sans émettre de CO2, est appelée à jouer un rôle de plus en plus important dans l'économie. Or, le développement des énergies "nouvelles" se heurte à des difficultés économiques et politiques souvent insoupçonnées.

Aux tarifs de rachat mis en place pour favoriser l'éolien et le photovoltaïque, il faut ajouter le développement très coûteux du réseau pour transporter l'électricité des lieux de production aux lieux de consommation. Il faudra aussi subventionner les capacités d'appoint (fortement émettrices de CO2) nécessaires à l'équilibre du système électrique.

Les Etats européens éprouvés par la crise de la dette peuvent-ils encore financer ces infrastructures ?

Après la crise européenne de l'euro, connaîtra-t-on celle de l'électricité ?



Cycle de vie des systèmes énergétiques

Jérôme Adnot , Dominique Marchio , Philippe Rivière

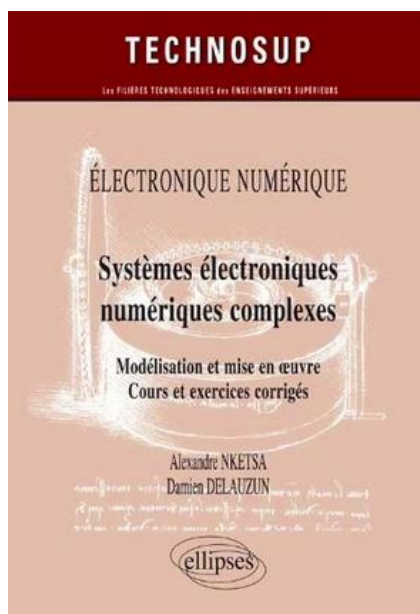
Transvalor - Presses des Mines

Les choix en matière de systèmes énergétiques ont comme particularité qu'ils engagent leurs décideurs à long et à moyen terme. La lourdeur des investissements et les conséquences des impacts environnementaux des systèmes énergétiques choisis ont toujours des effets transgénérationnels (ne serait-ce que l'épuisement des ressources par exemple).

Le cadre théorique d'inventaire et d'intégration dans le calcul économique est stabilisé depuis les années 1950 (calcul du coût global actualisé d'une fonction ou de la valeur actuelle nette d'un investissement).

Des méthodes sont également bien établies depuis la fin des années 1990 pour la réalisation du bilan écologique (inventaire des effets "du berceau à la tombe", externalités, analyse du cycle de vie). Ces outils diffusent dans les milieux de l'énergie, mais à l'avenir, leur utilisation va devenir systématique dans le contexte de raréfaction des ressources.

Cet ouvrage, support de l'enseignement du cycle ingénieur "Cycle de vie des systèmes énergétiques" à MINES ParisTech, présente les outils utilisés pour comparer les systèmes d'un point de vue économique et environnemental, et discute également comment mobiliser ces outils pour aider la décision, puis comment la diffusion de ces outils appelle à refonder les pratiques de conception dans les entreprises.



Electronique numérique - Systèmes électroniques numériques complexes

Modélisation et mise en oeuvre, cours et exercices corrigés

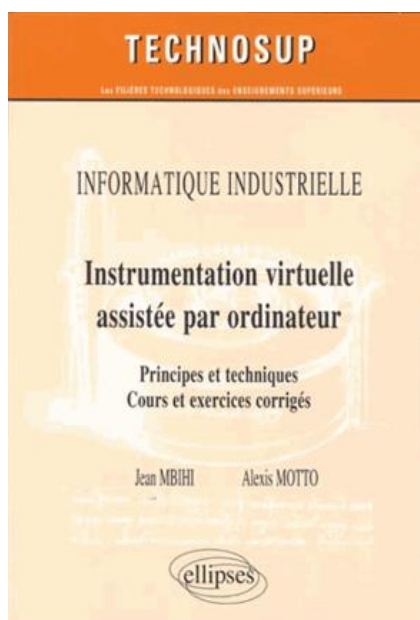
Alexandre Nketsa , Philippe Delauzun

Ellipses

L'ouvrage complète la plupart des livres qui donnent les bases théoriques de l'électronique numérique en présentant une méthodologie et des règles pour prendre en charge des applications complexes.

Le livre est conçu en séparant nettement la modélisation et la mise en oeuvre, afin de repousser le plus tard possible la prise en compte des contraintes de technologie qui évoluent très rapidement. Pour cela, les différentes parties de l'électronique numérique sont revisitées sous l'angle des modèles : le modèle basé sur la table vérité à variables introduites, pour les systèmes combinatoires ; le modèle de la machine à états finis, pour les systèmes séquentiels sans parallélisme d'évolution ; le modèle GRAFCET, pour les systèmes séquentiels avec parallélisme d'évolution ; le modèle modulaire et hiérarchique basé composants, pour les systèmes complexes.

Des exercices d'application, également formalisés sous l'angle des modèles et des conseils pour leur mise en oeuvre, complètent l'exposé.



Instrumentation virtuelle assistée par ordinateur

Principes et techniques, cours et exercices corrigés - Informatique industrielle

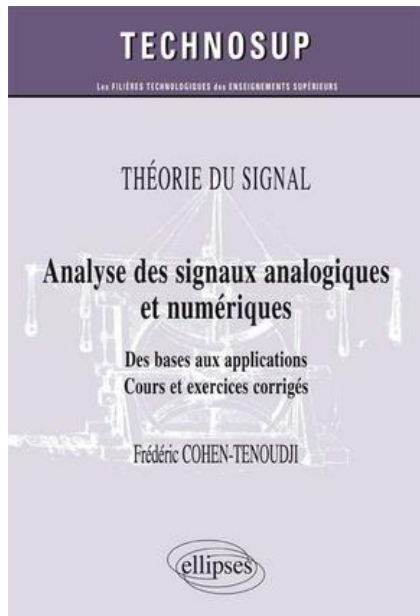
Jean Mbihi , Alexis Motto

Ellipses

L'ouvrage étudie en profondeur les éléments fondamentaux, ainsi que les techniques de conception et de mise en oeuvre, des systèmes d'instrumentation virtuelle assistée par ordinateur. L'étude porte sur les instruments virtuels de traitement numérique des signaux codés sur n bits, et également sur les nouveaux modèles d'instruments virtuels à modulation de rapport cyclique des signaux.

Chaque partie porte sur une catégorie spécifique de systèmes d'instrumentation virtuelle. Une place capitale y est réservée à la présentation de prototypes didactiques montrant l'intérêt pratique des modèles analytiques et des algorithmes de mise en oeuvre développés. Le lecteur y découvrira des prototypes d'oscilloscopes virtuels (à entrées multiplexées ou modulées en rapport cyclique), de générateurs virtuels de signaux standards ou arbitraires, et de systèmes combinés d'instruments virtuels opérables localement ou à distance via le réseau Internet.

Le livre est organisé de façon à faciliter la compréhension des secrets de conception et de construction d'instruments virtuels. Les lecteurs ayant bien compris son contenu seront donc capables d'envisager la création de leurs propres modèles d'instruments virtuels, publiables, voire brevetables. L'ouvrage est de niveau C (Master - Écoles d'ingénieurs - Recherche)



Analyse des signaux analogiques et numériques des bases aux applications

Cours et exercices corrigés

Frédéric Cohen-Tenoudji

Ellipses

Le livre expose l'architecture de la théorie du signal et fournit les outils d'applications. Chaque concept y est introduit et expliqué pas à pas de manière didactique, les outils mathématiques indispensables étant intégrés de façon accessible et intuitive.

Les systèmes et signaux analogiques sont d'abord utilisés pour établir les bases de l'analyse du signal. Puis les traitements des signaux numériques sont exposés dans une deuxième partie, en montrant leurs avantages déterminants. La troisième partie est consacrée aux signaux aléatoires, à l'estimation spectrale et à la modélisation paramétrique.

Pour le traitement des signaux certains, sont développés les séries et les transformations de Fourier analogiques et numériques, les transformations de Laplace, de Hilbert, en z , les filtrages analogique et numérique. Sont en outre exposés les transformations en ondelettes, l'analyse multirésolution, le filtrage inverse, la déconvolution, le cepstrum complexe et la modélisation paramétrique. Ces méthodes sont ensuite étendues pour le traitement des signaux aléatoires.

À l'heure d'Internet et de l'océan d'informations qu'il fournit (souvent excellentes, mais parcellaires), ce livre apporte une compréhension théorique solide. Il permet d'accéder à la maîtrise des applications les plus récentes dans des domaines aussi variés que l'analyse acoustique, la géophysique ou la compression de données.



Maintenance électrotechnique

Équipements électriques et circuits de commande

Mark Brown, Jawahar Rawtani, Dinesh Patil

Dunod, L'Usine Nouvelle

Cet ouvrage fournit toutes les informations pratiques permettant d'effectuer la maintenance des installations électriques et des équipements industriels. Après quelques rappels théoriques indispensables, tous les types de matériels sont étudiés : les moteurs, les disjoncteurs et les interrupteurs, les variateurs de vitesse, les équipements et circuits de commande, etc.

Pour chaque type d'équipement, sont détaillés :

les principes de fonctionnement ;

les causes possibles de pannes et les moyens de les prévenir ;

les méthodes d'identification des défaillances (tests et mesures électriques) et les solutions de dépannage.

Les très nombreux exemples proposés sont adaptables à n'importe quel type d'installation présente sur un site industriel.

L'ouvrage s'adresse particulièrement aux ingénieurs et techniciens en électrotechnique, mécanique et production, soucieux d'améliorer la productivité de leurs équipements tout en réduisant les coûts de maintenance. Les étudiants y découvriront également un savoir-faire technique qui complètera parfaitement leurs connaissances théoriques.

Exemples d'applications concrètes de test, de mesure et de contrôle

Patrick RENARD

National Instruments France

2, rue Hennape 92735 Nanterre Cedex, France

Résumé : Dans tous les domaines de la recherche et de l'industrie, il est indispensable de mettre en œuvre des systèmes de mesure et souvent aussi de contrôle/commande, qui emploient les talents des ingénieurs formés dans nos écoles aux matières scientifiques et techniques. Il peut s'agir de mettre en place des expérimentations pour valider des théories scientifiques, de réaliser le prototypage de nouveaux produits, d'optimiser des processus de fabrication, de réduire la consommation énergétique, de tester des appareils en fin de chaîne de fabrication, et bien d'autres choses encore, parfois surprenantes.

Cet article répertorie des applications diverses et variées, effectivement mises en œuvre dans la recherche et dans l'industrie, dans le but d'inspirer les professeurs qui souhaitent mettre en place des TP ou des projets pédagogiques pertinents. Il a été rédigé à partir d'articles d'utilisateurs décrivant des applications de conception de systèmes de mesure, de test, de contrôle ou embarqués. Vous pourrez vous reporter à ces articles complets pour en savoir plus sur telle ou telle application.

Récemment et souvent innovantes, ces applications sont développées avec les matériels et logiciels de National Instruments ; lesquels sont d'ailleurs souvent utilisés aussi dans les lycées, les universités et les écoles d'ingénieurs, comme vous pourrez le voir dans les articles qui suivent celui-ci et qui rentrent davantage dans le détail.

1. L'énergie

S'il est un domaine qui a le vent en poupe actuellement, c'est bien celui de l'énergie. Nous savons tous que l'énergie représente l'un des défis majeurs du XXI^{ème} siècle pour l'humanité. C'est un secteur en plein développement, gros demandeur de compétences techniques, et dans lequel l'innovation est cruciale. Il s'agit bien sûr d'étudier et d'optimiser les énergies renouvelables mais il est tout aussi important de maîtriser l'énergie, son stockage, son transport et sa consommation.

1.1. Régulation de la production d'énergie d'un système houle-moteur

On trouve beaucoup d'applications destinées à évaluer le rendement de certaines techniques de génération d'énergie : photovoltaïque et éolienne bien sûr, mais également géothermique ou encore houle-motrice, comme avec l'application qui suit, développée par une start-up innovante GEPS TECHNO.

Issue des mouvements d'un système flottant soumis à l'action de la houle, l'énergie est transmise à une turbine qui produit de l'électricité via une génératrice accouplée

en direct, qui alimente des batteries qui, elles-mêmes, alimentent en continu le système de commande et de gestion de puissance. La source d'énergie n'étant pas régulière et continue (0-2200 W), l'application requiert un automate de gestion de puissance qui intègre les données d'entrée fournies par les capteurs et délivre les commandes de sortie qui permettent la régulation du système complet.

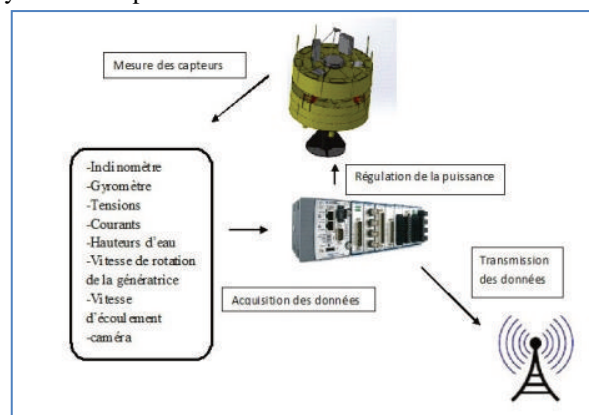


Figure 1 : Système houle moteur

Le concept a d'abord été testé avec les plates-formes d'E/S modulaires NI CompactDAQ (sur des maquettes en laboratoire) et NI CompactRIO sur une première installation pilote testée en conditions réelles. Les

logiciels embarqués sont LabVIEW Real-Time pour la partie « capteurs et données d'entrée » et LabVIEW FPGA pour la gestion de l'électronique de puissance. Avec le CompactRIO, le dispositif intègre un système embarqué compact et programmable à distance. La commande électronique de puissance a pu être prise en charge par le FPGA, l'ensemble fonctionnant en temps réel, avec une consommation inférieure à 10 W.

1.2. Détection de zones à gradient thermique optimal pour la récupération d'énergie

Autre source d'énergie potentielle : la route ! En France, la densité de flux d'énergie solaire est de l'ordre de 1400 kWh/m²/an. Le seul réseau des routes nationales, avec ses 10 000 km, représente une surface d'environ 140 km², correspondant à une énergie solaire potentielle d'environ 2.1011 kWh/an, soit la consommation électrique annuelle de 28 millions d'appartements.

Pour apprécier les effets thermiques de cette énergie solaire, le LRPC Nancy-ERA 31 a instrumenté un véhicule dénommé Thermoroute®, avec des sondes atmosphériques embarquées et des caméras thermiques. Une interface unique a été développée sous LabVIEW, couplée à un châssis NI CompactDAQ équipé de modules d'E/S dédiés, et utilisant un toolkit pour caméra thermique.

La fiabilité de la solution matérielle et logicielle a permis de conduire des auscultations sur plusieurs mois. Un compteur permet d'accéder au nombre de prises de vue infrarouges réalisées, et de calculer la distance auscultée. Une géolocalisation des mesures est également possible par récupération des données d'un GPS via le port série RS-232.

Cette auscultation peut aisément être appliquée à du suivi périodique pour analyser le comportement thermique de bâtiments en zone urbaine, ou pour mieux apprécier les îlots de chaleur urbains.



Figure 2 : Véhicule Thermoroute

1.3. Contrôle/commande d'un système de chauffage par géothermie

Une autre source d'énergie renouvelable nettement plus mature, la géothermie, nécessite la mise en place de systèmes de contrôle/commande. En l'occurrence, l'objectif de l'application qui suit était de rénover une installation géothermique permettant le chauffage d'une piscine et de bâtiments en continu et tout au long de l'année.

La société d'ingénierie NÉRYYS a été mandatée pour prendre en charge le système d'acquisition de données, de régulation et de supervision. Celui-ci, basé sur du matériel NI CompactDAQ, comprend 36 entrées analogiques (à 10 Hz), 75 entrées logiques et 1 entrée de comptage. Côté génération, 16 sorties analogiques, 40 sorties logiques, 100 voies opérateurs et 20 voies de calcul sont utilisées. Côté logiciel, l'application est basée sur une suite logicielle nommée VASCO, développée par NÉRYYS sous NI LabVIEW. L'application, pilotée par le PC de supervision, sous Windows, peut être contrôlée à distance par internet et peut envoyer automatiquement un SMS en cas de problème.

1.4. Caractérisation de la performance énergétique de constructions en bois

Le défi de l'énergie repose aussi sur l'optimisation de la consommation. Dans cette application, il s'agit de déterminer un modèle mathématique sur les échanges thermiques et hygrométriques dans les bâtiments en bois.

Pour ce faire, le CRITT Bois a développé un système de mesure autonome et communiquant, destiné à être dupliqué sur plusieurs sites. Il utilise des capteurs numériques peu coûteux (environ 15€/capteur) pour acquérir, en plusieurs centaines de points, des températures au 1/10ème de °C et des humidités relatives au 1/10ème de %.

La difficulté a été de communiquer avec un protocole de type I2C imposé par le constructeur du capteur. C'est pourquoi le choix du matériel s'est porté sur un système CompactRIO. Le circuit FPGA qu'il intègre permet en effet d'implémenter tout type de protocole de communication en association avec un module d'E/S numériques. Un seul châssis CompactRIO (équipé de 8 modules) permet de gérer 248 capteurs, c'est-à-dire dans le cas de cette application 248 températures et 248 humidités relatives.

Des fonctions d'asservissement par PID ont été également intégrées, afin de réguler les enceintes climatiques pour des essais précis en laboratoire sur les échanges thermiques et hygrométriques.

Les châssis CompactRIO, au nombre total de 14, sont implantés sur 7 sites dans tout l'Est de la France et communiquent à distance avec un serveur de données. Les conditions climatiques de chaque site sont également envoyées, pour mieux pondérer les valeurs physiques reçues.



Figure 3 : Caractérisation d'une construction bois

1.5. Mesure et maîtrise de la consommation électrique par types d'usages

L'objectif était d'industrialiser un système innovant de mesure et d'analyse de la consommation électrique par type d'usage, à la fois simple, économique et sans qu'il soit nécessaire de disposer d'un capteur pour chaque appareil à qualifier. La solution a consisté à s'appuyer sur les systèmes CompactDAQ et CompactRIO pour concevoir et déployer des systèmes de mesure à base de capteurs non intrusifs positionnés au niveau du tableau électrique de l'installation. Ce système a valu de nombreux prix à son concepteur, la start-up Qualisteo.

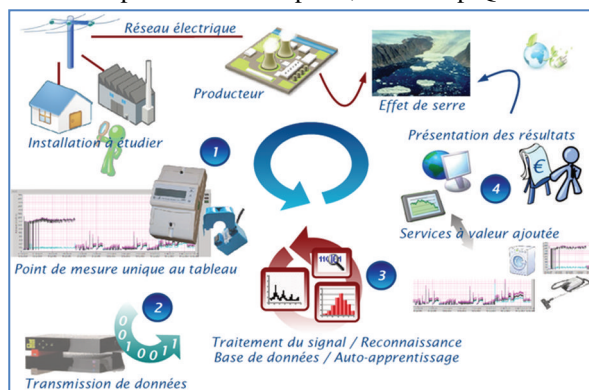


Figure 4 : Maîtrise de la consommation énergétique

Dans le même domaine, on peut citer la réalisation d'un démonstrateur de superviseur de consommation

d'énergie pour le particulier développé par la société Assystem. Cette application permet en particulier l'envoi de conseils à l'utilisateur du système pour optimiser son bilan carbone. La solution a été d'utiliser la gamme de réseau de capteurs sans fil NI WSN et LabVIEW pour un développement et une mise en œuvre rapides, avec un fonctionnement au plus proche de ce que pourrait être celui d'un produit commercialisable.

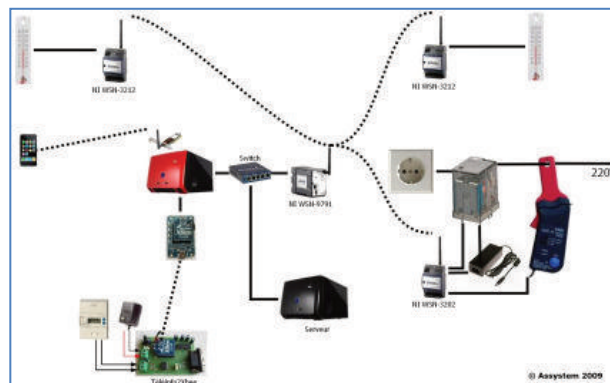


Figure 5 : Optimisation de la consommation d'un foyer

1.6. Analyse des performances des panneaux photovoltaïques en conditions réelles d'exploitation

L'objectif de la société Synervia était de déterminer avec précision la puissance délivrée par un panneau photovoltaïque en conditions réelles d'éclairement et de température. Dans un deuxième temps, il était de comparer simultanément les caractéristiques de plusieurs panneaux photovoltaïques. La solution a consisté à interfacier un boîtier d'E/S USB avec une carte électronique de puissance, et à développer une application LabVIEW pour automatiser le processus de comparaison et fournir une synthèse des performances de chaque panneau.

1.7. Simulateur hardware-in-the-loop pour le test d'un logiciel de contrôle d'éolienne

L'objectif de Siemens Wind Power était d'améliorer le test automatisé des versions successives du logiciel de ses systèmes de contrôle d'éoliennes. Pour ce faire, il a fallu créer un nouveau système temps réel destiné au test hardware-in-the-loop (HIL) des versions du logiciel de contrôle embarqué en utilisant les logiciels TestStand et LabVIEW, ainsi que la plate-forme d'instrumentation PXI de NI.



Figure 6 : Contrôle d'une éolienne

1.8. Faire des déchets ménagers une source d'énergie renouvelable

Les chercheurs de l'IRSTEA ont conçu, sous LabVIEW, 6 pilotes de mesures instrumentés afin de suivre en continu les différents paramètres physico-chimiques caractéristiques de la production du biogaz. Ceci afin de déterminer les conditions optimales permettant de produire un maximum de gaz riche en méthane (biogaz) à partir des déchets ménagers dans les centres de stockage de déchets.



Figure 7 : Optimisation de la production de biogaz

1.9. Autres exemples d'application dans le secteur de l'énergie

Il existe bien d'autres applications encore dans le domaine de l'énergie, comme le développement de centrales d'acquisition pour effectuer des campagnes de mesures dans le cadre de diagnostics énergétiques d'installations industrielles (CRIGEN de GDF SUEZ), la réalisation d'un banc d'endurance (figure 8) pour boîte de vitesse de véhicule électrique (Renault STA), la caractérisation et la mise au point de pompes à chaleur (Saphir pour EDF), la simulateur énergétique de réseaux de capteurs appliqués à la surveillance de sites sensibles par les sapeurs-pompiers (Lab-STICC du CNRS), la mesure à distance de l'efficacité énergétique de

panneaux solaires (Whitfield Solar), l'optimisation des procédés de culture des micro-algues, qui étant des pièges à CO₂ seront peut-être nos carburants du futur (ReosPi pour S3D), etc...



Figure 8 : Banc d'endurance pour boîte de vitesse de véhicule électrique

2. Le médical

Le médical et plus largement les sciences de la vie constituent un autre secteur dynamique en cette période de crise. Il nécessite lui aussi une utilisation étendue de mesure et de contrôle.

Dans le médical, on peut parler de prospérité en ce qui concerne les dispositifs médicaux, qui sont principalement des équipements destinés au diagnostic, voire à l'atténuation d'une maladie ou d'une blessure. Ces appareils, qui intègrent des entrées/sorties et de l'électronique embarquée, ont besoin d'être conçus et testés de façon rigoureuse.

2.1. Réalisation d'un banc de test générique multifonctionnel pour un équipement médical

Le développement d'un appareil médical nécessite que plusieurs équipes travaillent en parallèle. Cela inclut des équipes d'ingénierie, qui doivent réaliser les différentes fonctions mécaniques, électroniques et logicielles, mais aussi les équipes de la production. Toutes ont différents besoins de tests, mais dans tous les cas il faut s'interfacer avec les entrées/sorties du système. C'est pourquoi la société VIVERIS a développé un banc de test générique composé d'un PC Windows, d'un écran tactile, d'un système de mesure de vibration, de deux cartes d'E/S au format PCI, d'une douchette Laser et d'un dosimètre, le tout intégré dans une baie 19 pouces.

Côté logiciel, le banc s'appuie sur le séquenceur de tests NI testStand, qui permet d'utiliser des briques métiers existantes, comme des scripts Python ou des programmes LabVIEW. De part la structure steps (pas)/séquence de NI TestStand, l'applicatif est naturellement découpé en steps systèmes réalisant la

fonction métier du client (par exemple, réaliser un examen médical), lesquels agrègent des steps unitaires indépendants du métier et réalisant des fonctions techniques (par exemple, écrire sur un bus CAN, réaliser une mesure de vibration...), et des séquences réalisant les tests globaux (par exemple, réaliser des examens pendant 24 heures, s'assurer que les vibrations ne dépassent pas un certain seuil, réaliser les étalonnages automatiquement...). Le banc est ainsi utilisable par différents profils d'utilisateurs.



Figure 9 : Banc de test générique pour applications médicales

2.2. Suivi de la pression dans les anévrismes de l'aorte abdominale traités par Stent

Plusieurs méthodes sont actuellement disponibles pour traiter les anévrismes de l'aorte abdominale (AAA), une maladie qui représente la troisième cause de mortalité chez l'homme de plus de 60 ans.

La chirurgie dite endovasculaire consiste à introduire par une artère périphérique (fémorale) un Stent couvert qui va être déployé dans la poche anévrismale afin d'exclure l'anévrisme de la circulation. Avantagée car peu invasive, cette technique nécessite de détecter l'existence de fuites éventuelles. Pour surveiller la pression dans la poche anévrismale le projet ENDOCOM (ETIS UMR8051 & LIP6-UMR7606) a pour objectif de concevoir et de valider un système de mesure implanté et télé-alimenté. Un banc *in vitro* a été développé à cet effet et instrumenté pour étudier la répartition de la pression au sein d'un AAA traité par Stent.

La chaîne d'acquisition des signaux de mesure et leur traitement comportent une carte de mise en forme des signaux (amplification et filtrage), l'échantillonnage par une carte PCI d'acquisition de données, qui permet l'acquisition simultanée sur plusieurs voies, et un

traitement sous l'environnement LabVIEW. Une nouvelle solution est en cours de développement à base d'une carte intégrant un circuit FPGA PCI pour augmenter le nombre d'acquisitions en parallèle.

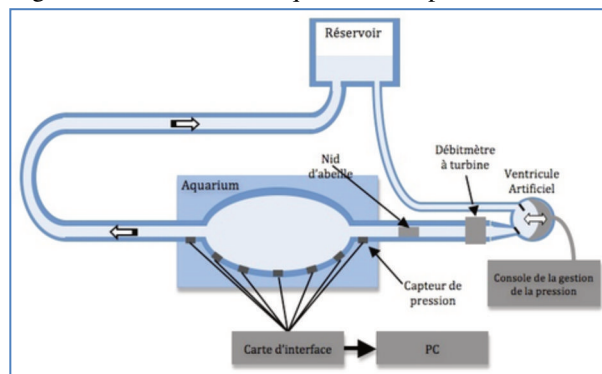


Figure 10 : Suivi de la pression dans les anévrismes

2.3. Dépistage de la défaillance auditive chez le nouveau-né

La détection de la déficience auditive chez le nouveau-né est un enjeu de santé publique important et la France envisage de rendre l'examen systématique à la naissance.

C'est pourquoi la société MicroVitae Technologies a développé un appareil (le μ V-PEA) basé sur ce qu'on appelle les PEAA (potentiels évoqués auditifs acoustiques), correspondant à mesurer la réponse électrique nerveuse de l'appareil auditif suite à une stimulation acoustique. Il regroupe les fonctions de génération de signaux acoustiques et de captation des réponses électriques et assure une synchronisation parfaite des deux fonctions qui autorisera le moyennage des signaux recueillis. L'appareil est composé de deux boîtiers dits « Front-End » et « Back-End ». Les électrodes sont branchées sur le Front-End, qui contient toute l'électronique d'amplification et de filtrage ainsi que la chaîne de conversion A/N et qui permet aussi de réaliser un test d'impédance entre électrodes. Relié au Front-End par un câble de 3 à 10 m et situé, le Back-End assure l'interface de dialogue et le transfert des données en temps réel vers l'ordinateur via sa connexion USB. Il contient aussi le stimulateur acoustique programmable et une sortie audio pour le casque ou l'insert auditif.



Figure 11 : Dépistage de la défaillance auditive

Grâce à une interface très ergonomique réalisée dans l'environnement LabVIEW, le praticien suit en temps réel la construction du PEAA au cours des stimulations acoustiques délivrées au rythme de 20 à 60 stimuli par secondes. Le recueil d'un PEAA dure typiquement 20 à 30 secondes.

2.4. Développement et gestion d'un environnement de stimulation en IRM Fonctionnelle (IRMf)

La technique de l'IRM Cérébrale Fonctionnelle est un des piliers de la recherche fondamentale et clinique dans le domaine des neurosciences. Cette technique consiste à étudier les corrélations existant entre des « activations » cérébrales (mesurées par l'IRM) et le « comportement » d'un sujet.

Les systèmes de stimulation et de recueil de données comportementales étant un vaste domaine d'études, de nombreux périphériques sont commercialisés par des sociétés spécialisées, mais il s'agit le plus souvent de matériels onéreux.

Le Centre IRMf de Marseille a donc décidé de développer un système intégrant de façon naturelle les éléments logiciels et matériels, tout en garantissant une maintenance aisée, la possibilité de faire évoluer tout ou partie du système et/ou de le compléter en ajoutant de nouvelles fonctionnalités. La configuration choisie s'articule autour d'un châssis PXI équipé de cartes d'acquisition de données analogiques (pour l'enregistrement des signaux acoustiques) et numériques (pour la synchronisation avec la machine IRM), et d'une carte d'acquisition vidéo (pour le suivi de la pupille oculaire), complété par un système de conditionnement de signaux et un châssis CompactDAQ (pour l'acquisition de signaux physiologiques). L'application a été développée avec LabVIEW et des modules de traitements acoustiques et de vision.

L'environnement de stimulation développé apparaît parfaitement modulaire, facile à dupliquer, maintenir et faire évoluer.

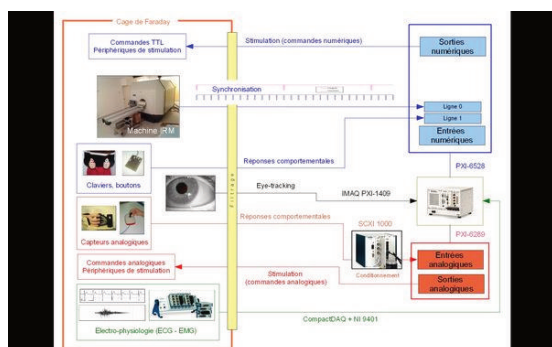


Figure 12 : Environnement de stimulation en IRM Fonctionnelle

2.5. Environnement multimodal pour la télévigilance médicale à domicile

Développée par le LRIT (ESIGETEL), la plate-forme EMUTEL détecte la situation de détresse d'une personne âgée vivant seule à domicile en utilisant trois modalités : capteur sur la personne, capteurs infrarouges et analyse de l'environnement sonore. La solution choisie consiste à utiliser le logiciel NI LabWindows/CVI pour communiquer avec différentes interfaces : RS-232, RS-485 et carte son USB pour fusionner différentes informations, à l'aide de la logique floue.

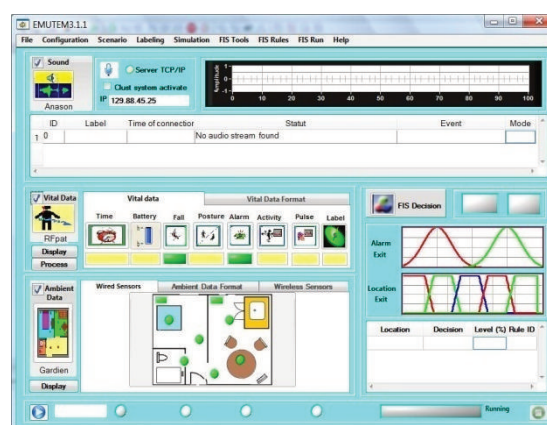


Figure 13 : Environnement de télévigilance médicale

2.6. Banc de mesures de signaux biomécaniques pour l'analyse de la marche

En collaboration avec le Centre Hospitalier Universitaire de Rouen, une équipe de l'ESIGELEC-IRSEEM a développé un logiciel de traitement des données issues d'une plate-forme d'analyse de la marche.



Figure 14 : Banc de mesures de signaux biomécaniques

L'objectif médical consiste à mettre en évidence des pathologies comme des problèmes de genoux, de

cheville ou de dos, et des troubles de l'équilibre. L'application a été développée avec LabVIEW et les signaux, issus d'une plate-forme de force, sont numérisés à l'aide d'une carte d'acquisition de données.

2.7. Simulateur cardiovasculaire à double activation pour la modélisation in vitro des écoulements intracardiaques

La société Protomed et l'ESIL ont développé un système de simulation hydrodynamique du cœur gauche et des vaisseaux sanguins systémiques et pulmonaires pour le test et la caractérisation des prothèses valvulaires cardiaques. La solution choisie consiste à utiliser LabVIEW et un système CompactRIO avec un banc d'essai de valves cardiaques pour un contrôle temps réel de la contraction et de la relaxation de modèle de l'oreillette et du ventricule gauche.

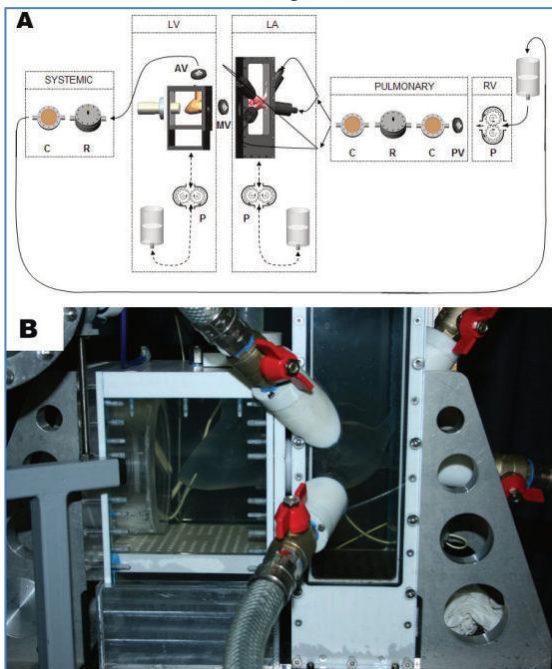


Figure 15 : modélisation des écoulements intracardiaques

2.8. Logiciel d'acquisition pour un système d'imagerie médicale tomographique

La start-up Litech a mis au point un logiciel complet et ergonomique pilotant un microscope de nouvelle génération pour l'imagerie OCT (Optical Coherence Tomography).

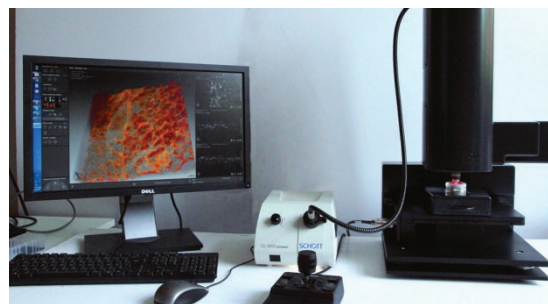


Figure 16 : Logiciel d'acquisition pour tomographie

LabVIEW a été utilisé pour effectuer le prototypage rapide d'un premier logiciel de laboratoire, puis la construction d'une application finale évoluée.

2.9. Autres exemples d'application dans le secteur de la santé

Il existe bien d'autres applications encore dans le domaine de la santé, comme l'analyse d'activité neuronale (Médiane Système pour le CNC du CNRS), un système temps réel utilisé en impesanteur et piloté par l'activité cardiaque (Université de Caen), la régulation de la cavitation ultrasonore dans un milieu de culture cellulaire (INSERM U1032 LabTAU), le pilotage d'instruments scientifiques destinés aux laboratoires de microfluidique (ELVESYS), la simulation de l'environnement mécanique d'une cellule ciliée observée sous le microscope (Institut Curie), etc.



Figure 17 : système temps réel utilisé en impesanteur

3. Les transports

Quelque peu sinistré en ce qui concerne l'automobile, les transports restent un secteur industriel très important en France, et qui nécessite beaucoup de moyens de test et mesure, notamment à cause d'une intégration croissante de l'électronique dans tous les véhicules, quels qu'ils soient. Mais les transports c'est aussi des routes, des rails, des canaux, des ponts... à construire et à entretenir.

3.1. Système de mesure d'impédance des essieux en mouvement pour la SNCF

Pour diminuer les bruits de roulement des trains, de nouvelles normes européennes imposent depuis quelques années de remplacer des mâchoires de frein en fonte par des mâchoires en matériaux composite. Mais, depuis, un phénomène a été observé : l'impédance de l'essieu et des contacts roues-rails, plus élevée, entraîne des tensions résiduelles au niveau du récepteur de CdV (circuits de voie), voire l'absence de détection de certains véhicules par ces mêmes CdV.

L'objectif de l'application est de concevoir un système permettant de mesurer l'impédance de chaque essieu d'un convoi ferroviaire lors de son passage sur la voie tout en tenant compte de plusieurs contraintes. Le principe de mesure imaginé par la SNCF consiste à injecter dans un circuit électrique superposable aux installations de signalisation existantes, un courant à une fréquence de 93,2 kHz et à mesurer le courant induit dans chaque essieu au moment du passage du train afin de déterminer l'impédance de chaque essieu. Développée par la société Assystem, le système de mesure fait appel à un châssis d'instrumentation PXI doté d'un contrôleur double cœur avec l'originalité d'assigner à chaque cœur un système d'exploitation différent (Windows XP et un OS temps réel) grâce à ce qu'on appelle un hyperviseur. Développé avec LabVIEW, l'application gère l'acquisition de l'ensemble des voies à 2 MHz, mais également le traitement des données et la sauvegarde des résultats sur disque en vue d'une exportation vers un poste d'exploitation.

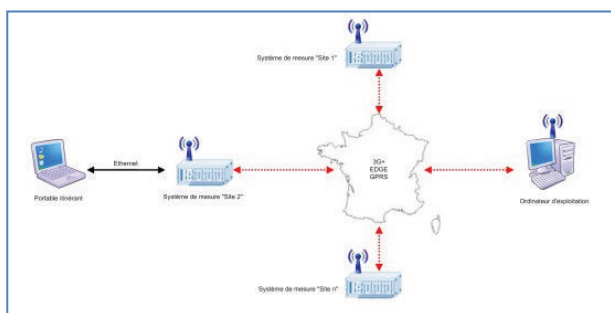


Figure 18 : Mesure d'impédance des essieux pour la SNCF

3.2. Validation des systèmes hydrauliques des futures écluses du canal de Panama

Dans le cadre de l'élargissement et de la modernisation du canal de Panama, la Compagnie National du Rhône a dû réaliser un modèle physique à l'échelle 1/30ème, de 65 m de long et 13 m de large, pour valider le système de remplissage et vidange de nouvelles écluses, proposé au terme de 6 ans d'études sur modèle numérique.

Equipé de près d'une centaine de capteurs et d'actionneurs, le modèle a subi près d'un millier de tests en 7 mois, grâce à une baie intégrant des conditionneurs et un châssis PXI doté d'un contrôleur temps réel et de cartes d'acquisition de données, le tout piloté avec LabVIEW. La solution choisie présentait un avantage financier sur les autres. Mais l'argument décisif fut de pouvoir isoler facilement les signaux afin d'éviter les phénomènes de boucle de masse.

Les résultats des essais ont permis de définir les performances hydrauliques du système d'alimentation des écluses et de valider ainsi les bases du cahier des charges pour la construction des ouvrages.



Figure 19 : Modèle au 1/30e des futures écluses du canal de Panama

3.3. Industrialisation des acquisitions d'un simulateur de conduite chez Renault

Ultimate est un simulateur composé d'un écran de visualisation et d'un cockpit de conduite générique (type Laguna 3) entièrement instrumenté, fixé sur un hexapode et sur une plate-forme mobile à rails X et Y. Renault a fait appel à la société Arcale afin d'améliorer ce simulateur, destiné à réaliser des essais virtuels dans les domaines du confort de conduite, de la tenue de route, ainsi que de la mise au point des systèmes d'aide à la conduite.

La partie « acquisitions » combine une application Windows pour le contrôle de la cible à distance, et une application temps réel tournant sur un système PXI doté de cartes d'acquisition de données, d'un circuit FPGA et de cartes d'interface au bus CAN. Cette partie déterministe gère l'acquisition/analyse des capteurs du cockpit, et l'envoi des données acquises vers le modèle véhicule via une mémoire réfective. Cette mémoire assure l'échange des données type freins, volant, clignotant, rapports de vitesses... avec le modèle de simulation véhicule. Une soixantaine d'informations sont transférées entre la cible et l'hôte à des cadences inférieures à quelques millisecondes.



Figure 20 : simulateur de conduite chez Renault

La partie Windows sert au lancement à distance de la gestion des capteurs/actionneurs du cockpit véhicule, à l'affichage des capteurs en cours de conduite, au dialogue avec le module de surveillance pour signaler des défauts logiciels, et à l'enregistrement des erreurs.

3.4. Gestion d'obsolescence d'un bus avionique

Dans le domaine de l'aéronautique, la durée de vie des équipements avioniques est très grande (plusieurs décennies). Durant toute cette période, leurs moyens de tests associés doivent être maintenus en condition opérationnelle et rester toujours aussi performants. C'est pourquoi Thales Avionics a choisi la technologie PXI garantissant la robustesse, la modularité et l'évolutivité nécessaire à ce type d'application.

Le système de test est basé sur un contrôleur PXI doté d'un hyperviseur pour exécuter en parallèle des applications basées sur Linux et des applications LabVIEW Real-Time. L'ensemble des OS est piloté par un PC distant sous environnement Windows avec le séquenceur de tests NI TestStand.

Pour répondre à un besoin spécifique en validation d'un bus avionique, dont les ressources de test étaient devenues obsolètes, la société DT2E a développé une solution basée un module FPGA (FlexRIO) directement intégrable à l'environnement PXI des moyens de test de Thales Avionics, et programmable sous LabVIEW. La gestion bas niveau des éléments matériels spécifique connectés en face-avant des modules (C N/A, C A/N,...) est codée directement en VHDL. Le code LabVIEW FPGA est dévolu à la gestion des échanges de données avec le programme temps réel, à la gestion DMA des mémoires et au séquençage global de l'applicatif de test.

3.5. Système de mesure de l'usure ondulatoire des rails de chemin de fer

L'objectif était de réaliser un outillage capable de mesurer en continu, à la vitesse d'un homme au pas, la non-planéité des rails, afin de déterminer la nécessité d'une campagne de meulage.



Figure 21 : Mesure d'usure des rails de chemin de fer

Pour ce faire, la société Teamfer a développé un chariot équipé d'une carte USB-6210, qui acquiert en continu les données issues de codeurs incrémentaux reliés à des roulettes odométriques, et de deux capteurs à Courants de Foucault qui mesurent la géométrie des rails.

3.6. Système PXI d'acquisition embarquable pour qualifier des véhicules dans des conditions extrêmes

Dans le but de réaliser les validations et les qualifications de véhicules industriels tous terrains dans des conditions extrêmes de tests, la société AOIP a conçu un système d'acquisition robuste et transportable à base de matériel PXI et du logiciel LabVIEW.



Figure 22 : Système d'acquisition embarquable pour conditions extrêmes

3.7. Contrôle acoustique de démarreurs en fin de ligne de production

Afin de tester des démarreurs électriques, la société Saphir a réalisé un système de contrôle de bruyance permettant d'associer une mesure acoustique objective au jugement subjectif d'un opérateur. Ce système est sur un module d'acquisition de données NI USB-9234 piloté par un programme LabVIEW capable d'effectuer une analyse en temps réel de la mesure acoustique en champ proche.

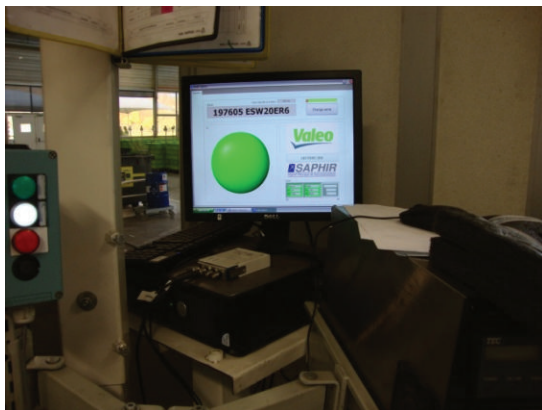


Figure 23 : Contrôle acoustique de démarreurs

3.8. Intégration d'un système de commande sur un véhicule électrique autonome

Dans le cadre projet européen InTraDE de développement d'un véhicule porte-conteneur autonome, l'université de Lille 1 et le LAGIS de POLYTECH'LILLE ont dû doter l'un de leur prototype sur-actionné en traction et en direction d'une technologie centralisée d'acquisition, de traitement et de contrôle. Le choix s'est porté sur du matériel de contrôle/commande NI CompactRIO pour équiper les trains avant et arrière, et ainsi acquérir et piloter tous les capteurs et les actionneurs embarqués.

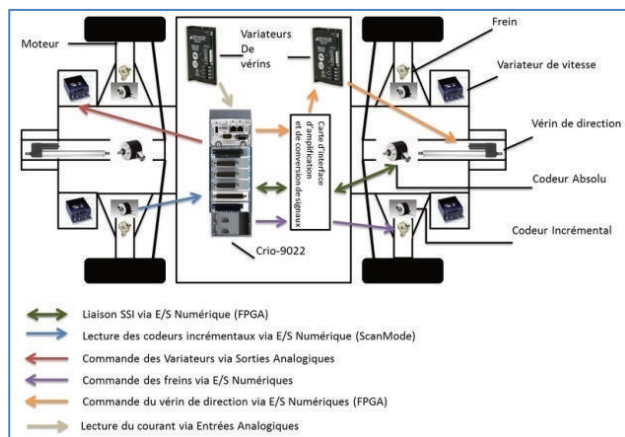


Figure 24 : Système de commande sur un véhicule électrique autonome

3.9. Rénovation de systèmes de contrôle/commande de souffleries

Destinées à effectuer des essais aérodynamiques en tous genres, les souffleries nécessitent d'acquérir des données et de commander des actionneurs. Dans le cadre des nombreuses rénovations des installations d'Eurocopter, du CEAT, de l'ONERA, et de la Soufflerie Climatique d'Ile-de-France, les nouveaux systèmes de contrôle/commande choisis pour répondre aux contraintes de précision et d'évolutivité propres à ce type de moyen d'essai sont pilotés par LabVIEW et basés sur du matériel CompactDAQ, PXI ou CompactRIO.

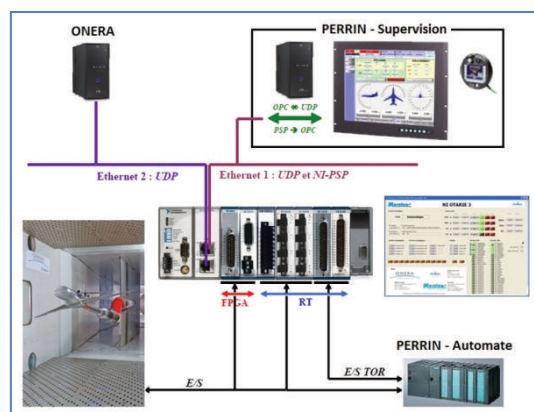


Figure 25 : Système de contrôle/commande de souffleries

3.10. Autres exemples d'application dans le secteur des transports

Dans les transports, et plus particulièrement de l'automobile, on trouve aussi de nombreuses applications de mesure et de contrôle liées aux bancs d'essais des éléments constitutifs des véhicules : banc d'essais d'alternateurs et d'alternateur-démarreurs (Nérlys pour VALEO), système de conduite d'un banc de freinage (Saphir pour Messier-Bugatti-Dowty), banc de contrôle faisceau et composants moteur (ACTEMIUM), caractérisation des frottements dans les paliers de turbocompresseurs automobiles (Honeywell Garrett), pilotage d'un parc de bancs de mesures photométriques (Pleiades Technologies pour VALEO), contrôle des appareils de climatisation (Alliance Vision pour VALEO), validation automatique de tableaux de bord (All4Tech pour Magneti Marelli), supervision des bancs d'essai fin de ligne de boîtes de vitesses (Styrel Technologies pour PSA), caractérisation d'un dispositif d'anti-pincement (Styrel Technologies pour SEALYNX Automotive).

Enfin, on peut citer d'autres applications relatives aux transports, comme la surveillance de la position des rails du RER (New Vision Technologies pour la RATP), la réalisation d'une centrale d'acquisition de données

embarquée dans une rame de métro (Arcalé pour ALSTOM), la validation d'un système de sécurité quai-voie d'un métro automatique (Viveris Technologies pour KEOLIS), le contrôle de câbles automobiles (Alliance Vision pour CRAFELEC), l'automatisation des tests d'intégration de systèmes avioniques (Safran Engineering Services), la conception d'un banc de test système « léger » pour les calculateurs aéronautiques (Viveris Technologies), la vérification fonctionnelle de modules électroniques pour l'aéronautique (Barco Silex), le test de calculateurs habitacle (Altran pour CONTINENTAL)...

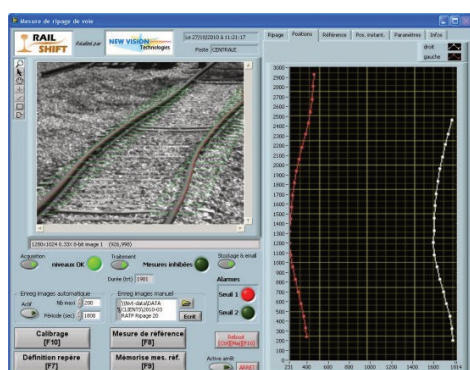


Figure 26 : Surveillance de la position des rails

4. L'électronique et les télécommunications

Secteur typiquement gourmand en systèmes de tests et mesures, l'électronique n'est plus ce qu'elle était en France mais elle représente encore une activité relativement dynamique, surtout dans le domaine des télécommunications.

4.1. Asservissement de lentille optique en surface d'un disque

La fabrication de matrices de disques optiques préenregistrés (17 milliards de disques en 2011) était jusqu'à présent réalisée sur des équipements complexes, coûteux et polluants. Kochka Technology propose une alternative avec un équipement basé sur un dispositif optomécanique BD de qualité industrielle, dont le fonctionnement nécessite l'asservissement précis et rapide d'une lentille optique à proximité du disque en cours d'enregistrement (environ 20 nm de précision à la vitesse de 7,7 m/s).

Pour assurer cet asservissement de façon déterministe, la société a évalué deux approches basées sur un circuit FPGA (après avoir rejeté la solution d'utiliser un DSP), l'une avec un logiciel de calcul et de simulation permettant la génération automatique de code VHDL sur carte FPGA, l'autre avec l'approche RIO consistant à utiliser du matériel NI « sur étagère » intégrant des E/S

et un FPGA programmable avec LabVIEW. C'est cette approche qui a été retenue sous la forme d'une carte PCI portant l'ensemble de la chaîne mesure/calcul/commande.

La solution adoptée a permis d'adapter un dispositif optique d'écriture de type BluRay à plusieurs types de media, CD, DVD, BD, pour réaliser une machine d'écriture de matrices de disques versatile et simple d'utilisation.

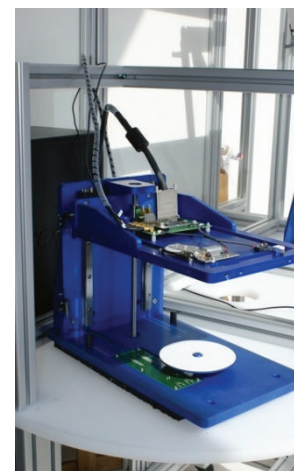


Figure 27 : Asservissement de lentille optique

4.2. Mesure en temps réel des interférences électromagnétiques dans un circuit intégré

Dans un contexte d'évolution rapide des performances et des technologies d'intégration, les fabricants de circuits intégrés sont de plus en plus demandeurs de nouvelles méthodes d'investigation et d'outils de simulation des problèmes de compatibilité électromagnétique (CEM).

Afin de caractériser et modéliser précisément les mécanismes de couplage des perturbations électromagnétiques sur les circuits intégrés et la création de défaillances, une équipe du LAAS a développé un capteur sur puce capable de mesurer les fluctuations de tension produites en tout nœud interne.

Pour évaluer ce capteur, l'équipe a mis au point un banc permettant d'injecter des perturbations harmoniques sur une ou plusieurs broches d'un circuit témoin associé à une matrice de 32 capteurs. Le banc est constitué de divers instruments de mesure pilotés sous LabVIEW à partir d'un PC équipé d'une interface NI GPIB-USB. La nouveauté consistait à coupler la commande du capteur et l'acquisition des données fournies par celui-ci avec le programme de pilotage du banc DPI. Le choix s'est porté sur une carte d'acquisition NI USB-6353 pour gérer les signaux de sélection du capteur, synchroniser l'échantillonnage du capteur, et contrôler l'instant d'échantillonnage.

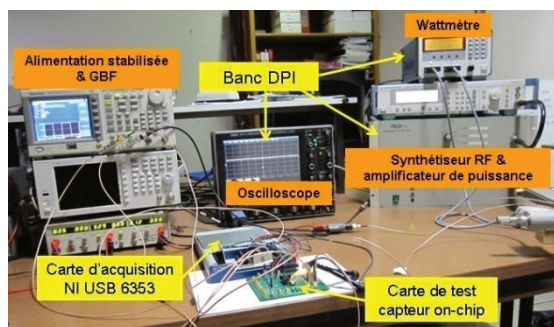


Figure 28 : Banc de mesure CEM

4.3. Préparation du déploiement de WiMAX en zone côtière

En matière de communication sans fil de nouvelle génération, comme WiMAX et LTE, les zones portuaires ou côtières se distinguent par un canal de propagation qui peut s'écarter des modèles classiques et nécessiter des études plus précises.

Pour ce faire, l'équipe CAST de Télécom Bretagne a pour mission de caractériser des canaux pour valider des hypothèses de modèle. Pour ce faire, elle a développé un système consistant à générer un signal test, à l'aide d'un dispositif calibré, à bord d'une plate-forme mobile, et à enregistrer le niveau de champ reçu à distance sur une ou deux voies également calibrées.

Afin de pouvoir rapprocher le niveau du signal reçu de la distance séparant l'émetteur du récepteur,

un dispositif de positionnement et de datation doit être disponible de part et d'autre. Piloté sous LabVIEW, le système est basé sur une instrumentation PXI et des disques RAID de 3 To permettant d'effectuer des campagnes de mesures de plusieurs jours suivant la bande analysée et la récurrence des enregistrements.



Figure 29 : Déploiement de Wimax en zone côtière

4.4. Multi-caractérisation d'objets communicants sécurisés

Le laboratoire de caractérisation sécuritaire de la plate-forme technologique Micro-PackS (ENSME, SE-CMP) a été créé dans le but de réaliser des bancs mutualisés pour caractériser la sécurité des systèmes (tels que les cartes à puce, téléphones portables...) selon différentes méthodologies.

Il permet aux industriels de caractériser rapidement leurs composants sécurisés ; aux petites et moyennes entreprises d'avoir un accès à des équipements performants déjà automatisés à un faible coût et aux chercheurs la possibilité d'accroître leurs expertises dans le domaine de la sécurité. Pour ce faire, il s'est équipé d'un banc laser, d'un banc de tests paramétriques, d'un banc électromagnétique, d'un banc consommation, et d'un banc dédié à l'étude des systèmes sans contact. Celui-ci se compose d'une partie dédiée à la modulation RF (plate-forme PXI) et d'une autre dédiée au traitement des signaux en temps réel, assuré par une carte FPGA au format PXI.

Pour pouvoir intégrer très facilement les appareils spécifiques (lecteurs), et assurer une grande modularité tant matérielle que logicielle, l'architecture logicielle, basée sur LabVIEW, est commune à tous les bancs, et évolutive.

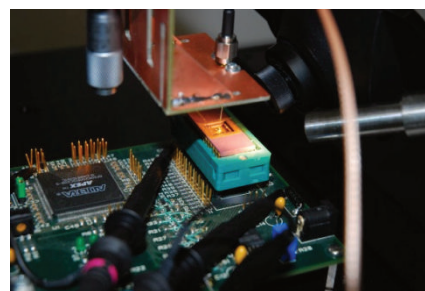


Figure 30 : Multicaractérisation d'objets communicants

4.5. Cartographie de défauts en temps réel sur circuits intégrés

ST-Ericsson souhaitait développer un outil facilitant la localisation de défauts physiques sur des circuits intégrés, à partir de l'analyse de grandeurs électriques complexes. La société a en fait amélioré, grâce à l'utilisation d'une carte FPGA au sein d'un châssis PXI, une méthode classique d'isolation de défauts par balayage laser, pour permettre des investigations relatives à des paramètres complexes.

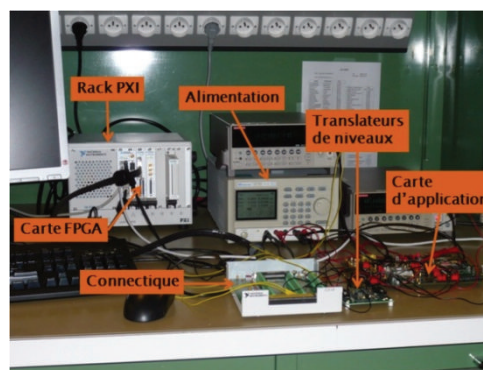


Figure 31 : Cartographie de défauts en temps réel

Dans le même domaine, la société ARDPI a développé un système de détection embarqué appelé MicroBox permettant de mesurer des microcoupures sur un grand nombre de voies de façon simultanée. Pour obtenir un appareil compact et performant, elle a fait appel à une carte NI Single-Board RIO, intégrant des E/S et un FPGA programmable sous LabVIEW.

4.6. Banc de test automatisé pour CODEC audio haute résolution

Dolphin Integration fabrique des CODEC audio de haute résolution, intégrant des convertisseurs analogiques/numériques et des convertisseurs numériques/analogiques multi-canaux.

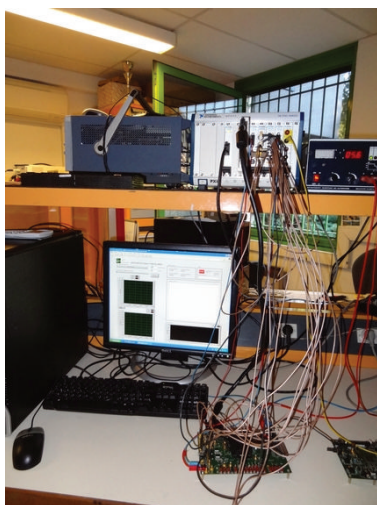


Figure 32 : Banc de test automatisé pour CODEC audio

Pour tester ces circuits, la société a mis au point une solution modulaire basée sur le PXI, qui permet le multiplexage de signaux analogiques, la génération et l'acquisition de signaux analogiques et numériques, ainsi que le contrôle des composants par un bus I2C.

4.7. Solution HIL pour la validation d'unités électroniques embarquées

La société EMC a développé un banc HIL (Hardware-in-the-Loop) destiné à réduire les coûts et les délais de développement de prototype liés à la validation des unités de contrôle électronique et de calculateur électronique. Ce banc est basé sur un châssis PXI piloté avec LabVIEW Real-Time.



Figure 33 : Banc HIL

4.8. Autres exemples d'application dans l'électronique

Dans le secteur de l'électronique, on peut noter aussi, parmi les exemples d'application, le développement d'un logiciel à architecture modulaire pour la caractérisation de composants IR (Arcalé pour le LETI), la supervision des équipements en salle blanche et leur intégration dans une architecture CIM (Freescale), le développement d'une plate-forme logicielle pour le test automatisé sur tranche Silicium (Arcalé pour le LETI), le test de circuits de communication RF (Mesulog pour ST-Ericsson), la validation des systèmes embarqués dirigés par les modèles (All4tech), etc...

5. Et encore d'autres domaines...

Il existe beaucoup d'autres domaines, où l'on peut trouver des applications de mesure, de test et de contrôle/commande, susceptibles d'inspirer la conception de TP ou de projets pédagogiques : la robotique, l'agro-alimentaire (figure 34), la sécurité, la surveillance de l'environnement, la maintenance préventive, la recherche fondamentale...

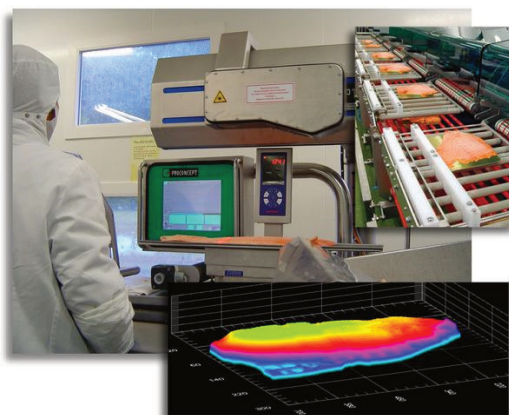


Figure 34 : Application de vision pour l'optimisation du tranchage de saumon (réalisée parNVT)

Pour en savoir plus sur ces applications, vous pouvez visiter la page www.ni.com/case-studies/f/ qui regroupe près de 2000 articles d'utilisateurs de produits National Instruments, dont 380 rédigés en français, et classés par type d'application, par industrie et par produit.

Exemples de travaux pratiques et de projets pédagogiques

Guillaume HYVERT

Ingénieur produits Enseignement et Recherche

National Instruments France

2, rue Hennape 92735 Nanterre Cedex, France

Résumé : *Durant la prochaine décennie, le monde de l'industrie et celui de la recherche devront faire face à une multitude de nouveaux défis. Nous avons vu dans l'article précédent que ces défis ont déjà donné lieu au développement d'applications concrètes. Mais l'avenir repose également sur les futurs ingénieurs et scientifiques fraîchement sortis de l'école et les enseignants et professeurs ont à cœur de préparer les élèves et étudiants aux demandes et exigences qu'ils rencontreront au-delà de leur cursus. Tout au long de cet article, sont présentés plusieurs projets pédagogiques, conçus et mis en œuvre par des professeurs. Ils illustrent tous les innovations et l'inventivité nécessaires pour inculquer les bons concepts. Ils gravitent également autour des problématiques globales qui constitueront les défis de demain. On retrouve, en effet, des applications mettant le doigt sur quelques-unes des grandes questions à venir : stockage de l'énergie, développement de la robotique, avancées des sciences de la vie...*

C'est dans ce cadre que National Instruments (NI) souhaite accompagner les enseignants et chercheurs au quotidien afin d'alimenter le moteur de l'innovation et d'aider la formation des prochains ingénieurs et scientifiques. De nombreuses applications sont mises au point grâce aux solutions logicielles et matérielles de NI et ce savoir-faire industriel doit être mis à profit pour soutenir la formation des jeunes. L'engagement de NI à assister les équipes enseignantes s'articule autour d'actions de sponsoring et de partenariat avec les écoles et aussi autour d'un support technique pour les professeurs lors de la création de leurs travaux pratiques et applications pédagogiques.

1. Introduction

Voici plusieurs applications élaborées à l'aide d'outils National Instruments au sein d'écoles d'ingénieurs ou de lycées. Certaines ont un but purement pédagogique, afin d'illustrer un concept pour des élèves. D'autres cherchent à reproduire le plus fidèlement possible des systèmes réels afin de confronter les étudiants aux défis qu'ils rencontreront. Elles sont présentées ici afin d'offrir un panorama des différents exemples de systèmes pédagogiques qui peuvent être conçus pour inspirer les élèves et les inciter à poursuivre une voie scientifique. Ces applications représentent aussi une importante source d'inspiration pour des professeurs qui cherchent à préparer de façon originale leurs élèves aux systèmes qu'ils rencontreront ultérieurement dans la vie active.

Les applications pédagogiques correspondent à des thématiques industrielles fortes et ont donc été regroupées en conséquence afin d'illustrer les concepts et points d'achoppements de chaque segment industriel actuel.

2. Domaine de l'énergie – applications liées aux technologies de stockage et de gestion de l'énergie

Les problématiques énergétiques sont bien évidemment l'un des enjeux clés des années à venir. Le développement des énergies renouvelables, de moyens de transport électriques ou encore les questions de stockage et d'optimisation énergétiques sont autant de questions auxquelles seront confrontés les ingénieurs et scientifiques de demain. C'est pourquoi de nombreuses écoles d'ingénieurs, dans leurs cursus de génie énergétique, ou des lycées, dans le cadre de la filière STI2D, développent des systèmes pédagogiques permettant une meilleure compréhension des problèmes inhérents à ce champ d'activités.

2.1. Borne de recharge Schneider didactique pour véhicules électriques

Par exemple, le Lycée Jules Viette, de Montbéliard, a, dans le cadre de sa filière STI2D et de son BTS Électrotechnique, développé une instrumentation pertinente afin de « didactiser » une borne de recharge de véhicule électrique. Cette application a pour but d'amener les élèves à appréhender les évolutions

nécessaires de la société autour des véhicules électriques (consommation, coût, communication borne et chargeur...).

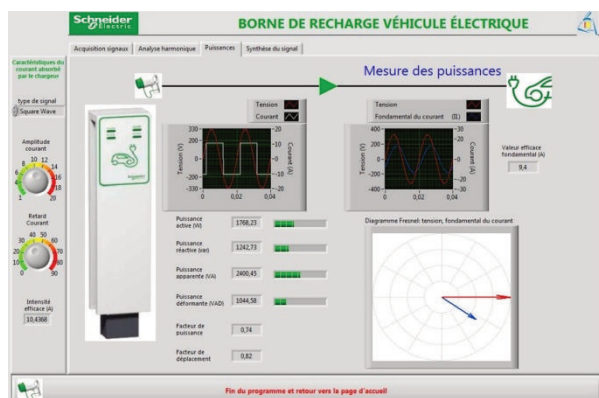


Figure 1 : Interface de mesure de la borne électrique

Avec ce système, les élèves ont l'opportunité d'effectuer des mesures en temps réel mais également de simuler des scénarii de recharge. Les grandeurs électriques de base, courant et tensions instantanées consommées, sont récupérées par des capteurs adaptés et transmises à la carte d'acquisition de données NI USB-6008. La mise en œuvre est extrêmement simple, seule une prise USB suffit pour l'alimentation du matériel et la récupération des données. Le Toolkit Electrical Power, quant à lui, facilite le développement des notions liées à l'énergie (consommation, puissances, qualité de l'énergie...). L'objectif, récupérer les informations liées à la chaîne d'énergie, a été atteint (voir Figure 1). Une séquence d'enseignement de trois heures permet, par exemple, à un élève, à partir de caractéristiques d'un véhicule électrique, d'indiquer à un éventuel client le coût approximatif de la recharge.

2.2. Banc de validation d'instruments de mesure de vent

Toujours sur le thème du travail relatif aux énergies renouvelables, et une nouvelle fois au Lycée Jules Viette, les élèves ont été mis à contribution sur un projet visant l'implantation d'une éolienne de quelques kilowatts au sein du lycée, sur un site dit « faiblement venté ». Les élèves ont travaillé sur ce défi en effectuant l'acquisition et le traitement de données d'une campagne de mesures de vent sur ce secteur, en respectant les normes Météo-France.

C'est un défi car, statistiquement, la vitesse du vent sur ce plateau est trop faible pour assurer un rendement suffisant à l'éolienne. Cependant, le plateau d'implantation étant bien dégagé dans la direction des vents dominants et de nouvelles éoliennes étant spécialement conçues pour de faibles vents, le projet peut être un succès. C'est pour cela qu'une campagne de mesures sur une longue durée a été effectuée afin

d'estimer au plus juste la production électrique qui découlerait de l'implantation de l'éolienne.

Afin de pouvoir extrapoler la vitesse de vent à différentes hauteurs, le choix a été fait d'implanter deux anémomètres (l'un à 6 mètres du sol et l'autre à 10 mètres). Pour acquérir la vitesse du vent, un tambour crénelé, fixé sur l'axe du moulinet défile entre l'émetteur et le récepteur d'un capteur optique à fourche. La vitesse du vent est déduite de la fréquence des impulsions obtenues.

Un banc d'essai, construit au lycée, met en œuvre les différents éléments afin de valider les choix ainsi que la partie logicielle. Pour tester la mesure de vitesse, l'axe du tambour crénelé a été couplé mécaniquement à un moteur à courant continu dont le pilotage, à vitesse variable, est effectué via le logiciel LabVIEW.

Le banc de test a permis de valider les différents instruments de mesure, la partie logicielle et le respect des normes Météo-France. L'équipe enseignante a présenté ce projet aux Olympiades des Sciences de l'Ingénieur 2011. L'équipe, constituée de trois élèves de Terminale S Sciences de l'Ingénieur, s'est qualifiée pour la finale nationale.

2.3. Maquette d'éolienne pilotée à distance avec des boîtiers d'acquisition de données USB

Dans le cadre, là encore, de la mise en application pour des élèves, des notions fondamentales liées aux énergies vertes, d'autres lycées ont également développé leurs systèmes didactiques. On peut citer, par exemple, l'automatisation et la régulation d'une maquette d'éolienne qui a été mise au point par les professeurs du Lycée Pierre-Gilles de Gennes à Digne-les-Bains.

L'idée était ici de développer une solution permettant de commander à distance une maquette d'éolienne à des fins pédagogiques, avec la possibilité qu'une séquence d'apprentissage puisse être effectuée par un élève éloigné de l'éolienne.

Destinée plus particulièrement aux élèves de la filière S, option Sciences de l'ingénieur, la maquette est conçue avant tout pour une utilisation locale (potentiomètre, commutateur, rhéostat, afficheur, etc.). Compte tenu du prix de cette maquette, les enseignants ont souhaité partager ce système avec d'autres sections. Une solution permettant d'exploiter tous les paramètres à distance a donc été développée à partir de matériels d'acquisition gérant les commandes et mesures, pilotés par l'ordinateur à l'aide de LabVIEW.

Un système supervisé a ainsi été créé, visualisable à distance via une caméra IP (voir Figure 2), permettant la commande de l'éolienne à distance de façon satisfaisante pour un coût de revient faible.

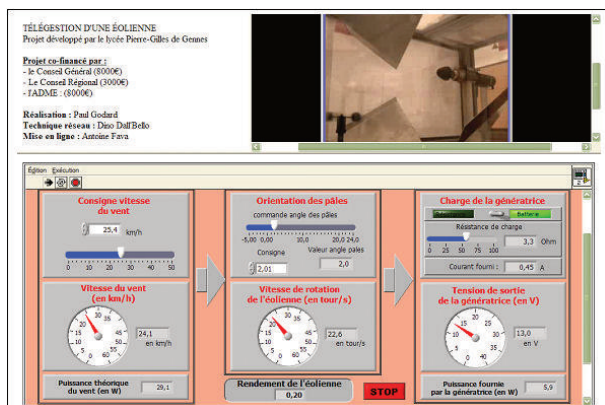


Figure 2 : Interface de mesure du système éolien didactique

2.4. Optimisation de l'utilisation énergétique de la maison autonome Canopea

Une autre question importante, dans le domaine énergétique, sur laquelle industriels et chercheurs sont actuellement au travail, est liée au stockage de l'énergie et à l'indépendance énergétique des bâtiments. Cette problématique, étroitement liée à des notions de domotique, a donné lieu en septembre 2012 au concours Solar Decathlon Europe 2012 dont l'objet est de concevoir et réaliser une maison solaire à énergie positive.

Au sein du « Team Rhône-Alpes », en association avec les écoles d'architecture de Grenoble et de Lyon, l'E.N.S.E3, des laboratoires de recherche et de nombreux partenaires industriels, l'I.U.T 1 de Grenoble, département Génie Électrique, a participé activement à ce concours. Il avait notamment en charge la partie gestion intelligente de l'énergie du bâtiment.

L'objectif affiché était d'interfacer les équipements de stockage d'énergie avec le réseau de communication du bâtiment et d'aider au pilotage précis de l'utilisation énergétique de la maison « Canopea ». Entièrement automatisée, la maison, de type F3 de 75 m², est pilotée par un iPad. Lors des heures de pointe, les consommations de la maison sont effacées du réseau, et en cas de coupure d'énergie, la maison peut fonctionner de manière autonome pendant 48 heures.

Excepté l'onduleur chargeur et la batterie qui ne disposent pas d'un protocole de communication adéquat, l'ensemble des équipements de la maison communique sur la base d'un protocole Modbus Ethernet. Pour assurer la communication entre ces équipements, l'équipe a choisi d'utiliser une carte Single-Board RIO intégrant des entrées/sorties reconfigurables par FPGA.

Celle-ci assure le stockage et la mise à disposition des principales grandeurs électriques provenant de l'onduleur chargeur et de la batterie, mais aussi le calcul de l'état de charge et de décharge de la batterie et donc le pilotage en conséquence de l'onduleur chargeur. Les

ordres de pilotage provenant des IHM sont convertis par la carte qui les répercute sur les différents équipements. Enfin, l'intelligence embarquée dans la carte Single-Board RIO améliore la mise en place des stratégies inhérentes à la gestion de l'énergie électrique afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie électrique disponible et de limiter au maximum l'utilisation du réseau de distribution d'énergie électrique.

Le concept « Canopea » (voir Figure 3) a concouru contre 17 autres projets venant des quatre coins du monde. Il a été récompensé par une première place au classement général des dix épreuves sur lesquelles ont été évalués les candidats et a été classé premier sur les aspects fonctionnement de la maison, confort, innovation et architecture.



Figure 3 : La Team Rhône Alpes devant la maison Canopea

2.5. Kit pédagogique « pile à combustible » BAHIA par Héliion

Enfin, la recherche de nouvelles solutions énergétiques passe également par la compréhension des principes fondamentaux des piles à combustibles. Dans ce cadre, Héliion, filiale d'Areva, a développé un kit pédagogique « pile à combustible » appelé BAHIA, avec LabVIEW. Il se compose d'un banc didactique de tests d'une pile à combustible de puissance 1 kWe et d'une Interface Homme-Machine intégrant notamment un simulateur de fonctionnement du système pile et des supports pédagogiques et d'analyse de résultats des travaux pratiques.

La solution retenue pour le banc didactique a été de développer un système économique et performant à partir d'une unique carte d'acquisition de données de la Série M. Cette carte au format PCI est implantée dans un PC exécutant LabVIEW Real-Time. Elle a en charge l'acquisition de l'ensemble des 24 voies de mesures (thermocouples, pression, débit...) ainsi que le pilotage en analogique, numérique ou PWM de l'ensemble des huit actionneurs du banc (électrovannes, pompe, compresseur, ventilateurs...). Enfin, la communication

avec l'Interface Homme-Machine s'effectue par le biais d'une liaison Ethernet (voir Figure).



Figure 4 : Système pédagogique de pile à combustible

Ce système contrôlé par l'environnement LabVIEW offre la possibilité d'adjoindre à la pile à combustible des fonctionnalités avancées à visées pédagogiques et permettant de disposer d'une plate-forme évolutive à même de répondre aux ambitions des universitaires.

3. Domaine de la robotique – applications de mécatronique transversales

Les questions de robotique, ou, au sens plus large, de systèmes autonomes embarqués, mettent en jeu un grand nombre de compétences pluridisciplinaires. Dans le cadre de l'industrie, comme de la recherche, le nombre applications totalement ou partiellement liées à un élément robotisé est en augmentation depuis plusieurs années. Dans le cadre d'un enseignement, la robotique ou, plus largement, la mécatronique est

également un domaine très porteur puisqu'il met en œuvre des compétences transverses en plus de regrouper, de façon ludique, de nécessaires connaissances en électronique, mécanique et informatique.

3.1. Robot guitariste clone – projet fédérateur pour les étudiants de l'IUT de Montpellier

La création d'un robot, au sein d'une école, est un projet fédérateur tant il nécessite une réflexion et une mise en œuvre à l'interface de plusieurs savoir-faire. Le Robot guitariste clone, développé par l'IUT Mesures Physiques de Montpellier, illustre parfaitement ce concept.

Le but de ce projet portait sur la création d'une maquette permettant d'illustrer simplement et pédagogiquement, pour les étudiants, la notion de chaîne de mesure, d'acquisition et de commande en utilisant comme support une guitare instrumentée.

Ce robot clone guitariste, qui associe musique et technologie, a été développé par quatre étudiants durant trois semaines. Les étudiants ont conçu la chaîne de mesure et de commande de façon simple et didactique en utilisant des composants industriels les plus représentatifs du marché. Pour le logiciel, une référence industrielle que les étudiants pourraient retrouver, une fois en entreprise, a été recherchée. LabVIEW s'est imposé comme étant le meilleur compromis notoriété-accessibilité pour les étudiants.

Le projet s'est déroulé en deux parties : tout d'abord faire l'acquisition et le traitement d'un morceau de musique joué à la guitare par un vrai musicien puis reproduire, sur la guitare robotisée, à l'aide de quatre électroaimants, le morceau de musique numérisé (Figure 5).

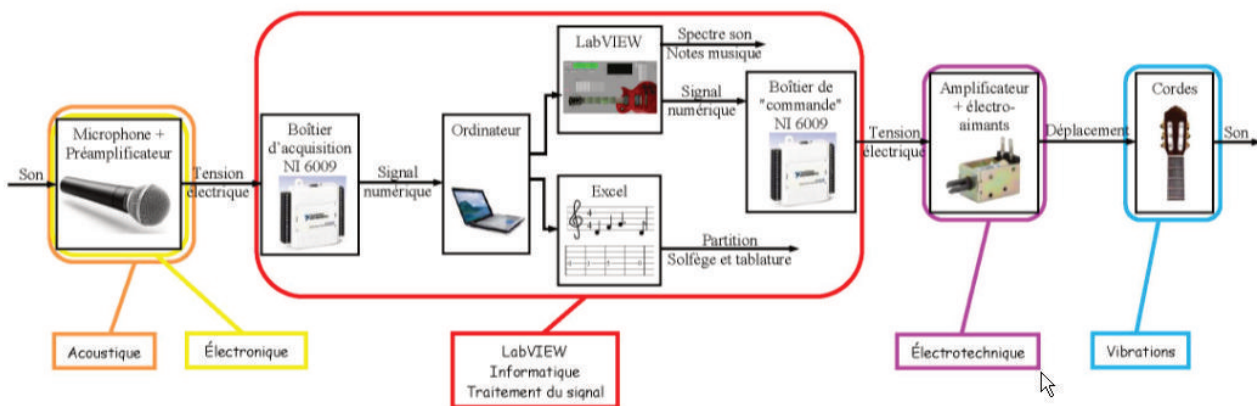


Figure 5 : Synoptique de la chaîne de mesure

Ce projet pluridisciplinaire reprenant une grande partie des matières de leur formation a intéressé et motivé les étudiants avec, à l'appui, un objectif à leur apprentissage.

3.2. Robot compétiteur à la Coupe de France de robotique 2011

Chaque année, une Coupe de France de robotique est organisée. C'est une formidable occasion pour les écoles de démontrer leur savoir-faire et d'offrir à leurs étudiants un projet d'étude ludique. Les professeurs de l'IUT1 de Grenoble ne se sont pas trompés en proposant depuis plusieurs années à leurs élèves des départements GEII1 et GMP de participer à cette coupe. En 2011, un robot autonome basé sur une carte Single-Board RIO a pu prendre part à l'édition « Chess Up » de la coupe. Objectif : réaliser un robot capable de « jouer aux échecs » sur une table de 2x3 m.

Les étudiants ont conçu l'ensemble du robot : la partie mécanique, l'intégration des capteurs et des actionneurs (moteurs à courant continu pour les déplacements du robot, servomoteurs pour les différents actionneurs comme la pince...) et le développement des programmes et stratégies afin de marquer le plus grand nombre de points possibles.

Ce projet était tout particulièrement intéressant car il a confronté les étudiants au développement d'un système complet et leur a demandé de mettre en œuvre des compétences pluridisciplinaires ainsi que des capacités de planification afin de réaliser un robot capable de respecter les critères d'homologation en temps et en heure. En outre, il a permis aux étudiants de se confronter et d'échanger avec de nombreux compétiteurs allant de l'équipe familiale, aux groupes composés de membres de laboratoires de recherche en robotique en passant par des élèves de BTS/DUT ou d'écoles d'ingénieurs.

Le bilan de la compétition a été une 41ème place très encourageante pour des étudiants de niveau Bac+2/Bac+3 qui participaient pour la première fois à une compétition de robotique. Cela a permis au robot de l'IUT de se classer devant un certain nombre d'écoles d'ingénieurs. Au niveau de l'IUT de Grenoble, il s'agit de la meilleure place depuis huit ans dans cette compétition.

4. Sciences de la vie – applications transversales dans le domaine de la santé et de la biomécanique

Les sciences du vivant bénéficient constamment des évolutions technologiques afin d'améliorer et de démocratiser des examens autrefois rares et coûteux. Plus spécifiquement, le secteur de l'imagerie médicale

évolue très rapidement avec les développements technologiques, permettant des diagnostics et une visualisation non invasive des affections d'un patient pour mieux cibler des interventions chirurgicales.

4.1. Endoscopie virtuelle implémentée par le département génie biomédical de Marseille (ESIL-GBM)

Cette effervescence du domaine est un terrain très dynamique pour l'apprentissage des étudiants et pour alimenter leur créativité. Un bon exemple de cette saine émulation est le projet d'endoscopie virtuelle qui a été développé par les étudiants de génie biomédical de Marseille (ESIL-GBM).

L'objectif affiché était pour le Département Génie-Biomédical (GBM) de l'École Supérieure d'Ingénieurs de Luminy (ESIL) de mettre en œuvre un projet pédagogique basé sur le développement d'une application d'imagerie médicale 3D de la trachée. L'endoscopie virtuelle permet parfois de s'affranchir d'une exploration clinique délicate et invasive.

Un tel développement, destiné à illustrer les concepts inhérents à la visualisation 3D, se divise en trois phases : une phase d'analyse d'images (scanner ou IRM) isole les points de la structure anatomique à modéliser. Une phase de reconstruction ou de modélisation permet de structurer ensuite un objet surfacique. Une phase de visualisation/utilisation. Cette étape finale permet la manipulation du modèle 3D. L'accent a été mis ici sur le navigateur d'endoscopie, pour focaliser le projet sur les concepts inhérents à la visualisation 3D : placement de caméra, orientation des points de vue, changement de repère, méthodes de rendu (voir Figure).

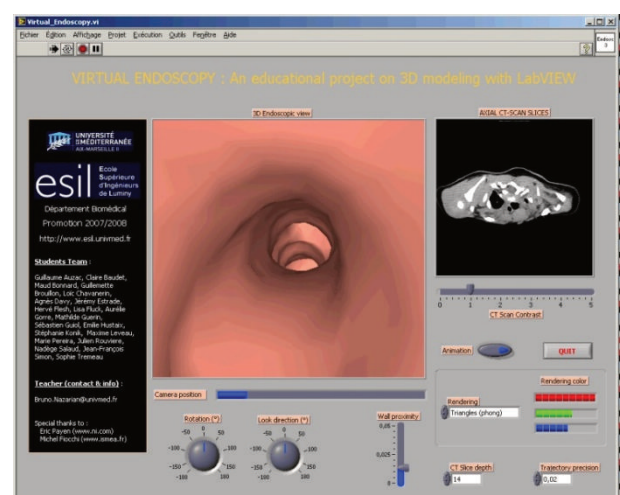


Figure 6 : Écran de visualisation de l'endoscopie virtuelle

Le cahier des charges était donc d'utiliser une reconstruction existante d'une trachée, allant de la partie glottique (cordes vocales) jusqu'à la région de la bifurcation trachéo-bronchique. Les étudiants ont choisi

eux-mêmes l'environnement de programmation avec lequel ils voulaient travailler. Leur choix s'est porté unanimement et avec enthousiasme sur LabVIEW, qu'ils avaient eu l'opportunité d'étudier durant leur cursus.

Le succès de ce projet a laissé la possibilité de réutiliser le travail pédagogique réalisé sur ce système d'imagerie 3D dans les cours suivants comme illustration des concepts et comme support de communication pour l'école.

4.2. Spectromètre RMN conçu à partir d'instruments modulaires PXI

L'un des écueils rencontrés lors de la conception pédagogique d'un système d'imagerie médicale est le prix des composants. Par exemple, les spectromètres RMN/IRM (Imagerie par Résonance Magnétique Nucléaire) du marché sont constitués d'éléments complexes développés spécifiquement, d'où leur coût élevé. De plus, ces ensembles, peu évolutifs, peuvent difficilement s'adapter à des applications plus spécifiques.

Le Laboratoire de Biomécanique de l'Hôpital de Hautepierre de Strasbourg a donc décidé de développer son spectromètre RMN à partir d'instruments modulaires PXI pour contourner ce problème. L'application, développée intégralement à partir de l'environnement LabVIEW, permet le contrôle des différents matériels d'entrée/sortie, la programmation de tous les éléments d'une séquence de relaxométrie RMN et d'imagerie, l'affichage en temps réel des signaux de pilotage et des signaux acquis, et enfin la reconstruction et l'enregistrement des images (TIFF). En imagerie bas-champ, les performances sont comparables à celles des spectromètres classiques, avec notamment une résolution typique de 500 microns par pixel, mais avec une plus grande facilité d'utilisation et une grande facilité d'adaptation (voir Figure 7).

Le spectromètre ainsi développé permet d'aborder toutes les mesures relaxométriques, la programmation et l'utilisation des séquences classiques d'imagerie. De l'aveu de ses concepteurs, son usage s'est montré particulièrement adapté aux séances d'enseignement organisées autour de cette plate-forme.

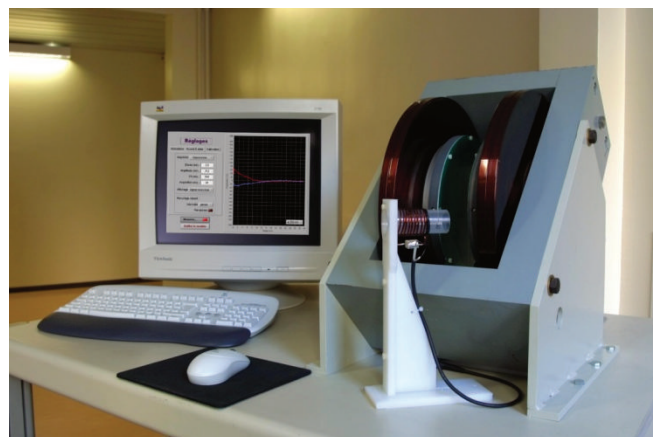


Figure 7 : Spectromètre RMN basé PXI à encombrement réduit

5. Automobile et transport – Essai et validation de systèmes

Les moyens de transport, l'automobile en particulier, sont des objets quotidiens auxquels nous ne prêtons pas forcément attention. Toutefois, ils sont constitués d'une mécanique parfois complexe et sont de parfaits exemples pour démontrer l'application de règles physiques et mécaniques aux élèves et étudiants.

5.1. Banc de test d'injecteurs

Le fonctionnement d'un injecteur, par exemple, est une chose à laquelle nous sommes régulièrement confrontés et qui mérite d'être expliqué en profondeur. Au Lycée Vauban de Brest, un banc de test d'injecteurs a été développé dans cette optique afin de disposer d'une maquette didactique permettant aux élèves de mieux cerner les concepts principaux (voir Figure). L'idée est de fournir un système clé-en-main permettant la réalisation d'essais en mode automatique d'injecteurs électromagnétiques pour moteurs à allumage commandé. En effet, la formation STS Moteurs à Combustion Interne, dispensée par le lycée, traite en partie des éléments opératifs des systèmes d'injection. L'étude expérimentale des injecteurs est donc tout à fait pertinente. De plus, la communication entre systèmes relève de la partie Automatique et d'Informatique Industrielle (AII) du programme.



Figure 8 : Vue complète du système de test d'injecteurs

Le banc de test d'injecteurs remplit deux fonctions principales. Il s'agit de générer un train de n impulsions, à la fréquence de 50 ou 100 Hz, et avec un rapport cyclique dépendant du temps d'injection voulu (commande PWM). Après chaque train d'impulsions, on mesure la masse de carburant débitée pour les n injections. Des fonctions de calcul et de graphique sont également implantées et les résultats sont enregistrés.

Les essais d'injecteurs constituent une première exploitation pédagogique. Il est aussi possible d'inciter les étudiants à recréer les fonctions de « communication » ou de « génération d'impulsion ». Un point important est l'aspect « ludique » de la manipulation, et le fait que les étudiants puissent vérifier immédiatement le fonctionnement de leur VI LabVIEW sur la machine.

Au final, le banc d'essai d'injecteur réalisé est simple mais très performant. Il met en œuvre des notions intéressantes pour les étudiants et en adéquation avec le programme d'AII.

5.2. Supervision des grandeurs physiques sur un gyropode Segway

Des moyens de transport plus originaux peuvent aussi être une excellente occasion de créer un système didactique. Par exemple, un gyropode de type Segway est un système complexe très intéressant en termes de concepts physiques mis en jeu. L'instrumentation d'un tel système débouche sur une maquette didactique intéressante et évolutive. Les sociétés DMS, spécialisée dans la conception et la réalisation d'équipements didactiques pour les formations technologiques et professionnelles et Arcale, spécialisée dans le test et la mesure, se sont associées pour instrumenter un gyropode.

Le système à enseigner résultant est adapté aux compétences et connaissances à acquérir dans les différents programmes aux niveaux Baccalauréat (SSI et STI2D) et Classes Préparatoires aux Grandes Écoles. Des études comportementales (comparaison entre le

modèle théorique et le système réel instrumenté) et fonctionnelles peuvent ainsi être effectuées par le biais d'acquisitions et de traitements de données venant du gyropode.

Les grandeurs physiques mises en jeu sont la tension et le courant des batteries, les courants et les tensions aux bornes des deux moteurs à enroulements séparés, les positions des deux roues (via des codeurs), l'inclinaison de la potence et les informations issues d'un accéléromètre et d'un gyromètre 3 axes (voir l'écran de mesure, Figure).

Pour procéder aux acquisitions, une carte électronique à base de FPGA et microcontrôleur a été développée spécifiquement pour être embarquée sur le gyropode. La communication entre celui-ci et les postes de travail s'effectue en Bluetooth pour sa facilité d'intégration et de mise en œuvre.

Cet équipement se veut pédagogique. Il est ergonomique et facile d'utilisation. LabVIEW a été choisi pour ses possibilités de création d'une interface homme-machine conviviale. Les fonctions natives ont permis de mettre en place rapidement une communication Bluetooth et une DLL a été développée dans l'environnement de développement en C NI LabWindows/CVI pour communiquer avec le microcontrôleur et lire ses données via un flux USB.

Élaborée en deux semaines, l'application finale est facile à utiliser, didactique et évolutive par la modularité du code et permet facilement de rajouter des fonctionnalités afin de tirer parti au mieux du Segway pour l'enseignement.



Figure 9 : Écran de mesure de l'application Gyrodidact

6. Enseignement pédagogique – Systèmes didactiques pour aider à la compréhension des élèves

Pour boucler notre tour d'horizon des applications pédagogiques, il est également nécessaire d'évoquer l'existence des systèmes purement didactiques, plus détachés du monde réel et des applications industrielles mais qui offrent aux élèves et étudiants des bases

simples et claires de réflexion sur des notions théoriques. Dans ce cadre, l'accent est souvent mis sur l'illustration de concepts physiques, sans pour autant être liés à un cas concret. Le principe est avant tout de permettre aux étudiants de comprendre simplement et de façon interactive des notions fondamentales enseignées dans leur cursus en vue de les préparer ultérieurement à prendre en main des systèmes réels.

6.1 Simulateur pour l'apprentissage du traitement du signal

C'est à partir de ce postulat que le département Mesures Physiques de l'Université de Montpellier a développé un simulateur interactif pour l'apprentissage du traitement du signal sous LabVIEW. Le but de ce simulateur était de faciliter l'apprentissage des outils de traitement du signal afin d'en faire découvrir les possibilités et limites. Le simulateur, simple d'emploi et rapide, permet un apprentissage basé sur l'expérimentation (analyse du problème, essai de solution, critique du résultat) avec l'interface utilisateur la plus simple et conviviale possible (voir Figure 10).

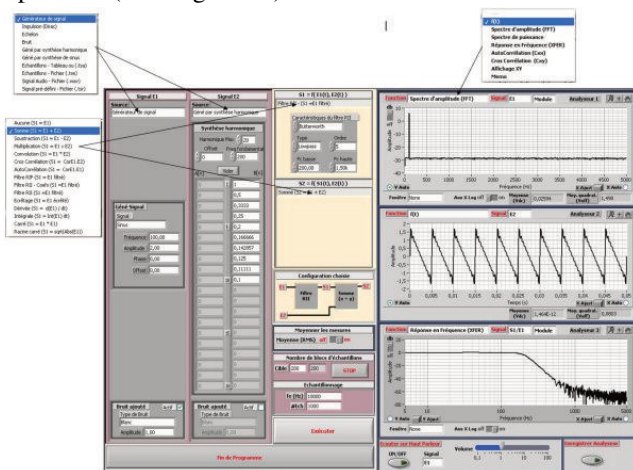


Figure 10 : Interface utilisateur du simulateur

Le simulateur peut envoyer n'importe quel signal (avant ou après traitement) sur les haut-parleurs de l'ordinateur via la carte audio. Deux sources de génération peuvent être définies de façons très diverses (générateurs périodiques, impulsions, fichier audio wav...) et il est possible de rajouter un bruit (blanc, rose, gaussien) aux signaux.

Des opérations d'addition, de multiplication, de dérivée, d'intégrale, de convolution, de filtrage, d'écrêtage, et de corrélation sont réalisables pour modifier et combiner des signaux. Trois analyseurs-afficheurs permettent enfin les opérations classiques de traitement du signal dans le domaine temporel (graphe $f(t)$, valeur moyenne et efficace, auto et cross corrélation) et fréquentiel (graphe $f(w)$, module et phase, fonction de transfert, cross spectre...).

Cette application permet d'explorer les thèmes suivants: signal (énergie, puissance, valeur RMS, synthèse de Fourier et bruit), analyse spectrale, corrélation, convolution et filtrage. La possibilité de générer un signal non connu (signal noyé dans un bruit par exemple) et de faire déterminer certaines caractéristiques de ce signal est très formatrice et l'utilisation de la carte audio rend très attractive l'étude du filtrage et de la convolution.

6.2 Portail automatisé pour collège avec LEGO MINDSTORMS NXT et LabVIEW

Afin de faire découvrir les principes de l'automatisme et de faire toucher du doigt aux élèves la complexité qu'un système automatisé peut représenter, le collège de Tezenas du Montcel a mis à disposition de ses élèves de 4ème une maquette de portail automatisé réalisée à partir des briques LEGO MINDSTORMS NXT et du logiciel LabVIEW. Le projet pédagogique de portail automatisé est développé autour du thème central « domotique et confort ».

Ce projet s'inscrit dans la partie gestion et communication de l'information. Il intègre donc une partie d'analyse du fonctionnement et de programmation du système. Les élèves sont amenés, à travers différentes problématiques, à développer totalement la programmation du système ou à modifier une application existante non conforme. Ce projet permet d'effectuer une réduction d'échelle de quelques solutions techniques de façon homothétique. Les élèves procèdent à des comparaisons entre un système réel de portail automatisé et leur maquette. Ils visualisent ainsi les similitudes. Ils sont aussi amenés à analyser le fonctionnement d'un portail automatisé à travers une carte euristique.

Des investigations sont proposées aux élèves pour les amener à l'automatisation progressivement. Les élèves peuvent se rendre compte que pour faire fonctionner l'ouverture du portail, il faut des moteurs et un système de commande couplé à des capteurs. Le système est utilisable en lumière ambiante et intègre la gestion de la sécurité si une automobile se présente alors que le portail se referme. Enfin, le portail peut s'ouvrir à distance et le système émet un signal lumineux lors du fonctionnement. La brique de contrôle NXT affiche en continu les états du système (voir Figure 11).

Le NXT a l'avantage d'être un système embarqué simple d'utilisation. Le système permet de tester très rapidement in situ les capteurs et les actionneurs. En outre, un simulateur de portail automatisé a été développé avec LabVIEW pour que les élèves puissent rapidement appréhender des étapes de fonctionnement. Ce simulateur permet de faire fonctionner le système et

d'intégrer ensuite une contrainte supplémentaire de sécurité avec une barrière optique. Les élèves visualisent ainsi plus facilement la contrainte de sécurité et son fonctionnement.

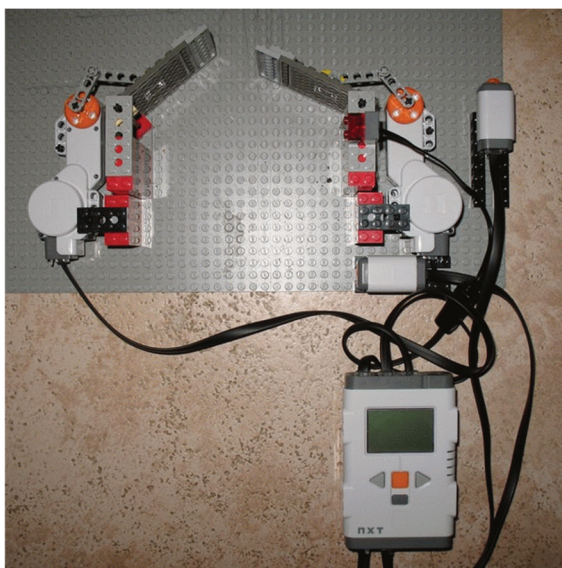


Figure 3 : Portail automatisé construit avec le kit LEGO

Globalement le système est un atout pour les classes de 4ème puisqu'il permet à la fois l'apprentissage des concepts de l'automatisation et les avantages de la simulation avec une maquette ludique et un logiciel simple d'utilisation.

7. Conclusion

Les grands défis de demain seront relevés par les élèves d'aujourd'hui. Au fil de cet article, plusieurs applications de travaux pratiques pédagogiques ont été mises en avant, dans des domaines variés liés aux contraintes industrielles. Il existe, bien entendu, de nombreux autres projets pédagogiques déjà existants offrant aux étudiants une illustration des concepts abordés au long de leur cursus. D'autres domaines peuvent aussi être explorés en tant que source d'inspiration – l'article précédent en présente un certain nombre. L'utilisation d'outils évolutifs et la mise en commun des ressources, des informations et des idées seront certainement le fondement des projets et des systèmes pédagogiques innovants à venir. Le catalogue d'applications existantes, présenté dans cet article, s'inscrit dans cette démarche et incitera, sans doute, les équipes enseignantes à travailler en synergie.

Enseigner avec un Compact RIO

Ghislain REMY

Maître de Conférences, IUT de Cachan

9 Av. de la Division Leclerc, 94230 Cachan

Résumé : Cet article présente les principes de fonctionnement et de programmation du Compact RIO, système industriel de contrôle/commande utilisant des modules d'entrées/sorties reconfigurables, et développé par National Instrument. Dans cet article, l'accent est surtout mis sur l'intérêt et l'utilisation du Compact RIO en enseignement.

1. Compact RIO : une interface entre le prototypage rapide et l'électronique industrielle embarquée.

Ces dernières années, les systèmes d'acquisition, de contrôles-commandes, de supervision et de sauvegarde de données en temps-réel ont rapidement évolué dans l'industrie. Notamment, à cause de l'apparition des FPGA qui rivalisent, voir qui dépassent maintenant les microprocesseurs et les microcontrôleurs en termes de performance. Ainsi de façon judicieuse, des solutions industrielles sont apparues utilisant des FPGA couplés aux microprocesseurs, permettant ainsi de combiner la facilité de programmation des microprocesseurs utilisant des langages de haut niveau (gestion réseau, système d'exploitation, etc.), avec les performances des FPGA, notamment pour la possibilité de pouvoir reprogrammer les connections entre les différentes entrées/sorties (logique câblée conférant par nature un vrai parallélisme aux fonctions programmées). Depuis 2005, National Instrument vend le Compact RIO : ce système associe une architecture embarquée de petite taille dans un boîtier très robuste, des modules d'E/S industriels échangeables à chaud et qui s'appuie sur la technologie FPGA d'E/S Reconfigurables, d'où le nom « RIO ». Globalement « Compact RIO » ou « cRIO ».



Figure 1 : Compact RIO avec son contrôleur et ses modules.

Pour une utilisation en travaux pratiques, le Compact RIO est un outil intéressant : notamment, pour l'aspect modulaire qui permet de changer les modules d'entrées-sorties (même à chaud) et donc d'adapter rapidement les séances de TP pour faire de l'acquisition, du pilotage de

système, de la supervision ou tout simplement de la programmation sur cible. Il faut aussi considérer qu'il existe plus de 50 modules différents disponibles (entrées/sorties analogique et/ou numérique, communication CAN / LIN / Wifi, acquisition de capteurs en tension / en courant / pour sondes thermiques, etc.). D'autre part, le Compact RIO est connectable en Ethernet directement sur le réseau, le rendant ainsi facilement déplaçable d'une salle à l'autre. Il a un faible encombrement et est très robuste. Enfin, son prix reste raisonnable (entre 3000€ et 5000€) pour du matériel utilisé principalement en industrie et donc non spécifique à l'enseignement.

L'utilisation du Compact RIO est particulièrement adaptée à l'enseignement par projet autour de systèmes réels. Par exemple, à l'IUT de Cachan, nous avons développés plusieurs systèmes à base de Compact RIO : Buggy électrique, Kart électrique, Banc de test de scooter électrique...

Dans la suite de cet article, l'architecture du Compact RIO, puis sa configuration à l'aide du logiciel NI MAX sera présentée. Enfin, la programmation avec LabVIEW sera détaillée suivant une progression pédagogique liée à la technologie du Compact RIO.

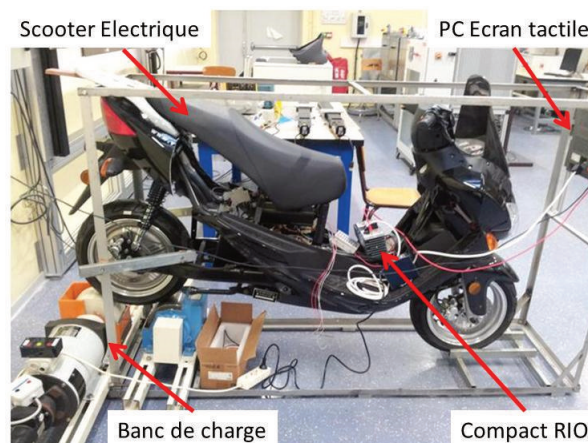


Figure 2 : Exemple d'un Scooter électrique instrumenté.

2. Architecture détaillée

Les Compact RIO sont composés de deux parties, (séparables ou d'un seul bloc suivant la gamme) : Le contrôleur avec son microprocesseur et le châssis avec son FPGA.

Le contrôleur en temps réel de la série NI-90xx est muni d'un processeur avec une large gamme de fréquences d'horloge (de 400Hz à 1,3GHz) permettant la mise en œuvre d'algorithmes de contrôle déterministe. Il intègre de la mémoire de stockage non volatile (de 2 Go à 32Go), de la mémoire flash (DDR2 de 256 Mo à DDR3 de 2Go). Il intègre de plus un ou deux ports Ethernet avec serveurs Web et FTP, pour un interfacement utilisateur déporté. On trouve aussi un port hôte USB Hi-Speed, pour la connexion de périphériques flash et de mémoire. Enfin, il possède un port série RS-232. Son alimentation est double comprise entre 9 à 35 Vcc. Le cRIO communique exclusivement par le port Ethernet avec un PC hôte.

Le châssis est disponible en deux formats, à savoir avec 4 et 8 slots. Le module FPGA présent dans le châssis incorpore un FPGA de marque Xilinx (Virtex 5 ou Spartan 6). Il est utilisé pour la mise en œuvre de niveau logique bas sur les données acquises à l'aide des modules d'entrées-sorties. Le FPGA est programmable séparément et est relié au dispositif de commande en temps réel à l'aide d'un bus interne haut débit PCI.

Les modules d'entrées-sorties sont des cartes de la série C faites principalement par National Instruments, mais aussi par des sociétés tierces. Ces modules sont échangeables à chaud.

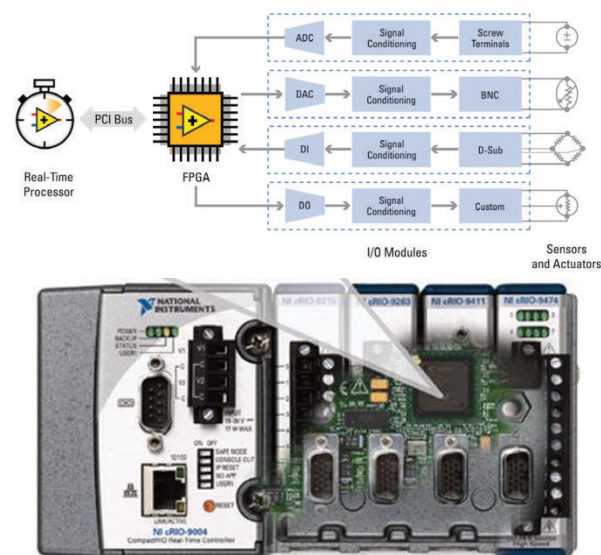


Figure 3 : Architecture interne du Compact RIO

3. Configuration du Compact RIO

La configuration du Compact RIO s'effectue principalement par le logiciel NI MAX, de son vrai nom « Measurement and Automation Explorer » :



Toutefois, il est important que lors de l'installation de LabVIEW, les modules Real-Time et FPGA soient installés. De plus, il faut installer les drivers pour les cibles Compact-RIO (sur le CDROM des drivers). En effet, sans ces modules et drivers, il ne sera pas possible de reconnaître et de programmer le Compact RIO. Remarquons que la démarche qui est présentée dans ce paragraphe est aussi applicable à toute la famille des Single-Board RIO (sbRIO).

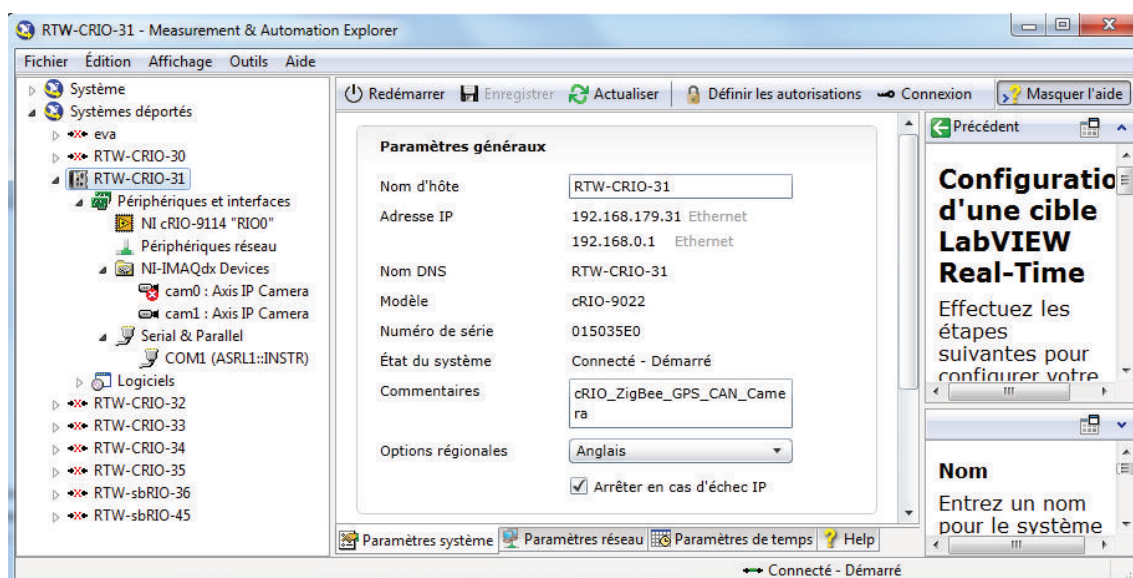


Figure 4 : Configuration dans NI MAX du Compact RIO

La configuration réseau s'effectue alors en sélectionnant l'onglet « Paramètres réseau », en bas de la figure 4. Il est ainsi possible de configurer la carte Ethernet via un DHCP ou avec une configuration statique. Cette dernière solution plus fastidieuse permet néanmoins de garantir le fonctionnement du système même hors réseau : par exemple, le Compact RIO pourra ainsi être connecté directement sur le PC de l'étudiant/enseignant avec un câble réseau. Le client configurant alors sa carte réseau sur l'IP (ici 192.168.179.1 dans la figure 5) correspondant à l'adresse de la passerelle « Gateway » du cRIO.

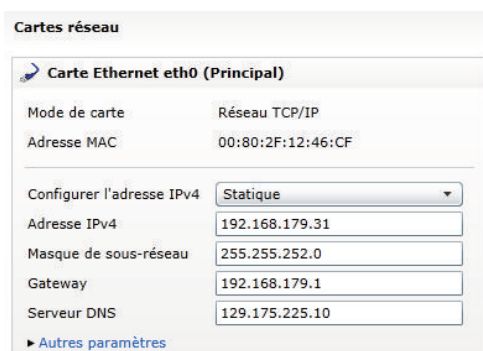
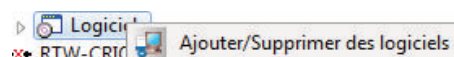


Figure 5 : Configuration Ethernet statique ou par DHCP

L'étape suivante est l'installation des logiciels dans la cible cRIO, qui lui permettra ainsi de pouvoir communiquer avec l'ordinateur, de recevoir du code LabVIEW précompilé et de fonctionner de manière autonome avec un OS embarqué (NI-RIO 12.0 par exemple) qui est temps-réel et déterministe.



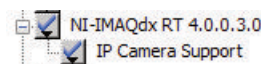
Il est important de comprendre que la version de LabVIEW Real-Time du PC doit correspondre avec la version NI-RIO installée dans le cRIO : sans quoi, la communication est quasi-impossible... Ce problème de version différente de LabVIEW entre les différents postes ou de salles d'enseignement est très fréquent, et nous pose à chaque fois des problèmes au démarrage des séances de travaux pratiques...

D'autre part, la configuration proposée par défaut n'installe pas tous les drivers disponibles dans le cRIO.



Figure 6 : Installation de l'OS embarqué, NI-RIO

Par exemple, pour l'utilisation d'une caméra réseau (Caméra IP), il est nécessaire de faire une « Installation personnalisée des logiciels », représentée sur la figure 6 et de valider l'option « IP Camera Support »



Le Compact Rio est maintenant opérationnel !

4. Programmer un cRIO = Explorateur de projet

Le Compact RIO est considéré dans LabVIEW comme un système déporté : c'est-à-dire une cible autonome sur laquelle le code compilé va s'exécuter. Il doit donc être ajouté au projet comme une cible distante et non pas dans l'ordinateur. Le projet sera composé notamment : de programmes LabVIEW (fichiers .vi), de répertoires virtuels (pour faciliter le rangement des programmes du projet), de bibliothèques de programmes ou de variables partagées (fichiers .llb), de modules entrées-sorties (variables I/O), etc.

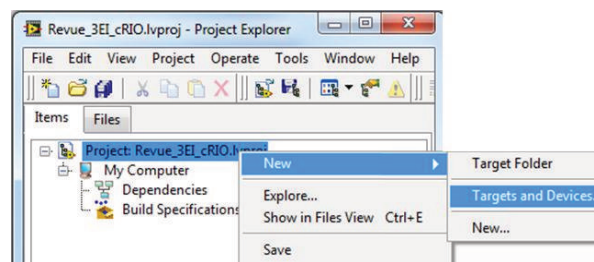


Figure 7 : Explorateur de projet

Si le cRIO est alimenté et connecté au réseau lors de l'ajout de la cible au projet, LabVIEW reconnaitra alors le contrôleur, le châssis et l'ensemble des C-modules disponibles. Autrement, il est possible d'ajouter le Compact RIO manuellement en précisant sa référence puis en modifiant son adresse internet (IP).

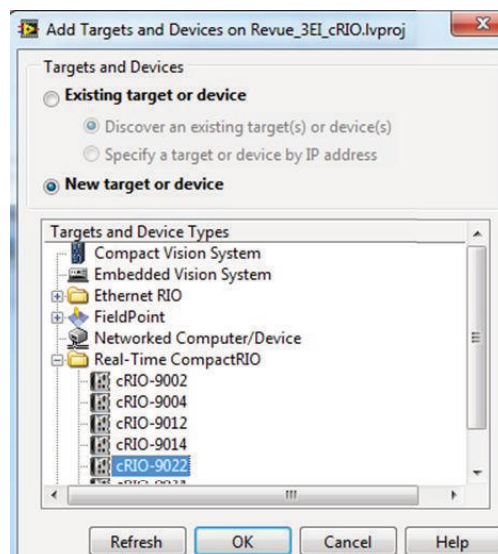


Figure 8 : Ajouter un Contrôleur de cRIO

De la même façon, manuellement ou de manière automatique, on peut ajouter un châssis :

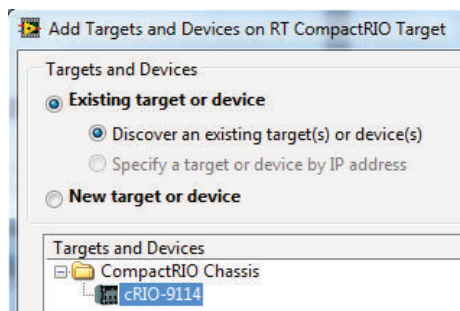


Figure 9 : Ajout d'un châssis.

Les modules enfichés dans le châssis (carte d'entrée analogique, par exemple) peuvent alors être utilisés suivant deux modes de programmation :

- Le mode « Scan Interface », qui permet d'utiliser les modules de la Série C directement à partir de LabVIEW Real-Time. Ce mode nécessite NI-RIO IO installé dans le contrôleur.
- Le mode « LabVIEW FPGA Interface », qui permet d'utiliser les modules de la série C à partir du module LabVIEW FPGA.

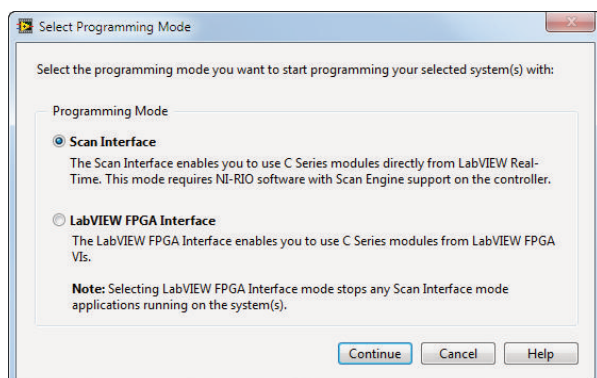


Figure 10 : Sélection du mode programmation

Pédagogiquement, le mode Scan Interface est conseillé dans un premier temps car il permet de ne pas prendre en compte les problématiques liées au FPGA : telles que la programmation en nombre entier ou la compilation très lente du FPGA (5 à 7 min au minimum), qui est classique chez tous les fabricants de FPGA, donc aussi lent avec Altera, Xilinx...

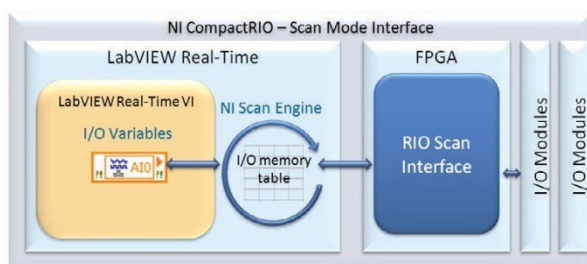


Figure 11 : Description du mode « Scan Interface »

Le principe du mode « Scan Interface » est de proposer une version précompilée pour le FPGA des modules d'entrées-sorties, comme décrit dans la figure 11. Ainsi, l'étudiant ne se rend pas compte que le module est interfacé avec un FPGA et surtout le temps de compilation est réduit à moins de 2 minutes. Nous constatons très souvent qu'en travaux pratiques, notamment dans ceux concernant le VHDL, le temps de compilation joue fortement sur la motivation et l'implication des étudiants...

Le mode LabVIEW FPGA Interface permet toutefois de réaliser un code compilé optimisé pour le projet et donc plus performant : par exemple, la programmation par boucle cadencée se base sur une horloge de 1 kHz ou 1 MHz en mode Scan Interface et sur une horloge de 40 MHz en mode LabVIEW FPGA Interface.

Néanmoins, il est à noter que certains modules commercialisés ne sont pas compatibles avec le mode Scan Interface. Ainsi, les modules de communication CAN, doivent être utilisés en mode LabVIEW FPGA Interface.

5. Programmer en mode Scan Interface

La figure suivante montre l'architecture d'un projet cRIO utilisant le châssis et un module d'acquisition de voie analogique NI 9201. Ici, le module d'entrée est composé de 8 voies. Chaque voie peut-être renommée pour faciliter la lecture du programme par la suite. Enfin, le programme LabVIEW est ajouté au niveau du contrôleur : ici, « Mesure_Tension.vi »

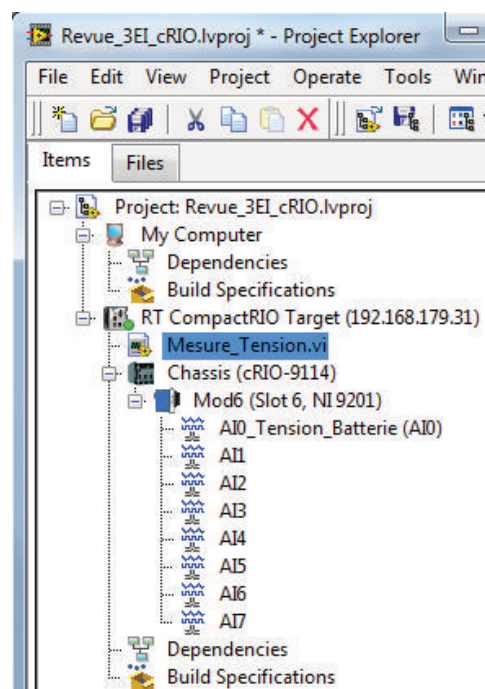


Figure 12 : Architecture d'un projet en Scan Interface

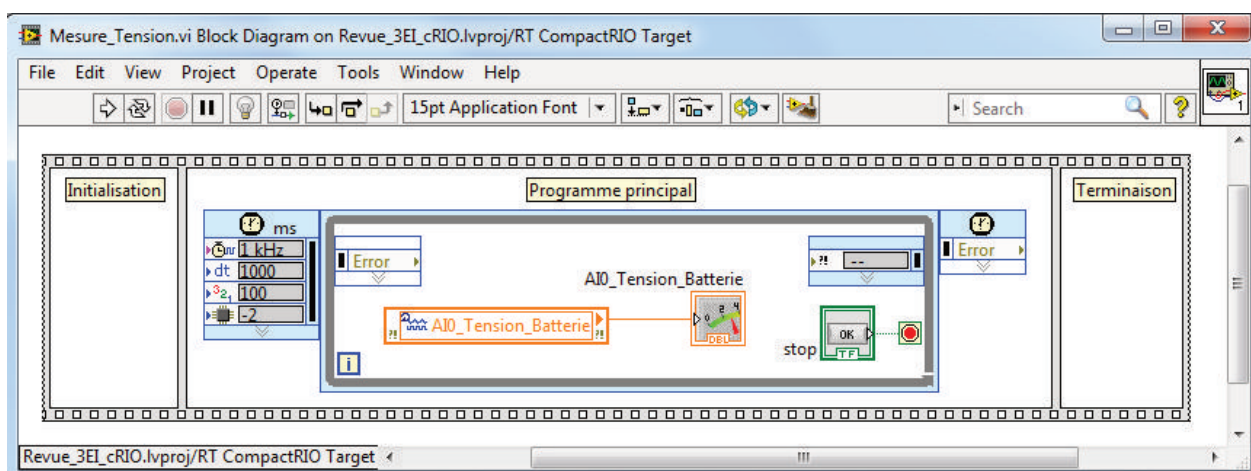


Figure 13 : Exemple de programme permettant l'affichage de la tension batterie toutes les 1 ms

Dans la programmation de systèmes embarqués, il est préférable d'ajouter des routines d'initialisation et d'arrêt du cRIO. Par exemple : on peut imaginer la gestion d'un ascenseur ; Lorsque le programme se met en route, la commande des freins doit s'initialiser à une certaine valeur pour maintenir les passagers en sécurité. Il en est de même pour l'arrêt du programme.

Pour faire une acquisition toutes les 1ms, il faut ensuite ajouter une boucle cadencée à 1 kHz, avec un bouton de contrôle pour gérer son arrêt. Puis dans le programme .vi, il suffit alors de glisser-déposer, à partir de la fenêtre de l'explorateur de projet vers le diagramme du .vi, « AI0_Tension_Batterie (AI0) ». L'affichage du résultat de l'acquisition peut se faire sur la face avant à l'aide d'une jauge ou d'un graphique déroulant ou encore d'un afficheur numérique, etc.

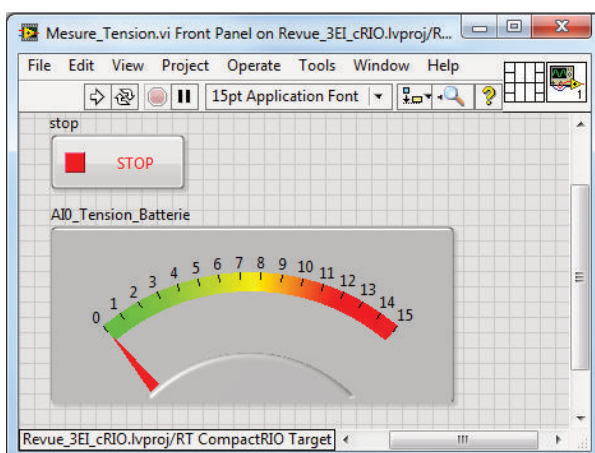


Figure 14 : Face avant et jauge affichant la tension batterie

C'est un exemple très simple, mais qui correspond parfaitement à l'utilisation principale que nos étudiants font du cRIO en travaux pratiques et en projet.

Toutefois dans quelques cas le mode « Scan Interface » ne suffit pas, et il est nécessaire d'ajouter la cible FPGA pour pouvoir utiliser certains modules.

6. Programmer en mode FPGA

Pour basculer en mode « LabVIEW FPGA Interface », ils existent plusieurs solutions : soit supprimer le châssis du projet et en ajouter un nouveau châssis en sélectionnant le mode « LabVIEW FPGA Interface » comme décrit dans la figure 10. Soit conserver le châssis actuel et ajouter une cible FPGA.

Ensuite, le C-module désirée doit être ajouté aux projets. La figure suivante montre l'ajout d'un module CAN de référence NI 9853.

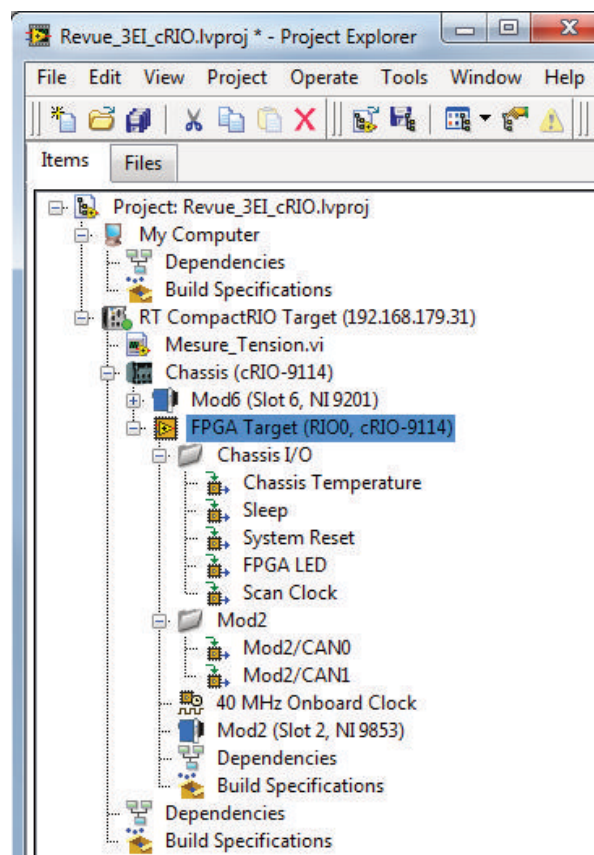


Figure 15 : Exemple de projet avec une cible FPGA et un module CAN

La programmation dans LabVIEW est ensuite quasi-identique à celle utilisée en mode Scan Interface, exceptée que les nombres flottants sont interdits. Il est alors nécessaire de travailler avec des nombres réels en virgules fixes.

7. Conclusion

Pour résumer : la configuration du Compact RIO s'effectue par le logiciel NI MAX et sa programmation utilise LabVIEW et l'explorateur de projet.

Le mode Scan Interface permet d'utiliser la plupart des modules disponibles et simplifie fortement la tâche aux étudiants pour réaliser des acquisitions de signaux analogique. En effet en mode « LabVIEW FPGA Interface », la gestion des flottants n'est pas autorisée. La synchronisation des données entre le microprocesseur et le FPGA étant d'un niveau plus avancé, elle fera l'objet d'un futur article pour préciser les différentes techniques réalisables.

8. Pour en savoir plus

Il existe un document gratuit de 225 pages en langue anglaise (malheureusement non traduit en français) sur la programmation pas à pas du Compact RIO : <http://www.ni.com/compactriodevguide>

On trouve aussi sur le site de National Instruments des travaux pratiques sur la prise en main du Compact RIO : **CompactRIO Hands-On Tutorial, Basics I and Basics II** :

<http://www.ni.com/white-paper/3111/en>

<http://www.ni.com/white-paper/3112/en>

Enfin, le forum internet en français et en anglais de National Instrument est une source intéressante pour les étudiants, puisqu'on y trouve des codes de programmes en libre accès déposés par la communauté et dont les utilisateurs peuvent discuter pour proposer des améliorations ou plus simplement demander un renseignement :

<https://decibel.ni.com/content/community/regional/france/labview>

LABVIEW : une plateforme pour la mise en œuvre des TP sur les bus de terrains industriels

Jean-Louis BIANCHI

Lycée Jules Ferry

29 rue du Maréchal Joffre – 78000 Versailles

Résumé : Utilisation de Labview à travers un travail pratique en STSD IRIS. La mise en œuvre d'une communication par bus GPIB entre un appareil d'acquisition et Labview.

1. Pourquoi Labview ?

Avec la généralisation des équipements communicants, l'approche pédagogique expérimentale doit être repensée pour intégrer l'étude des réseaux et bus de terrains industriels. Cela implique d'une part la maîtrise des outils de mise en œuvre des différents protocoles réseaux, et d'autre part une approche nouvelle de l'étude des équipements eux-mêmes dans ce contexte. Nous avons abordé ce dernier point dans un précédent article de la revue 3EI (Deprez/Bianchi/Juton/Maillefert : bus de terrain et supervision); en ce qui concerne l'étude des bus de terrains et réseaux industriels, plusieurs points sont à prendre en considération :

- Le niveau d'intervention : l'approche ne peut être identique si l'on s'adresse à des étudiants en formation BTS/DUT ou à des étudiants en école d'ingénieur et en licence professionnelle. L'étude des bus de terrains et leur mise en œuvre implique un socle de connaissances stabilisé sur les équipements (instruments, automates, calculateurs) et leur mise en œuvre spécifique.

La spécialité : même si l'enseignement de l'informatique a beaucoup progressé, la réalisation d'applications dans des contextes communicants peut se heurter à un manque de maîtrise des outils de développement informatique. Cela peut être le cas d'étudiants non spécifiquement informaticiens mais amenés à développer des applications telles que supervision d'automates, instrumentation et centralisation de mesures par exemple.

Ce dernier point est à relativiser : on objectera qu'il existe des outils spécifiques développés pour répondre à ces besoins tels que les logiciels de supervisions par exemple. Toutefois ces outils sont très spécialisés, parfois orientés vers un type de matériels ou constructeurs bien précis. Leur mise en œuvre suppose un apprentissage complètement dédié, très opératoire et qui sera souvent limité à ce que l'on peut faire dans le temps imparti. Par ailleurs, même si les concepts sont

souvent proches, la spécialisation n'est pas souhaitable d'un point de vue pédagogique.

La plateforme Labview nous semble amener des solutions à la fois techniques et pédagogiques très intéressantes. D'un point de vue technique, notons qu'il s'agit d'un outil très répandu en milieu industriel et donc fiable. La mise en œuvre des matériels est grandement simplifiée, particulièrement si on utilise des supports National Instruments, mais également avec la plupart des équipements pour lesquels des solutions (pilotes) Labview existent. Si Labview est né avec l'instrumentation, son évolution a considérablement élargi les champs d'application et il intègre des outils adaptés à la plupart des préoccupations industrielles : supervision, instrumentation, traitement du signal, contrôle process, temps réel etc...

D'un point de vue plus pédagogique, remarquons que le développement sous Labview utilise tous les concepts informatiques de base (variables, tableaux, structures de programmation, manipulations de données...) ; son apprentissage vient donc conforter les fondamentaux. Par ailleurs, on remarquera que l'interface graphique est particulièrement bien adaptée aux étudiants des filières génie électrique habitués à la schématisation et au concept de flux de données. L'aspect intuitif du développement, parfois critiqué, peut être relativisé si l'enseignant a le souci d'exiger une analyse formalisée.

Enfin, remarquons que les bibliothèques intégrées de Labview permettent de traiter tout type d'entrée/sorties d'instruments en mettant en œuvre les outils de communications de données spécifiques à la plupart des protocoles. On dispose ainsi d'une plateforme très ouverte qui au lieu de spécialiser, sectoriser les filières, donne à tous des outils simples à mettre en œuvre pour la réalisation d'applications informatiques industrielles.

2. Mise en situation

Nous avons choisi, au travers de deux Travaux Pratiques, d'aborder l'étude et la mise en œuvre de bus de terrains industriels. Ces travaux sont proposés à des étudiants en licence professionnelle A.I.I. option « contrôle et instrumentation des systèmes embarqués » proposée aux étudiants bac+2 conjointement par le lycée Jules Ferry de Versailles et l'I.U.T. de Cachan, et à des étudiants apprentis ingénieurs en génie électrique. Deux aspects sont visés au travers de deux séances de T.P. :

Les outils de communication dans les applications d'instrumentation, et c'est le bus G.P.I.B. qui a été retenu, certes ancien mais toujours très utilisé dans l'industrie, pour sa fiabilité et son universalité dans le domaine de la mesure et de l'instrumentation.

La supervision des automates programmables industriels en réseaux utilisant le protocole MODBUS TCP sur Ethernet.

3. Les objectifs

Chaque TP possède des objectifs propres au contexte industriel de référence mais l'objectif commun principal est de développer une application dans un temps limité (4 heures) mettant en œuvre un bus de terrain industriel et sa problématique développée en cours.

4. Le contrôle d'un instrument par bus GPIB (IEEE488)

Il s'agit ici de mettre en œuvre l'outil LABVIEW dans une application avec machine d'états permettant le contrôle distant d'un oscilloscope Tektronix TDS2xx ainsi que l'acquisition de mesures au travers du bus GPIB/ IEEE488. Les champs abordés sont :

- **Instrumentation** : Configurer un instrument de mesure pour permettre son contrôle au travers d'un réseau sur bus IEEE488.
- **Bus de terrain** : Configurer un **bus IEEE488** avec un contrôleur maître et un instrument de mesures
- **Programmation Labview** : Créer une application **LABVIEW** permettant de lire ou écrire des commande ou données sur un bus IEEE488 vers un instrument de mesures afin de le contrôler et effectuer des acquisitions de mesures.
- **Développement informatique** : concevoir une machine d'états.

4.1. Matériel et logiciels utilisés :

- Coupleur IEEE488/USB National Instruments: GPIB-USB_HS5
- Un oscilloscope avec interface GPIB Tektronix TDS2xxx
- un câble IEEE488.

- Un PC avec LABVIEW 2011 et MAX (Measurement& Automation).

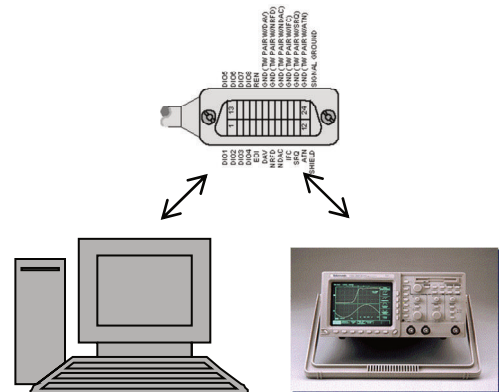


Coupleur IEEE488/USB

4.2. Le contexte et les objectifs du TP :

Nous avons constitué un banc de mesures avec :

- Un instrument de mesure contrôlable par une interface informatique, et qui effectue l'acquisition
- de mesures.
- Un bus de communications GPIB permettant le transfert des données de mesures et des commandes
- de configuration.
- Un ordinateur pour la supervision du banc.



Nous devons réaliser un programme informatique qui ordonne de manière séquentielle les ordres à l'instrument pour que celui-ci ait une configuration adaptée aux mesures que l'on souhaite réaliser et nous renvoie celles-ci au travers du bus GPIB pour un affichage dans une I.H.M. Les données récupérées peuvent être les points de la courbe d'une voie choisie de l'oscilloscope ou l'acquisition d'une mesure demandée par l'utilisateur telle que fréquence, tension RMS ou autre...

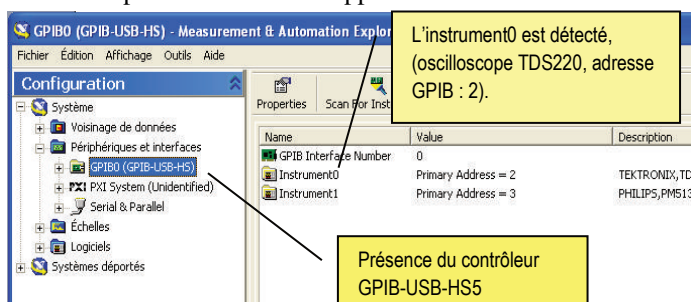
4.3. La progression du TP et les méthodes proposées :

Les étudiants ont à leur disposition le répertoire des commandes et questions GPIB propres à l'instrument utilisé. Avant de se lancer dans la programmation Labview, quelques tests basiques permettent de vérifier que le bus est opérationnel, que l'instrument et le contrôleur GPIB sont bien connectés. C'est ce que permet de faire très simplement l'outil Measurement&

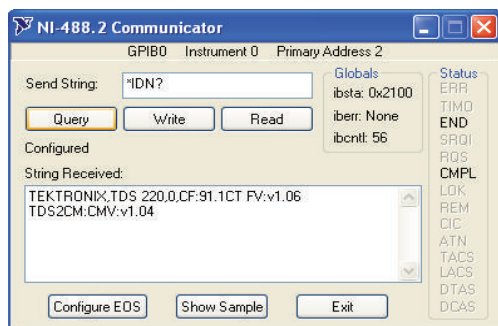
Automation disponible avec la suite Labview. On pourra également tester quelques commandes GPIB de l'instrument :

- 1^{ère} partie : Configuration du bus GPIB et tests à l'aide de l'outil Ni_MAX (Measurement & Automation) :

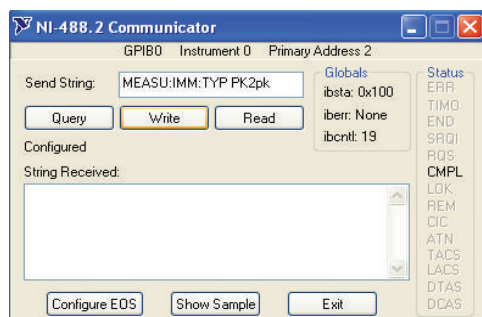
Il s'agit à ce stade d'attribuer une adresse GPIB à l'instrument, de tester la connexion GPIB et de passer quelques commandes et questions basiques à l'instrument. On placera également l'instrument dans une configuration initiale permettant de simplifier la tâche de l'application à réaliser.



Après avoir sélectionné l'instrument, l'interface de MAX permet l'envoi de commandes et requêtes GPIB :



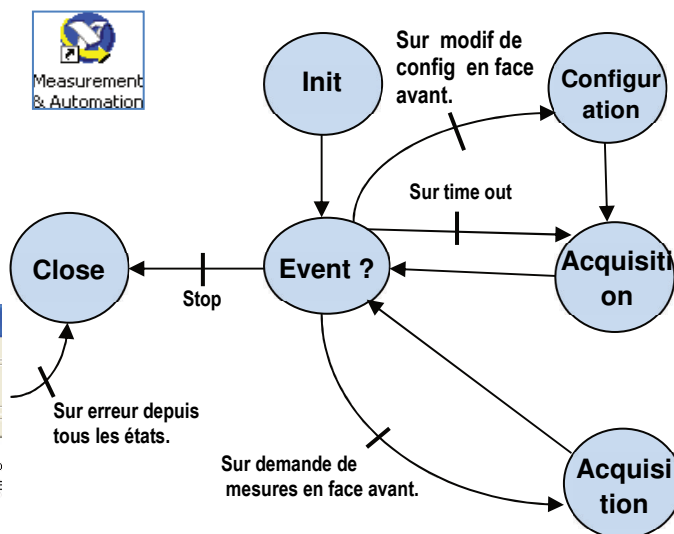
-Demande d'identification-



-Configuration pour mesure de valeur crête à crête-

- 2^{ème} partie : La programmation de l'application LabView et les bibliothèques à disposition :

Structure algorithmique : Afin de structurer le travail et d'éviter une écriture anarchique du programme, on impose une structure de machine à états :



- **EtatInit** : Etat d'initialisation dans lequel on place l'instrument dans une configuration de base par défaut..
- **EtatEvent** : Constitué d'une boucle événementielle, il gère les requêtes en face avant.
- **Etat configuration instrument** : instancié depuis l'état event si une demande de modification de configuration (calibre par exemple) s'est produite en face avant.
- **Etat acquisition mesures** : instancié depuis l'état event si une demande d'acquisition de mesure s'est produite en face avant.
- **Etat acquisition graphe** : cet état rapatrie les points du graphe présents sur l'écran oscilloscope, il est exécuté à chaque « time out » de la boucle événementielle.
- **Etat close** : Exécuté depuis Event après détection de stop en face avant ou sur erreur, il clôt la connexion GPIB.

4.4. Les outils Labview pour la communication de données

En ce qui concerne la gestion GBIB/IEEE488, deux bibliothèques peuvent être utilisées, une bibliothèque spécifique au bus GPIB ou la bibliothèque VISA. Si on considère que cette dernière possède un caractère plus universel, que les étudiants l'ont déjà utilisée dans d'autres applications d'une part, que du point de vue mise en œuvre du GPIB un TP est une application volontairement limitée d'autre part, on retient la bibliothèque VISA dont voici les fonctions essentielles proposées pour ce TP :

- **VISA Open & Close**: Permettent l'ouverture et la fermeture d'une connexion vers l'interface GPIB.



- **VISA Read & Write**: Permettent respectivement l'écriture et la lecture de chaînes de caractères vers ou en provenance de l'interface GPIB.



Avant d'entrer dans la machine d'états, on scrute le

4.5. Rappels sur le principe des communications GPIB:

Tous les composants et interfaces présents sur le bus GPIB doivent posséder une adresse unique comprise entre 0 et 30. L'adresse 0 est réservée au contrôleur d'interface GPIB, les instruments peuvent donc utiliser une adresse comprise entre 1 et 30.

Le contrôleur gère le flot des informations sur le bus, il définit les liens de communication et envoie les commandes aux instruments en gérant les adresses.

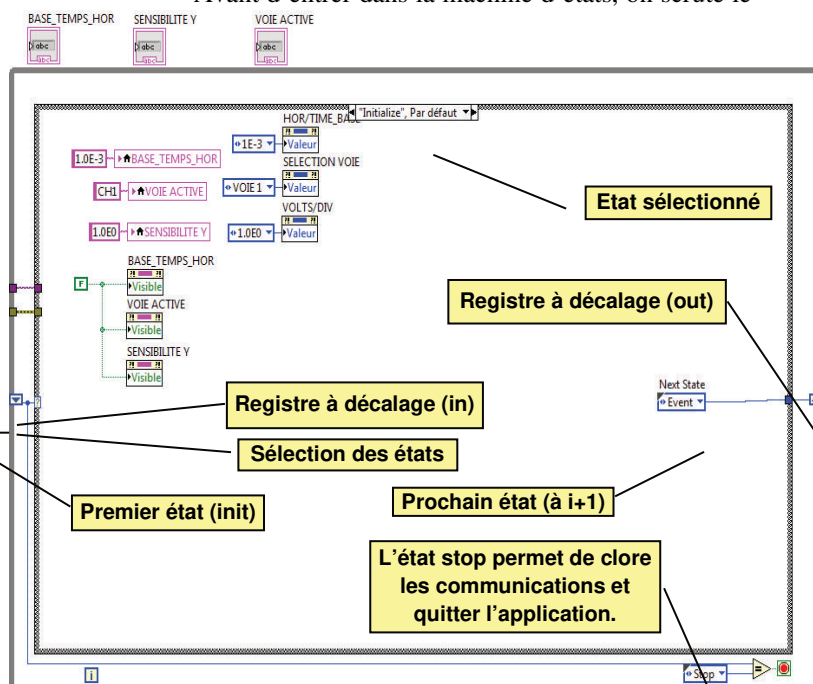
Le bus GPIB transfère plusieurs types d'informations :

- **Les commandes (COMMANDS) :** Ce sont des chaînes de caractères qui ordonnent à un instrument d'effectuer une opération telle qu'effectuer une mesure ou mémoriser un réglage.
- **Les questions (QUERIES) :** Ce sont des chaînes de caractères qui interrogent un instrument et provoquent une réponse de sa part. Une chaîne de question se termine toujours par un point d'interrogation (ex : IDN ? demande d'identification d'un instrument).
- **Les données (DATAS) :** Elles sont utilisées pour passer l'information. Elles peuvent être émises vers l'instrument comme en provenir.

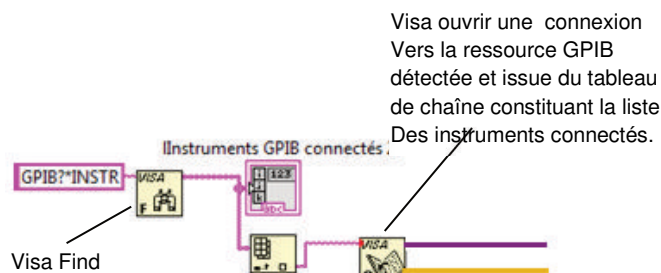
Remarque : Certaines commandes et questions sont communes à tous les instruments, d'autres sont spécifiques à tel ou tel instrument ; commandes et questions communes commencent par un astérisque :(*)

4.6. La programmation de l'application GPIB sous Labview :

Le modèle de machine d'états décrit une série d'états et les conditions d'évolution d'un état à l'autre. Chaque état exécute du code et détermine l'état suivant à exécuter, les états sont passés d'une itération à la suivante par un registre à décalage implanté sur la boucle while :



bus afin de déterminer quels sont les instruments connectés sur la ressource GPIB :



La fonction Visa Find interroge le système pour localiser les périphériques associés à une interface spécifiée, en l'occurrence ici le GPIB. La fonction retourne en sortie un tableau de chaînes constituant la liste des instruments connectés en GPIB, à la suite de quoi il est possible d'ouvrir une connexion vers l'instrument choisi.

1 Initialisation : Configuration par défaut de l'instrument

Cette première étape consiste à envoyer une série de commandes GPIB pour placer l'instrument dans une configuration par défaut. On pourra ainsi choisir une voie d'acquisition par défaut, la sensibilité verticale, la base de temps principale, le niveau de déclenchement de celle-ci, le type de codage retenu pour le transfert des données, etc....

2 Event : Attente d'un événement en face avant :

Cet état utilise une structure événementielle qui attend qu'un événement se produise puis exécute selon la condition appropriée le code associé à cette condition. Cette structure est particulièrement bien adaptée ici :

- Si une modification de configuration de l'instrument est demandée en face avant par exemple, la structure renvoie vers l'état « configuration », si une demande d'acquisition de mesure est sollicitée en face avant, la structure renvoie à l'état « mesure ».

On notera qu'avec ce type de structure, une commande GPIB n'est émise que si nécessaire suite à une modification sur l'IHM, ce qui permet d'éviter les transferts inutiles sur le bus.

- On peut intégrer un événement « time out » dans la structure événementielle. C'est ce qui est fait ici : au time out si aucun autre événement ne s'est produit la structure renvoie vers l'état « acquisition » dans lequel on rapatrie les points de la courbe présente sur la voie sélectionnée de l'instrument.

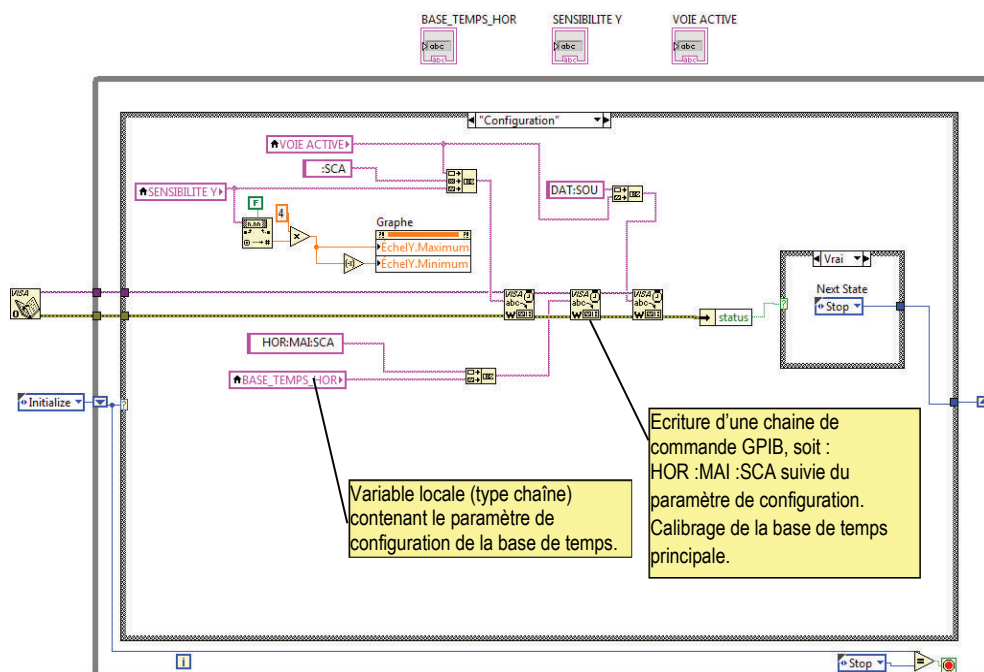
3 Configuration :

Permet de configurer l'instrument (un oscilloscope TSD2xxx) en fonction des choix effectués sur l'IHM par l'utilisateur. Les commandes GPIB et leur syntaxe sont fournies par le constructeur. Il s'agit de simples chaînes de caractères émises lors d'une écriture sur le bus GPIB vers l'instrument. Elles doivent intégrer les paramètres choisis par l'utilisateur, passé ici par variables locales :

4 Acquisition graphe

C'est à partir de cet état que sont rapatriées les données demandées à l'instrument. Il pose quelques questions intéressantes : tout d'abord le format des données émises par l'instrument et leur exploitation vers l'IHM. Ensuite, un problème plus spécifique à la gestion des communications : la synchronisation des échanges.

- Le traitement des données issues de l'instrument :
Les données émises par l'instrument doivent être exploitées dans l'application Labview pour être présentées sur l'IHM. En ce qui concerne la



récupération des points d'affichage de la courbe à l'écran par exemple, l'instrument renvoie une chaîne de caractères représentant un nombre. Ce nombre code la position du point sur l'écran dans un codage qui peut être choisi (notons que comme d'autres paramètres de configuration de l'instrument, il peut être défini « de base » et à charge pour l'utilisateur de placer l'instrument dans la bonne configuration avant utilisation du logiciel, ou configurable depuis le logiciel si celui-ci intègre la commande de configuration correspondante).

- Dans le cas de l'oscilloscope utilisé ici, une courbe présente à l'écran est composée de 2500 points au maximum et chaque point peut être codé en amplitude selon les formats suivants déterminés par la commande GPIB de codage des données :

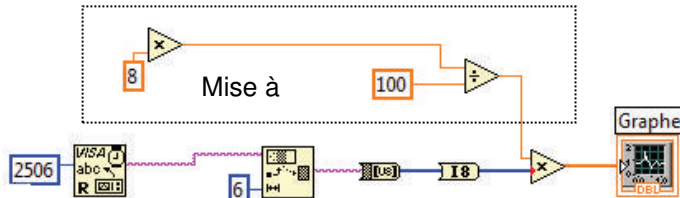
Commande GPIB	Format	Codage binaire	Octet de tête (16 bits)
DAT : ENC : ASCII	ASCII	--	--
DAT : ENC : RIB	Binaire	Entier signé (8 ou 16 bits)	MSB
DAT : ENC : RPB	Binaire	Entier positif (8 ou 16 bits)	MSB
DAT : ENC : SPI	Binaire	Entier signé (8 ou 16 bits)	LSB
DAT : ENC : SPB	Binaire	Entier positif (8 ou 16 bits)	LSB

En format ASCII, les données sont codées sur 8 bits (un caractère) ; pour les autres formats (binaires), il est possible de choisir un codage 16 ou 8 bits et dans ce cas la différence entre les codages S et R porte sur l'ordre de rangement des deux octets.

Dans les codages signés (RPI et SPI), en 8 bits la gamme est de -128 à +127 pour respectivement le bas de l'écran et le haut de l'écran de l'oscilloscope, soit un code complément à 2 (-32768 et 32768 en 16 bits), le centre de l'écran étant codé 0. Dans les codages non

signés (RPB et SPB) le 0 indique le bas de l'écran et le maximum le haut.

Voici un exemple de code illustrant la simplicité avec laquelle peuvent être traitées les données :

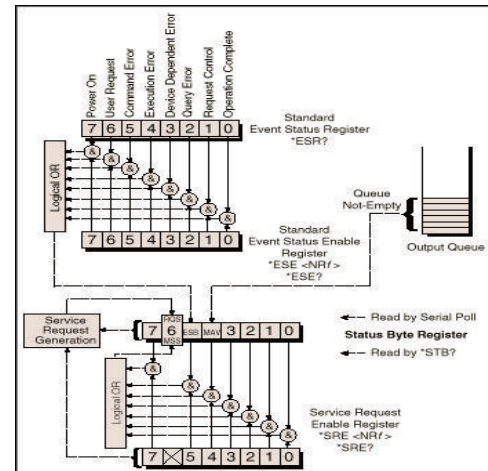


une chaîne de caractère de 2506 points dont une entête de six octets, une fonction sous-ensemble d'une chaîne permet d'éliminer cette entête. A la suite de quoi, la chaîne est transformée en un tableau de 2500 octets dont le codage est signé en 8 bits (I8) ; après une mise à échelle dépendant du calibre choisi en face avant, ces données peuvent être affichées sur le graphe d'I.H.M. (On remarquera le caractère polymorphe de la fonction multiplication qui s'applique sur un tableau ici)

- **La synchronisation des échanges :** C'est la préoccupation majeure elle concerne la gestion du flux des échanges entre l'instrument et le contrôleur. Prenons le cas où on émet une demande de données représentant une courbe présente à l'écran de l'oscilloscope avec la question **CURV ?** par exemple. Dans ce cas l'instrument doit préparer les données dans un buffer et c'est seulement lorsque celui-ci est plein que le message est disponible et que l'on peut émettre une commande de lecture VISA READ. Se synchroniser c'est mettre en œuvre un contrôle qui permet d'être certain que les données sont disponibles avant de faire la demande de lecture. Trois méthodes peuvent s'appliquer avec plus ou moins d'efficacité :

- **Gestion temporelle des échanges :** elle consiste à introduire un time out qui va permettre d'attendre que l'instrument soit prêt avant de faire la lecture. C'est la solution la moins performante, cela nécessite de connaître le temps nécessaire pour chaque opération, elle devient vite ingérable lorsqu'on dialogue avec plusieurs instruments...

Les deux méthodes suivantes nécessitent de connaître la structure du contrôleur embarqué dans tout instrument IEEE488, soit :

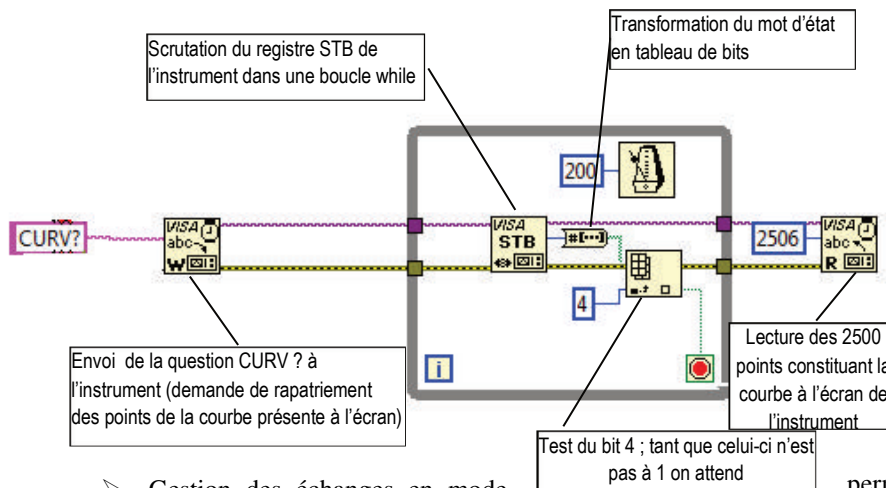


On remarque la présence du registre d'état **STB** qui peut être scruté à l'aide de la fonction VISA suivante :



Les registres ESR, ESE et SRE permettent le contrôle de l'instrument en mode événementiel. Leur programmation permet de générer une requête de service au contrôleur sur un événement précis comme par exemple la file d'attente de données pleine.

- **Gestion des échanges en mode scrutation (polling) :** C'est la méthode que nous utiliserons dans ce TP. Elle consiste à faire une lecture du registre de statut (STB) de l'instrument lorsqu'on attend des données. Lorsque la file d'attente de l'instrument est pleine et que les données sont disponibles pour une lecture, le bit 4 du STB, soit MAV (message available) le signale en passant à 1. Tant que ce bit n'est pas à 1 on attend, lorsqu'il passe à 1 on peut effectuer la lecture, exemple :



5. Conclusion

Rappelons que l'objectif principal n'est pas ici strictement informatique ; il s'agit de mettre en œuvre un bus de terrain industriel dans une application limitée d'instrumentation. De ce point de vue, la solution Labview

permet à l'étudiant d'aller plus directement

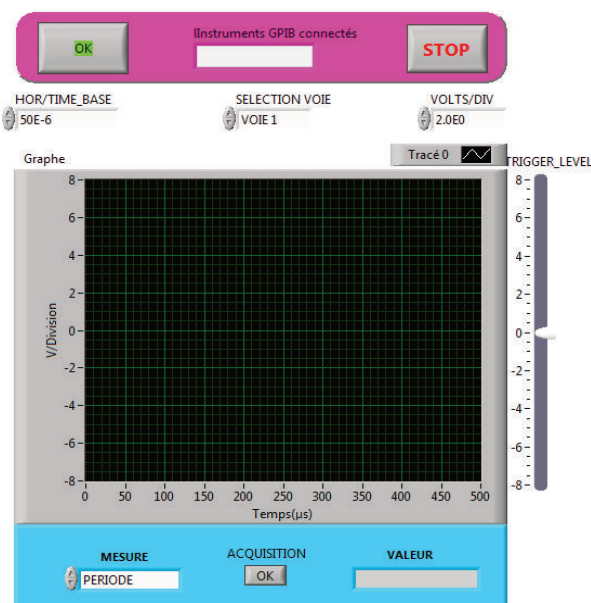
à l'essentiel en s'affranchissant d'éventuels problèmes de programmation et d'adaptation matérielle. Il faut bien sûr considérer que l'étudiant n'est pas débutant en informatique et qu'il connaît les fondamentaux de la programmation Labview. Il sera néanmoins amené à se questionner sur des concepts fondamentaux :

- La représentation des données :
Les commandes et questions GPIB s'effectuent par envoi de chaînes de caractères. Les données en provenance de l'instrument comme par exemple les points d'une courbe à l'écran peuvent avoir plusieurs types de représentation (ASCII, binaire pur...). Cela implique une configuration en connaissance de cause de l'instrument et une interrogation sur les outils de manipulation de données à mettre en œuvre sous Labview.
- La synchronisation des échanges :
C'est le point le plus délicat ; il nécessite une interrogation sur le comportement de l'instrument et suscite plusieurs approches possibles (time out, polling, requêtes de service). Dans les cas de scrutation ou requête de service, les étudiants sont amenés à étudier la structure du contrôleur IEEE488 de l'instrument.
- Le protocole de transfert et la charge du bus :
Cet aspect vise plus particulièrement à interpeller les étudiants sur les protocoles à mettre en œuvre pour la prise en compte d'événements tout en se préoccupant de la charge admissible des transferts sur le bus.
- La mise en forme des acquisitions et leur représentation graphique :

Plus spécifiquement informatique, ce point vise à mettre en œuvre les nœuds de propriétés de façon à produire des I.H.M. conviviales et adaptées au cahier des charges.

- Gestion des échanges en mode événementiel : Elle consiste à utiliser le mécanisme des requêtes de service lorsqu'un événement choisi se produit au niveau de l'instrument. Le procédé est comparable à celui des interruptions, c'est la méthode la plus performante car elle n'est pas bloquante au niveau de l'application LabView.

4.7. L'I.H.M. de face avant :



La conception de la face avant proposée ici fait intervenir plusieurs points importants, notamment :

- La mise en œuvre d'une structure événementielle permettant l'envoi de commande GPIB vers l'instrument uniquement sur changement d'état des commandes en face avant.
- La mise en œuvre de nœuds de propriétés permettant l'adaptation des échelles de graphe et

LABVIEW : une plateforme pour la mise en œuvre d'un TP de supervision par protocole MODBUS/TCP d'une application automate

Jean-Louis BIANCHI

Lycée Jules Ferry

29 rue du Maréchal Joffre – 78000 Versailles

Résumé : Une nouvelle utilisation de Labview à travers un travail pratique en STS IRIS ou licence professionnelle avec la mise en œuvre d'une communication par MODBUS/TCP afin de réaliser une supervision d'une application automate par Labview.

1. La supervision d'une application automate industriel utilisant le protocole MODBUS/TCP

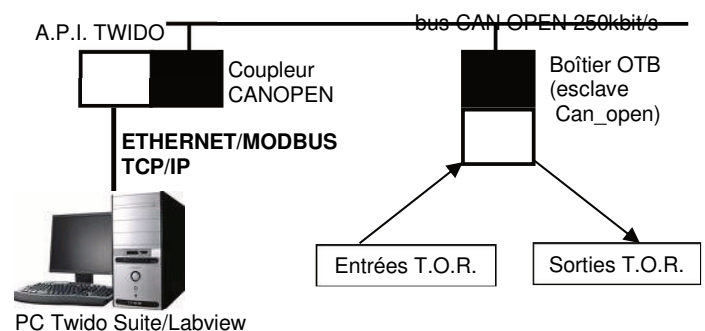
Il s'agit ici de mettre en œuvre l'outil LABVIEW dans une application de supervision de processus simple géré par un automate Schneider TWIDO. L'application vise les champs de compétences suivants :

- **Automatismes :** Développer une application simple en langage Ladder pour cible A.P.I. TWIDO de Schneider à partir d'un **GRAFCET** élémentaire.
- **Bus de terrain :** Configurer un réseau Can Open pour la mise en œuvre d'entrées sorties T.O.R déportées.
- **Bus de terrain :** Configurer une application de supervision automate utilisant le protocole MODBUS TCP/IP.
- **Programmation Labview :** Programmer une application Labview permettant la supervision d'un processus automate en utilisant la librairie NI_MODBUS.
- **Réseaux :** Développer une application client/serveur en utilisant les outils Labview de gestion de protocole réseau TCP.

2. Matériels et logiciels utilisés :

Pour la programmation de la cible TWIDO :

- un automate programmable TWIDO TWDLCAE40DRF (SCHNEIDER) disposant d'une entrée analogique 10 bits pour simulation d'un niveau.
- un coupleur CAN Open associé au TWIDO (le maître, serveur MODBUS),
- un boîtier d'entrées/sorties déportées CAN Open (OTB 1C0 DM9LP, 12 (8+4) entrées, 8 sorties, esclave, ID fixée par roue codeuse). Un jeu de 3 interrupteurs et de 3 LEDs matérialise la partie opérative.



- L'outil de développement logiciel TWIDO SUITE fonctionnant sur PC, pour la programmation de l'automate.
- Le logiciel LabView et la librairie NI Modbus pour la supervision.

3. Le contexte du TP :

Nous disposons d'un rack comprenant l'A.P.I. TWIDO et son contrôleur de bus CANOPEN sur lequel nous avons placé un module esclave gérant des entrées sorties déportées 'Tout ou Rien'. Trois 'switches' permettront de simuler les variables d'entrées logiques du système et trois leds permettront de visualiser l'activité des sorties du système automatisé élémentaire.

L'A.P.I. Twido possède une entrée analogique 10 bits (potentiomètre en face avant) que nous utiliserons pour simuler une entrée analogique en l'occurrence un niveau de liquide dans une cuve.

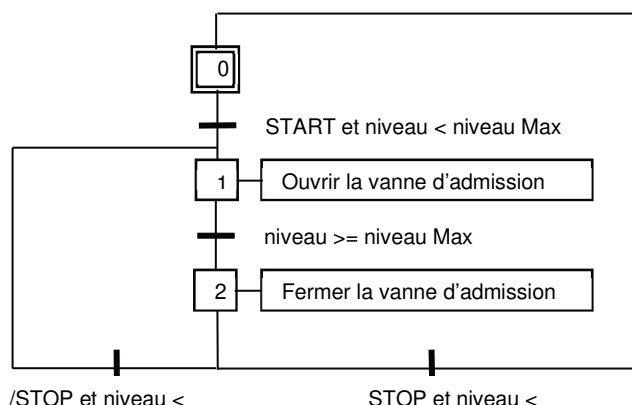
L'automate et le PC que nous utiliserons dans un premier temps pour le développement de l'application automate, puis pour la supervision avec Labview, sont connectés sur le même réseau TCP/IP.

4. Les objectifs :

Programmer une application GRAFCET simple dans la cible TWIDO ; développer à l'aide de Labview une supervision de cette application en utilisant le protocole MODBUS/TCP dans une application client/serveur. Proposer une IHM de supervision sur PC client.

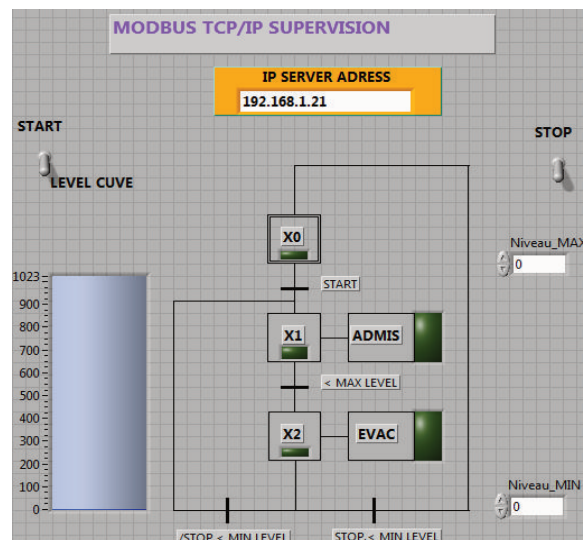
5. L'application GRAFCET :

L'application est élémentaire du point de vue automatismes car ce n'est pas l'objectif central ici, elle consiste à simuler le contrôle du niveau de liquide dans un réservoir :



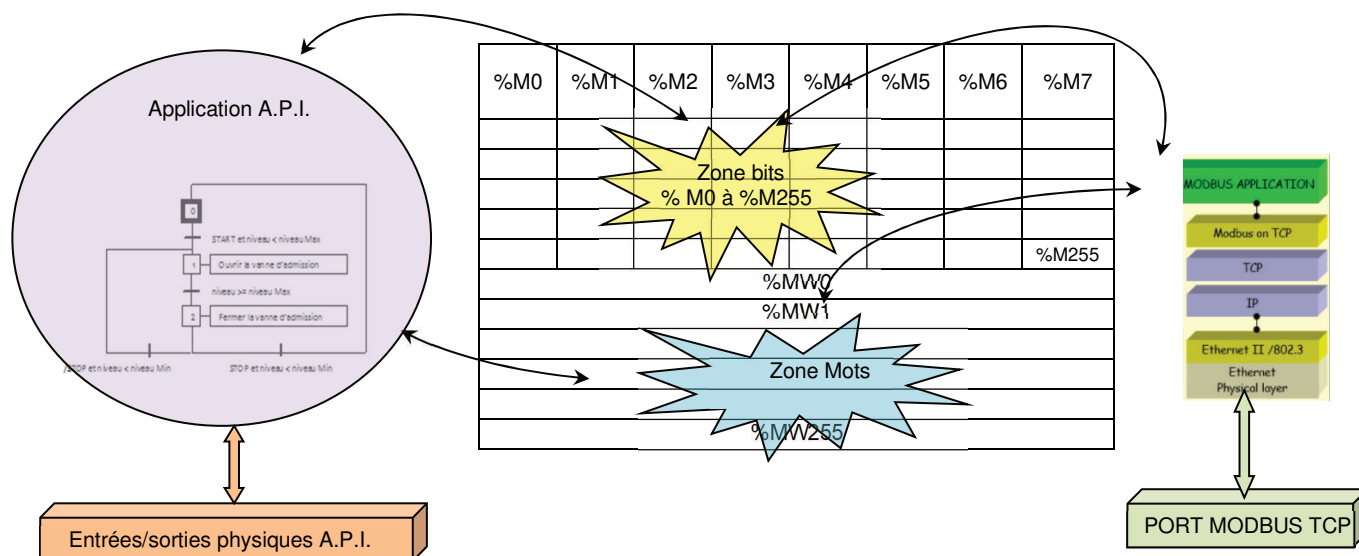
6. L'application Labview de supervision

On souhaite obtenir l'I.H.M. suivante :



Avec :

- Possibilité de saisir l'adresse IP du serveur (A.P.I.).
- Monitoring des bits d'étapes du Grafcet.
- Affichage du niveau de cuve (entrée analogique 10 bits A.P.I.).
- Visualisation des sorties T.O.R.
- Entrée de paramétrage des niveaux mini et max souhaités.
- Commande de start et stop depuis la supervision.



7. Fonctionnalités du serveur MODBUS embarqué sur TWIDO :

Il est important de noter que le serveur MODBUS embarqué dans l'A.P.I. ne permet pas l'accès à toutes les zones mémoires de l'automate ; cela varie d'une machine à l'autre, dans le cas de l'A.P.I. TWIDO qui

est un petit modèle d'entrée de gamme, seules deux zones mémoires sont partagées par le process A.P.I. et par le serveur MODBUS : une zone champ de bits repérés %M0 à %M255 et une zone champ de mots 16 bits repérés %MW0 à %MW255. Ces deux zones mémoires sont partagées par l'application automate et

par le serveur MODBUS, elles sont accessibles en lecture et en écriture.

Comme cette représentation schématique le montre, seules les deux zones mémoires (bits %MX et mots %MWx) sont partagées par le serveur Modbus et le processus automate implanté dans l'A.P.I. TWIDO. Il appartient donc au programmeur de l'application automate de déclarer les variables partagées qui seront mises à disposition du serveur MODBUS dans la zone bits et la zone mots en vue d'une supervision de l'application.

Voici les affectations retenues pour ce TP :

ENTREES T.O.R.	LOCALISATION	ADRESSE A.P.I.
START	Entrée 0 module OTB_1 CANOPEN	%IWC1.0.0:X0
STOP	Entrée 1 module OTB_1 CANOPEN	%IWC1.0.0:X1

SORTIES T.O.R.	LOCALISATION	ADRESSE A.P.I.
OUVRIR VANNE	Sortie 0 module OTB_1 CANOPEN	%QWC1.0.0:X0
FERMER VANNE	Sortie 1 module OTB_1 CANOPEN	%QWC1.0.0:X1

ENTREE ANALOGIQUE	LOCALISATION	ADRESSE A.P.I.	Adresse image supervision zone mots
NIVEAU_CUVE	Entrée analogique 10 bits (potentiomètre).	%IW0.0.0	%MW1

Variables	ADRESSE A.P.I. et supervision
ETAPE X0	%MW0 :X0
ETAPE X1	%MW0 :X1
ETAPE X2	%MW0 :X2
Bit Start supervision	%M0
Bit Stop supervision	%M1
Mot Niveau Max supervision	%MW2
Mot Niveau Min supervision	%MW3

Les bits d'étapes Grafcet seront donc matérialisés dans le mot mémoire %MW0, soit %MW0:X0 pour étape 0, %MW0 : X1 pour étape 1 etc..

Ce choix permet de grouper dans un seul mot les bits d'état du grafcet afin d'éviter des transferts MODBUS/TCP pour un seul bit.

Le résultat de conversion analogique (%IW0.0.0) du niveau de cuve sera transféré à chaque cycle A.P.I. dans le mot mémoire %MW1. On pourra réserver les mots %MW2 pour modifier le niveau maxi et %MW3 le niveau mini depuis la supervision. De même, les bits %M0 et %M1 seront utilisés en écriture depuis la supervision pour permettre un démarrage et un arrêt depuis la supervision en plus des bits physiques start et stop sur entrées T.O.R du module déporté CanOpen.

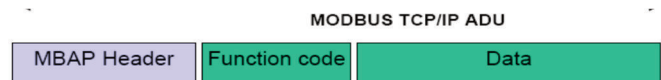
A ce stade, après avoir fixé une adresse IP à l'automate, il est possible d'écrire l'application Grafcet et de vérifier son fonctionnement. Une fois l'application validée, on s'attache à réaliser une application LabView permettant de faire la supervision du process au travers d'une connexion TCP.

7.1. Rappels sur le protocole MODBUS TCP

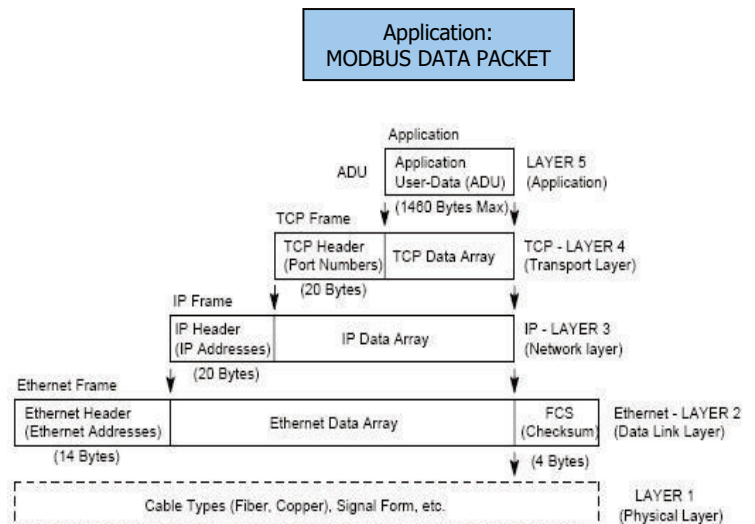
Une connexion client/serveur : Le client (dans notre cas le PC de supervision) effectue une requête MODBUS vers le serveur, soit l'A.P.I. TWIDO ici. La requête formulée par le client contient la PDU MODBUS (unité de données du protocole MODBUS) constituée du code fonction MODBUS indiquant la nature du service requis au serveur et les données nécessaires à la compréhension de ce service :



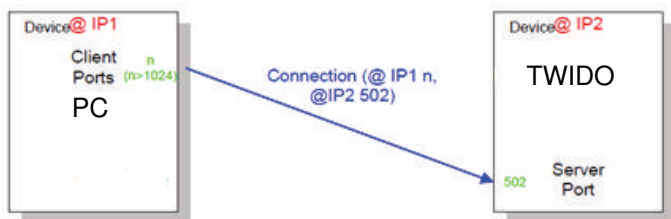
Cette PDU MODBUS est précédée d'un entête MODBUS permettant d'identifier le protocole et d'associer serveur et client dans une transaction commune, l'ensemble formant l'A.D.U. MODBUS :



Pour l'acheminement de cette requête et la réponse du serveur, cette trame est encapsulée dans une trame TCP/IP sur Ethernet selon le modèle suivant :



Le client(PC) émet sa requête vers le port 502 du serveur, port réservé aux applications MODBUS TCP :



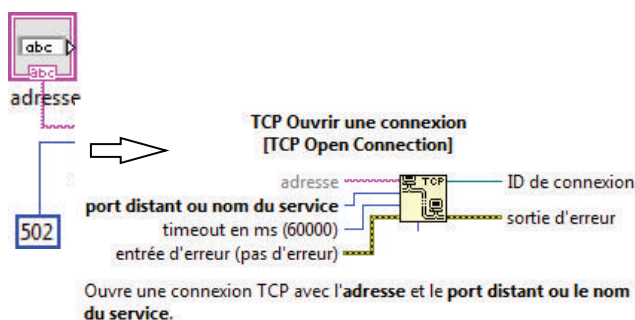
Voici les services MODBUS disponibles sur l'API TWIDO et leur code fonction respectif :

Modèle de données MODBUS pour l'API TWIDO			
Services MODBUS	Adresses physiques mémoires API	Références MODBUS des éléments adressés	Code fonction MODBUS
Lecture/Ecriture de bit	Bits de %M0 à %M255	Bits de 1 à 256	01 pour la lecture 05 pour l'écriture
Lecture/Ecriture de registre	Registres de %MW0 à %MW255	Registres de 1 à 256	03 pour la lecture 06 pour l'écriture
Lecture/Ecriture de bits	Bits de %M0 à %M255	Bits de 1 à 256	01 pour la lecture 15 pour l'écriture
Lecture/Ecriture de registres	Registres de %MW0 à %MW255	Registres de 1 à 256	03 pour la lecture 16 pour l'écriture

7.3. La programmation de l'application de supervision sous LABVIEW

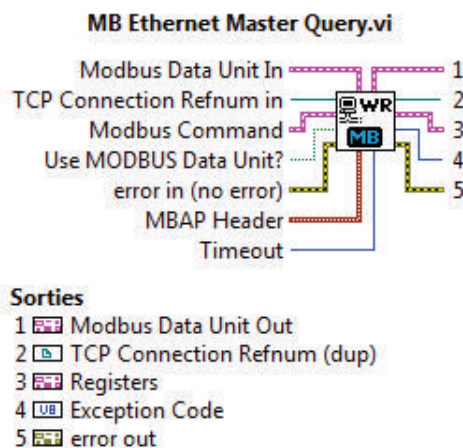
7.3.1. Connexion au serveur MODBUS :

On trouvera ces fonctions dans les fonctions de communication de données, protocole TCP. En tant que client il suffit d'ouvrir une connexion vers le serveur sur le port 502 réservé aux applications MODBUS. Soit :



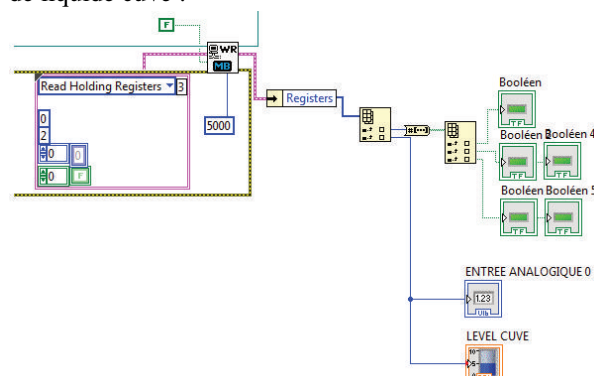
7.3.2. La librairie NI MODBUS :

Plusieurs versions de cette librairie sont disponibles gratuitement en ligne sur le site de National Instruments. Parmi les fonctions de cette librairie à disposition, nous trouvons la requête vers le maître serveur Modbus sur Ethernet (TWIDO) :

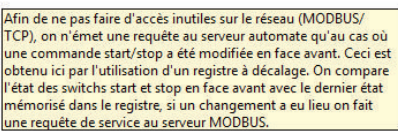


Le refnum de connexion TCP est obtenu à partir de la fonction d'ouverture de connexion précédente ; la fonction attend un cluster de commande MODBUS ; ce cluster comprend le code fonction du service demandé ainsi que les paramètres associés à cette fonction (adresse de départ, nombre de registres ou bits à lire ou écrire....).

Voici dans notre cas, le cluster de commande demandant la lecture de deux registres (code fonction 3) à partir de l'adresse 0, donc les registres %MW0 (contenant les bits d'état du grafcet) et %MW1 niveau de liquide cuve :



On remarquera la simplicité d'exploitation des données renvoyées dans un cluster de réponse qu'on désassemble pour obtenir un tableau contenant les registres %MW0 et %MW1. Le niveau du liquide (%MW1) peut directement être affiché sur un indicateur de niveau. En ce qui concerne les bits d'étape du grafcet, ils sont contenus dans le mot %MW0 que l'on transforme en tableau de bits. Il suffit ensuite d'utiliser la fonction » indexer un tableau » pour obtenir les bits d'étapes contenus dans ce tableau et d'afficher leur état sur un indicateur booléen



ZigBee, de la théorie à la pratique

Création d'un réseau ZigBee avec transmission de données

Jackson FRANCOMME⁽¹⁾, Ferial VIROLLEAU⁽²⁾, Jiamin PANG & Yan Xin PHANG⁽³⁾, Thierry VAL⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Enseignant en BTS SE / ERAEI / PhD en Informatique – Paris

⁽²⁾ Professeur Associée en Traitement du signal – ESIEE Paris

⁽³⁾ Etudiants à Nanyang Polytechnic - Singapour

⁽⁴⁾ Professeur des Universités - UT2 - CNRS/IRIT - Université de Toulouse

Résumé : Les technologies de l'informatique sont de nos jours enfouies profondément (ubiquitaire) dans le tissu de notre société à un point tel que nous ne pouvons éviter de passer chaque jour devant un très grand nombre de machines informatiques de toutes natures. Il ne faut pas penser simplement à l'outil informatique posé sur votre bureau, ou dans votre poche qui vous permet de téléphoner. Vous pourriez imaginer par exemple, sans vous projeter dans un film de science-fiction que ces machines informatiques vous ouvrent des portes, vous reconnaissent pour vous guider en toute sécurité vers votre destination, vous aident et vous surveillent si vous êtes à mobilité réduite et âgés, surveillent en continu une forêt pour prévenir rapidement d'un début d'incendie, etc.

Pour de multiples raisons, ces machines sont très souvent amenées à collaborer. Pour cela, elles communiquent via des réseaux câblés ou sans fil. La mise en œuvre de tels réseaux peut être très compliquée, notamment parce qu'elle impose de connaître parfaitement la structure du réseau et les protocoles associés à la communication.

Cet article vous présente une solution concrète de communication sans fil basée sur la technologie ZigBee, qui pour de multiples raisons s'adapte très bien au domaine de l'électronique embarquée, notamment par sa facilité de mise en œuvre, son optimalité en termes de consommation et de coût. Autour d'un scénario simple de fonctionnement, nous illustrerons nos propos avec une présentation des outils matériels et logiciels permettant d'appréhender la mise en place du réseau de capteurs et la vérification de son fonctionnement.

1. Introduction sur les communications sans fil et ZigBee

Dans la course à la miniaturisation et en relation avec des considérations de développement durable, des technologies informatiques s'adaptent et se créent.

Dans le domaine des communications sans fil, aujourd'hui plus particulièrement centré sur la communication entre machines informatiques complexes et en téléphonie, le standard de communication ZigBee apporte une nouvelle dimension des technologies de communication. Force est de constater que la grande majorité des évolutions tendent à décupler les capacités de débit des machines informatiques sans réellement prendre en considération, à leur base, des aspects comme la consommation énergétique, le facteur d'échelle, la simplicité de mise en œuvre des protocoles et des réseaux, etc.

Il est de coutume de commencer par une introduction sur les spécifications du standard et de la norme. Nous ne

dérogerons pas à cette règle dans la mesure où beaucoup de réponses à vos questions pourront être trouvées dans les documents que vous trouverez cités.

2. Informations de base sur la technologie ZigBee/IEEE 802.15.4

ZigBee désigne une technologie pour la communication sans fil robuste de type WPAN (Wireless Personal Area Network). Ses caractéristiques en font une technologie à part qui vient compléter et non pas remplacer les offres des standards de communication bien connus tels que le WLAN (Wireless Local Area Network) WiFi et le WPAN Bluetooth.

– La pile de protocolaire

ZigBee regroupe un ensemble de protocoles de hauts niveaux (Figure 1) utilisés sur une structure matérielle, communiquant sans fil, de petite taille, très économe en énergie. ZigBee appartenant plus particulièrement à la famille des réseaux personnels sans fil désignée en

anglais par l'acronyme LP-WPAN (*Low Power WPAN*), est basé sur le standard IEEE 802.15.4¹. Les spécifications de ce standard sont accessibles sur le Web et sont régulièrement mises à jour depuis 2005, sur le site Internet de l'IEEE [2]. La majorité des ressources que vous retrouvez sur le Web sont des émanations de ces documents ; il ne faut donc pas hésiter à s'emparer de ces documents précieux.

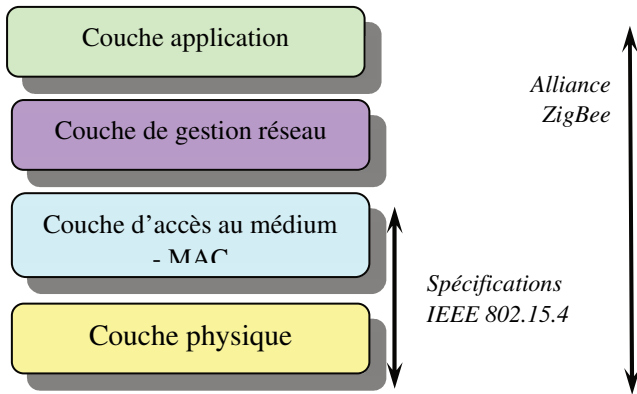


Figure 1 : Pile protocolaire ZigBee

- La *couche physique* supporte la gestion des fréquences d'émission et de réception, le débit des données envoyées ou reçues, le type de modulation et le codage numérique des informations.
- La *couche d'accès au médium* ou MAC (*Medium Access Control*) s'appuie sur les ressources de la couche physique. C'est la couche principale pour les aspects logiciels qui définit la façon dont un nœud du réseau pourra dialoguer (transmettre ou recevoir). Ces mécanismes sont tous détaillés dans la spécification du standard IEEE 802.15.4 [3].
- La *couche réseau* assure principalement les règles d'établissement d'un réseau, l'association et l'interconnexion de tous les nœuds dans le réseau, le transfert des informations entre les entités de ce réseau via une route, ainsi que la structure des messages (trames) qui seront échangés.
- La *couche application* utilise les couches inférieures pour une application communicante donnée. Elle donne entre autres une signification aux informations échangées dans le réseau.

– Les domaines d'application

ZigBee est aujourd'hui utilisé dans de nombreux équipements, très généralement embarqués, qui imposent une très faible consommation, et se suffisent

d'un très faible débit de données et une portée de quelques dizaines de mètres (jusqu'à 100m). Ces équipements peuvent être opérationnels dans une maison ou dans l'industrie. Afin de rendre inter-opérationnels les équipements des différents fournisseurs, plusieurs normes se sont développées autour de ZigBee : WirelessHART, ISA100.11a, 6LoWPAN, SynchroRF, RF4CE [1]. Nous ne développons pas ces normes dans cet article.

– Basse consommation ! mais comment ?

Le mécanisme permettant d'économiser l'énergie des modules communicants est basé principalement sur leur mise en sommeil lorsque aucune activité d'émission, de réception ou d'écoute radio n'est requise. L'activité de sommeil est ainsi prépondérante. Les modules communicants appelés dans notre jargon « nœuds » se réveillent occasionnellement afin de vérifier si aucun message n'a été enregistré pour eux par le *coordinateur du réseau* ; nous reviendrons plus loin sur les fonctions de ce *coordinateur de réseau*. Les composants électroniques développés par les industriels sont également optimisés afin de consommer le moins possible. Il n'est pas difficile de vérifier cela en consultant les fiches techniques des composants dédiés à cette norme (microcontrôleur, émetteur-récepteur, capteurs, etc). La consommation est également optimisée au niveau de la communication entre les nœuds du réseau ; nous citerons pour exemple les techniques de routage² qui élaborent des stratégies sur la recherche et l'utilisation de chemins pour la communication. Ces informations pourront, par exemple, être trouvées dans la première partie (état de l'art) de thèses de doctorat que vous trouverez sur le Web ; elles sont en général simplifiées et très abordables [11].

– Quelques données techniques sur le protocole sans-fil ZigBee/IEEE 802.15.4

Nous ne nous étendons pas dans ce paragraphe ; vous retrouverez toutes les informations utiles dans les spécifications du standard IEEE 802.15.4 [3] ainsi que dans une version simplifiée en langue française [4].

Le standard IEEE 802.15.4 initial peut utiliser 3 bandes de fréquences différentes et propose 27 canaux de communication. (Figure 2). Vous remarquerez que le débit n'est en rien comparable à celui du WiFi ou Bluetooth (en particulier dans la version 4). ZigBee/IEEE 802.15.4 dédié aux réseaux de capteurs sans fil n'est amené à transmettre que de petites quantités de données (ie. quelques octets), liées

¹ À titre de comparaison, la norme WiFi bien connue est basée sur le standard IEEE 802.11, nuancée par les suffixes a, b, g, n et bientôt ac.

² Routage : procédé qui consiste à trouver un chemin de communication dans un réseau entre un nœud émetteur et un nœud récepteur (couche réseau).

notamment à des grandeurs physiques acquises (température, pression, lumière, etc.).

A l'inverse, ce standard peut supporter un très grand nombre de machines interconnectées (plus de 65000) dans le même réseau, ce qui est loin d'être le cas de WiFi et Bluetooth.

Bande de fréquences	Débit possible	Nombre de canaux
2,4 GHz	250 Kbits/s	16
915 MHz	40 Kbits/s	10
868 MHz	20Kbits/s	1

Figure 2 : IEEE 802.15.4 dans la bande radio ISM

Les topologies réseau avec le protocole ZigBee/IEEE 802.15.4

Le protocole IEEE 802.15.4 supporte les topologies *réseau étoile* (Fig 3a) et *maillé* (Fig 3b). La topologie indique la façon dont est associé un nœud dans le réseau et la forme géométrique de l'architecture globale des liens ; le nœud capteur peut être dépendant d'un nœud principal dans le réseau que l'on nomme *coordonateur*. Dans la topologie étoile, toutes les communications passent par le *nœud coordonnateur* qui assure le rôle de relais entre les *nœuds terminaux*. Dans la topologie maillée, certains nœuds assurent le relais au même titre que le nœud coordonnateur ; ces nœuds se nomment *routeurs*. Dans ce dernier cas, certaines communications doivent donc réaliser plusieurs *sauts* avant de pouvoir atteindre leur destination.

Les flux de communication sont dépendants de la distance entre les nœuds, du mode d'association des nœuds dans le réseau et de la qualité du signal au voisinage des nœuds.

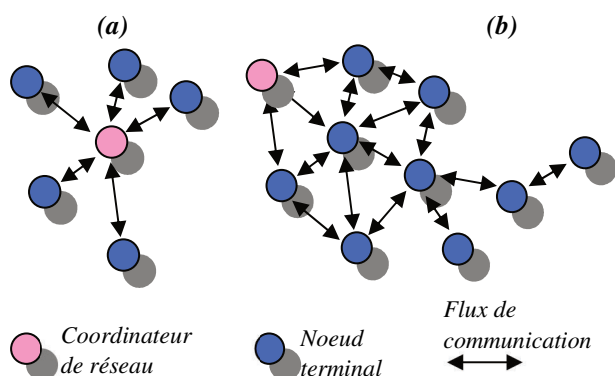


Figure 3 : Topologies des réseaux ZigBee

Illustration d'un réseau maillé simplifié

Pour comprendre à quoi correspond un réseau maillé, vous pouvez imaginer un immeuble comportant 5 étages (Figure 4).

- Le coordonnateur (en rouge) est placé au 3^{ème} étage, ce qui lui permet théoriquement d'être à portée radio de presque tous les autres nœuds terminaux.
- Au 4^{ème} étage, nous avons un routeur (en bleu) qui permet d'étendre le réseau vers le 5^{ème} étage. Le nœud terminal du 5^{ème} étage est donc joignable depuis le coordonnateur via le routeur.
- Par contre, nous n'avons aucun routeur sur le second étage ; la distance étant trop grande, le nœud terminal du 1^{er} étage ne peut pas être joint par le coordonnateur.

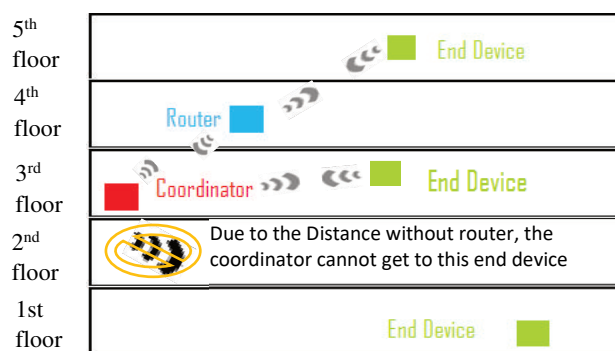


Figure 4 : Représentation d'un réseau maillé simplifié

3. Mise en place expérimentale du réseau ZigBee

Préambule : Les illustrations pour cette partie expérimentale ont été réalisées par 2 étudiants de l'école d'ingénieurs de Nanyang de Singapour en stage à l'ESIEE-Paris. Vous trouverez donc sur les figures des commentaires en langue anglaise.

Scénario et choix des matériels

Nous nous donnons pour objectif de réaliser un réseau maillé, typiquement celui représenté sur la Figure 4. Notre choix sur le matériel s'oriente sur une solution à base de contrôleur MICROCHIP et émetteur-récepteur radio CHIPCON. Ceux-ci sont présents sur une carte de développement vendue dans le commerce sous la dénomination « PICDEMZ Demonstration kit » (Figure 5). Ce kit est composé de :

- 2 cartes mères PICDEMZ alimentées par batterie
- 2 cartes filles « émetteur-récepteur 2.4GHz » MRF24J40MA
- Une carte ZENA pour l'analyse des communications ZigBee
- Un câble USB

- 1 CDROM de ressources pour les cartes PICDEMZ, dont le logiciel MPLAB et la pile de protocoles ZigBee2006
- 1 CDROM de ressources pour l'analyseur de réseau.



Figure 5 : PICDEMZ : Solution matérielle retenue

La carte PICDEMZ comporte pour élément principal un microcontrôleur PIC 18LF4620 de MICROCHIP ; la programmation de celle-ci se fera à l'aide du logiciel MPLAB, gratuit, téléchargeable sur Internet [5].

Pour la construction de notre réseau, nous utiliserons la pile protocolaire IEEE 802.15.4 simplifiée. Les étudiants ont disposé d'une application de base qu'ils ont complétée afin de prendre en compte les liaisons multi sauts. Nous ne décrivons pas le logiciel dans cet article.

Notre choix a été guidé par le coût de la structure à installer ainsi que par la possibilité de disposer d'une structure logicielle que nous pouvons modeler à notre convenance, mais il existe bien d'autres des solutions concurrentes équivalentes, nous y reviendrons dans la conclusion.

Il est tout à fait possible de développer un réseau ZigBee sans pratiquement aucune connaissance en informatique réseau. Chez vos distributeurs, vous trouverez par exemple les modules XBEE et les logiciels associés [6], qui vous permettront de transmettre des données respectant le standard IEEE 802.15.4 pour quelques dizaines d'euros. Pour la création de votre application, vous pourrez par exemple choisir des architectures Arduino [7] ou Mbed [8] pour lesquels la programmation se fait en langage commun tel que le C.

- Description de la carte PICDEMZ

La carte mère et le module de communication RF sont représentés Figure 6. Les 2 cartes sont séparées ; lors de

la connexion de la carte fille RF, il faut faire attention de ne pas la mettre à l'envers.

Le cœur de la carte est un microcontrôleur PIC18LF4620. Il est alimenté avec une source de tension de 3,3V. Il est programmable à l'aide de l'interface MPLAB C18. La connexion avec l'ordinateur se fait à travers un module ICD2 connecté sur le port ICSP (Figure 6). Le port série RS232 sera utilisé pour le suivi de l'exécution de l'application et le déverminage. La carte peut être alimentée avec une batterie ou avec une alimentation secteur.

La carte mère possède 2 DEL, D₁ et D₂. D₁ indique que le nœud appartient à notre réseau. D₂ clignote lorsque que le nœud reçoit un message d'un nœud non associé au réseau.

Les boutons-poussoirs permettent la réinitialisation de la carte (MCLR). L'envoi d'un message à tous les nœuds du réseau (diffusion ou *broadcast*) se fait par un appui sur PB₅. PB₄ permet d'associer le nœud au réseau.

La carte possède également un capteur de température MICROCHIP TC77, connecté sur la liaison série SPI. Nous utiliserons cette ressource comme producteur de la donnée à transmettre.

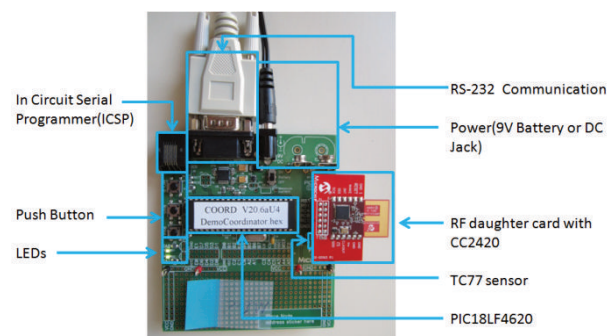


Figure 6 : Carte mère PICDEMZ et sa carte fille pour l'émission-réception HF 2.4GHz

La carte radio fille supporte un circuit intégré CC2420 (*transceiver* radio Texas Instruments). Elle est parfaitement compatible avec le standard IEEE 802.15.4. Sa couche physique utilise la bande de fréquence de 2,4 GHz. Le débit des données sera de 250 Kbits/s. Cette carte peut être utilisée pour les routeurs, le coordinateur ou les nœuds terminaux³.

- ZENA : Analyseur de réseau

La carte ZENA connectée à un PC via un câble USB (Figure 7), et associée à son logiciel permet de capturer et visualiser toutes les trames ZigBee dans son voisinage. L'alimentation se fait par le câble USB. Les

³ La distinction entre coordinateur, routeur et nœud terminal réside essentiellement au niveau logiciel, qui intégrera plus ou moins de fonctionnalités.

paquets de données reçus par l'antenne *patch* (gravée sur le circuit imprimé) sur le canal choisi sont envoyés au PC via la liaison USB. Cette carte et son logiciel seront présentés plus loin dans cet article.

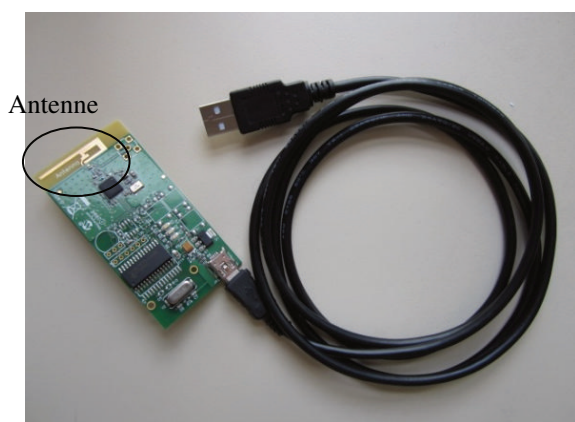


Figure 7 : Carte ZENA pour l'analyse des communications ZigBee

– Module de mise au point MPLAB ICD2

MPLAB ICD2 (In Circuit Debugger) (Figure 8) connecté entre la carte mère et le PC permet de débiter les programmes ainsi que de programmer les processeurs supportés.

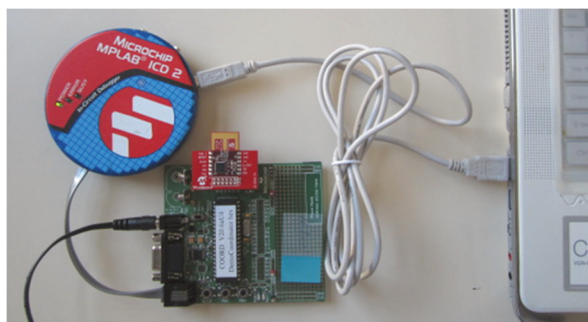


Figure 8 : Module ICD2 pour le debugage et la programmation du microcontrôleur

4. Procédures pour l'initialisation et l'utilisation des logiciels et matériels

Vous trouverez dans cette section les instructions nécessaires pour l'utilisation des matériels associés à l'environnement de programmation et d'évaluation.

– Chargement de l'application sur la carte-mère à partir de MPLAB

Les codes de base utilisés sont présents dans le CD livré avec la carte. Vous pouvez également les télécharger depuis Internet. Vous téléchargerez également la note d'application [9] qui vous donnera les indications pour l'utilisation de cet environnement. Vous disposez ainsi de 2 exécutables ; l'un pour le coordinateur et l'autre pour un nœud terminal du réseau ZigBee. La procédure est donnée pour le coordinateur. Vous effectuerez la

même démarche pour le nœud terminal, avec le code approprié.

- Connectez le module ICD2 entre le connecteur approprié de la carte-mère et le port USB de votre PC. La DEL verte sur le boîtier ICD2 indique que la connexion USB est parfaite.
- Lancez l'application MPLAB (notre version : v8.76 en anglais)
- Sélectionnez « *Configure >> Select Device* » puis choisissez PIC 18F4620.
- Sélectionnez « *File >> Import* » et choisissez l'application « *DemoCoordinator.hex* ». Cette application possède toutes les fonctionnalités pour assurer la fonction de coordinateur du réseau ZigBee.
- Sélectionnez « *Programmer >> Select programmer* » et choisissez « *MPLAB ICD2* »
- Sélectionnez « *programmer >> program* »
- Appuyez puis relâchez le bouton Reset de la carte. Vous pouvez fermer l'application MPLAB IDE et déconnecter la carte-mère du boîtier ICD2.

– Configuration de l'application sur la carte-mère du coordinateur

À la suite de l'étape précédente, vous disposez de 2 cartes programmées que vous aurez pris soin d'annoter pour reconnaître le coordinateur et le nœud terminal. Pour la création d'un réseau, il vous suffit d'un coordinateur et d'au moins un nœud terminal.

- Mettez sous tension les 2 cartes mères.
- Appuyez sur le bouton Reset du coordinateur de réseau pour le démarrer. Attendez que D₁ et D₂ s'allument ; cela signifie que le réseau pour l'instant constitué du seul coordinateur a été créé avec succès.
- Appuyez maintenant sur le bouton Reset du nœud terminal. D₁ et D₂ doivent également s'allumer ; cela signifie que le nœud terminal s'est associé au réseau créé par le coordinateur avec succès. Si cela n'est pas le cas, répétez la démarche.
- Appuyez ensuite sur PB₄ de chacune des cartes pour les associer au groupe 4 ; cette manipulation est liée à l'application. Un nouvel appui sur ce bouton-poussoir enlève le nœud du groupe et éteint la DEL D₁.
- Maintenant que les 2 nœuds font partie du même groupe 4, ils peuvent s'échanger des données. Un appui sur le bouton-poussoir PB₅ d'un des nœuds inverse l'état de la DEL D₂ de l'autre nœud ; ce qui prouve que la transmission a été réalisée avec succès.

– Configuration de l'outil logiciel MPLAB IDE et son compilateur MPLAB C18

Afin de pouvoir obtenir un exécutable de votre application, il est nécessaire de disposer du compilateur capable de délivrer le code pour le microcontrôleur de votre carte. Si le compilateur C18 n'est pas installé sur votre machine, téléchargez le depuis le site de MICROCHIP et installez-le.

– Compilation du code source de l'application pour un nœud du réseau

- Sélectionnez « *File >> Open workspace* »
- Choisissez « *DemoPIC18RFD.mcw* » dans le répertoire de votre PC (c'est un exemple de projet fourni par MICROCHIP avec la pile protocolaire ZigBee 2006).
- Sélectionnez « *Project >> Select language tool suite* » et choisissez l'emplacement pour tous les outils (Figure 9).

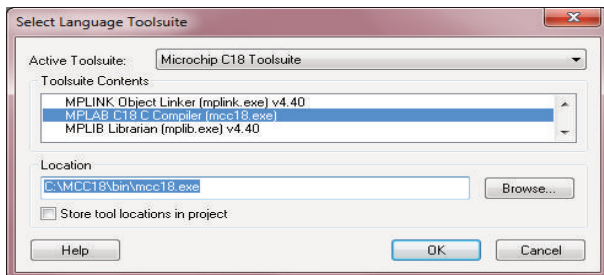


Figure 9 : Initialisation de MPLAB IDE pour le compilateur C18

- Sélectionnez « *Project >> Build all* » Vous pourrez ainsi voir la fenêtre suivante (Figure 10).

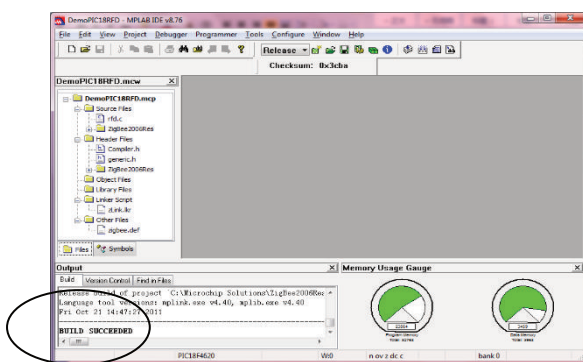


Figure 10 : Echo de MPLAB IDE pour une compilation réussie de l'application

– Initialisation de l'hyperterminal (ou Tera Terminal) pour la transmission série

Nous proposons de créer un réseau de 3 nœuds, comportant un coordinateur, un routeur et un nœud terminal.

Les cartes PICDEMZ peuvent être connectées à un ordinateur. L'application de la carte PICDEMZ envoie sur la ligne série RS232, une aide à l'exécution ainsi qu'un écho de toutes les actions relatives à l'émission et à la réception sur le réseau ZigBee. Dans cette section, nous décrivons les étapes d'initialisation des terminaux (*Tera Terminal*) permettant de suivre l'exécution de l'application sur les ordinateurs PC.

Vous disposez normalement sur votre machine informatique sous Windows d'une application nommée *Hyperterminal*. Si ce n'est pas le cas, vous pourrez facilement télécharger une application équivalente sur Internet. La procédure d'initialisation est donnée ci-dessous.

- Connectez les cartes PICDEMZ à vos ordinateurs en utilisant un câble série RS232. Mettez vos cartes sous tension.
- Ouvrez autant de fenêtre « *Hyperterminal* » que vous utilisez de ports série sur votre ordinateur. La suite de la procédure décrit l'initialisation pour un seul port série.
- Pour commencer, nommez par exemple votre connexion « *test* » (Figure 11). Validez en cliquant sur le bouton OK. Sélectionnez ensuite le port série sur lequel vous êtes connecté : « *COM1* » par exemple. Remarque : si vous utilisez un ordinateur portable souvent dépourvu maintenant de port série, vous aurez probablement besoin d'utiliser un adaptateur RS232/USB ; il sera nécessaire que vous installiez un driver avant l'étape b. Pour connaître le numéro de votre port série, vous accédez au panneau de configuration : « *Control panel >> System >> Hardware >> Device Manager >> Port (COM&LPT)* ».

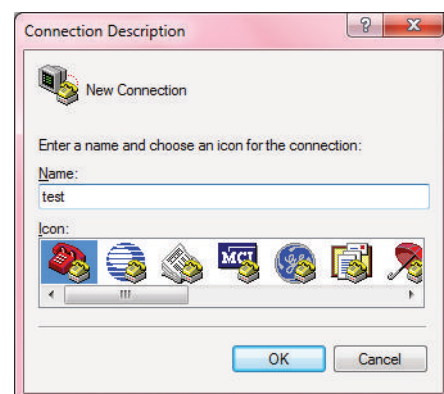


Figure 11a : Initialisation pour Hyperterminal



Figure 11b : Initialisation pour Hyperterminal

Le visuel pour l'initialisation de l'application *Tera Terminal* diffère un peu. Les paramètres sont toutefois identiques (Figure 12).

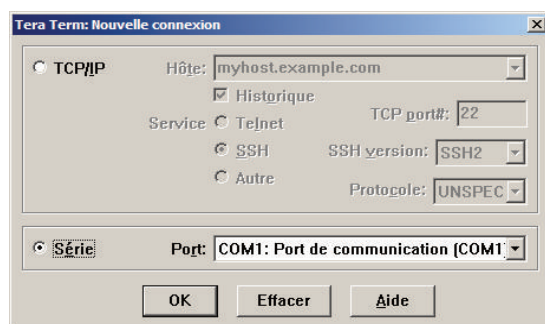


Figure 12 : Initialisation pour l'application Tera Terminal

- d) Paramétrez ensuite votre terminal pour qu'il affiche localement les caractères que vous entrez au clavier et qui seront envoyés sur la ligne série (Figure 13)

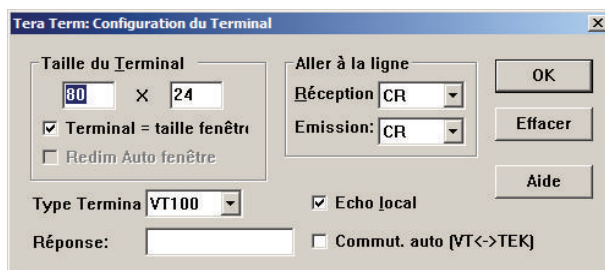


Figure 13 : Paramétrage de Tera Terminal

- e) Configurez le port série avec les paramètres suivants : 19200 bits par seconde, 8 bits de données, pas de parité, 1 bit de stop, pas de contrôle de flux (Figure 14)

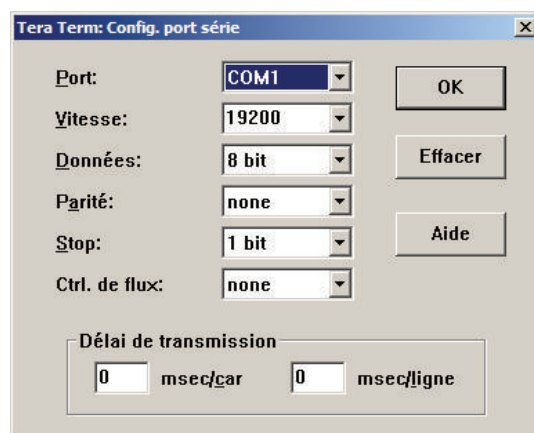


Figure 14 : Paramétrage de la communication série

– Suivi de l'activité des nœuds sur le réseau ZigBee

- a) Faites un RESET de chacune de vos cartes connectées sur vos ordinateurs et vous verrez apparaître pour chacune des fenêtres *Hyperterminal* l'un des contenus illustré sur les figures Figure 15 et Figure 16. Attention ! Le coordinateur doit bien sûr être démarré le premier comme présenté au chapitre précédent, avant le nœud routeur et le nœud terminal.

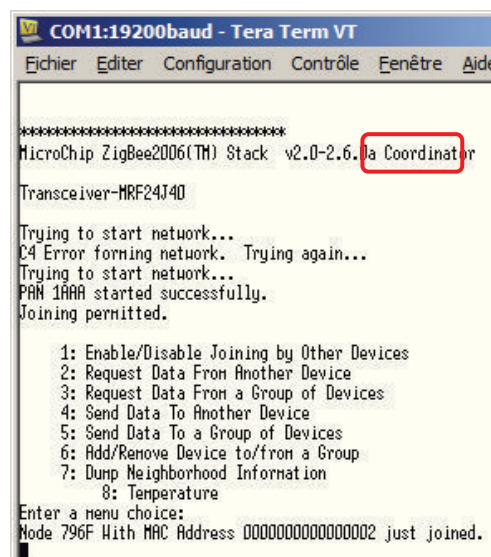


Figure 15a : Écho de l'exécution de nœuds sur l'écran de l'Hyperterminal - Coordinateur

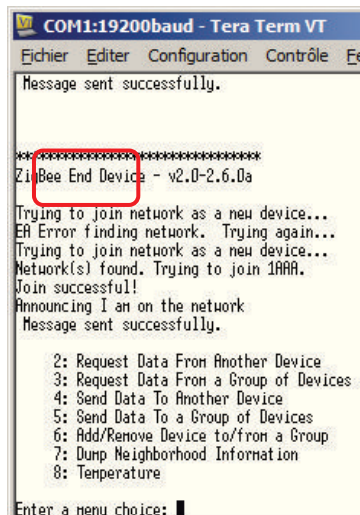


Figure 15b : Écho de l'exécution de nœuds sur l'écran de l'Hyperterminal – Nœud terminal



Figure 16a : Écho de l'exécution des nœuds sur l'écran de l'Hyperterminal - Routeur

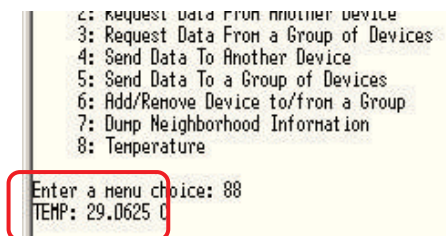


Figure 16b : Écho de l'exécution des nœuds sur l'écran de l'Hyperterminal – Température

- b) Appuyez sur le bouton-poussoir PB₄ pour que toutes les cartes fassent partie du même groupe. Si vous ne voyez pas apparaître le menu sur un des terminaux, cela signifie que l'association a échoué. Appuyez de nouveau sur le bouton-poussoir PB₄ pour résoudre le problème.
- c) En choisissant l'option 7, sur l'écran du coordinateur, vous obtenez les informations d'adresse de tous les nœuds associés au réseau qu'il a créé.
- d) Le choix 2 sur l'écran du nœud terminal permet de demander des données d'un autre nœud. Vous entrerez l'adresse du coordinateur et la quantité de données attendue. Ainsi, le nœud terminal recevra un message du coordinateur incluant la quantité de données (*length*), l'adresse et le buffer de données (arbitraire

dans l'exemple). Ce message contiendra par exemple *00 00 01 02 03* si la longueur que vous avez tapée est 4. Le premier octet indique que le message a été reçu correctement. Ainsi, les données effectives sont *00 01 02 03*.

- e) Le choix 8 sur le nœud terminal permet l'acquisition de la température (Figure 16). Cette fonctionnalité n'est pas incluse dans le pack logiciel de MICROCHIP et a été rajouté par les étudiants.
- f) Le choix 2 sur le coordinateur a été modifié pour recevoir la température d'un nœud terminal (Figure 17). Vous remarquerez que les températures *émise et reçue* sont identiques.
- g) Vous pouvez ensuite tester les autres fonctionnalités de cette application.

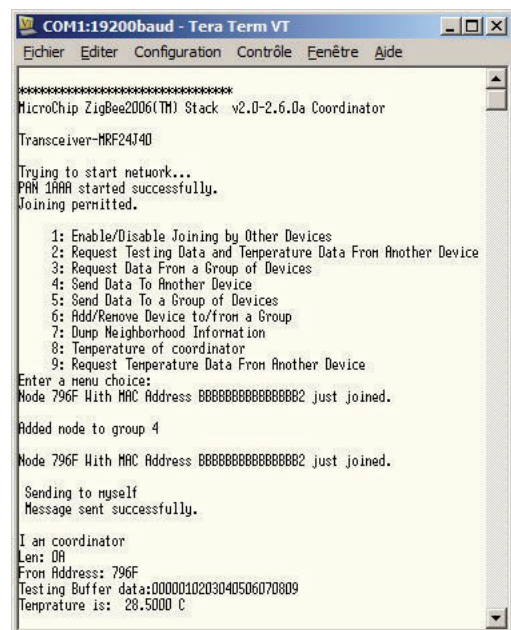


Figure 17a : Requête pour l'envoi de données du nœud terminal vers le coordinateur



Figure 17b : Requête pour l'envoi de données du nœud terminal vers le coordinateur

– Outil d'analyse du réseau sans fil ZigBee

ZENA est un logiciel qui permet l'analyse de toutes les communications respectant la norme ZigBee disposant des couches physique et MAC 802.15.4 standards. Il peut être considéré comme un espion (*SPY* ou *sniffer*) sur le réseau étant donné qu'il ne fait que lire les trames et qu'il ne participe pas aux communications. Il est comparable à des outils bien connus pour Ethernet et WiFi tels que *wireshark* par exemple.

Il est nécessaire d'installer le logiciel ZENA (Figure 18) avant de pouvoir utiliser la carte. Cette application est disponible sur le CD du kit PICDEMZ et peut également se télécharger sur Internet. Pensez également à télécharger son guide d'utilisation nommé en anglais (*ZENA™ Network Analyzer User's Guide*)

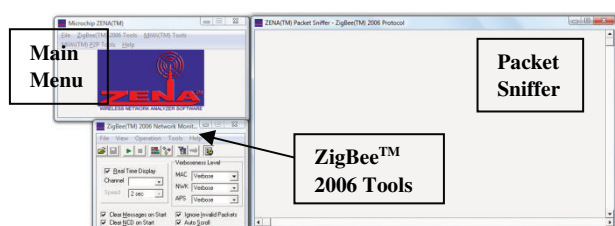


Figure 18 : Outil d'analyse des communications sans fil respectant la norme ZigBee

Vous trouverez sur la Figure 19 un exemple de capture de trames de la carte ZENA. Cette illustration est composée de 11 trames qui ont été lues sur le réseau. Pour chaque trame, vous disposez de plusieurs informations organisées avec des couleurs différentes. Le code vous est donné dans le tableau de la

Figure 20. Toutes les trames sont marquées d'un numéro et d'un temps.

Figure 19 : Exemple d'une capture de trames pour les communications à portée radio de la carte ZENA⁴

Désignation	Couleur
Entête trame MAC	Blanc
Trame MAC de commande et balise	Rouge
Entête trame NWK (réseau)	Beige
Trame de commandes NWK	Fushia
Entête trame APS (application)	Jaune
Payload APS	Bleu clair
Entête trame sécurité et données cryptées	Bleu
Inconnu ou invalide	Brun olive

Figure 20 : Code des couleurs pour les trames affichées par ZENA

Vous suivrez les étapes suivantes pour l'initialisation et l'utilisation du logiciel ZENA.

- Lancez le logiciel ZENA (Notre version v3.0)
- Sélectionner le canal de communication approprié
- Sélectionnez dans le menu « *ZigBee 2006 Tools* » > > *Network traffic monitor* ». Vous ouvrirez automatiquement le *sniffer* de paquets.
- Vous pouvez visualiser l'organisation de réseau avec tous les nœuds présents. Pour cela sélectionnez le menu « *ZigBee 2006 Tools* » > > *Network traffic monitor* » > > *View* » > > *Configuration display* ». Si à l'ouverture aucune activité n'a eu lieu, vous n'avez qu'un élément inconnu affiché. Dans le cas contraire, l'affichage intègre toutes les connexions existantes dans le réseau. Vous trouverez un exemple d'organisation simple obtenu à partir des trames reçues par le *sniffer* de paquets sur la Figure 21. N'hésitez pas à utiliser le guide

Désignation	Couleur
Entête trame MAC	Blanc
Trame MAC de commande et balise	Rouge
Entête trame NWK (réseau)	Beige
Trame de commandes NWK	Fushia
Entête trame APS (application)	Jaune
Payload APS	Bleu clair
Entête trame sécurité et données cryptées	Bleu
Inconnu ou invalide	Brun olive

d'utilisation pour avoir des informations complémentaires sur le fonctionnement de l'outil ZENA.

⁴ Afin d'obtenir ce type de capture, prendre soin de lancer cette dernière lorsque le réseau est construit et stabilisé. Vous risquez sinon de visualiser les trames d'association utilisées lors de la création du réseau. Ce

type d'analyse est également intéressant mais plus complexe dans un premier temps que l'analyse des trames liées au simple transport d'information applicatives.

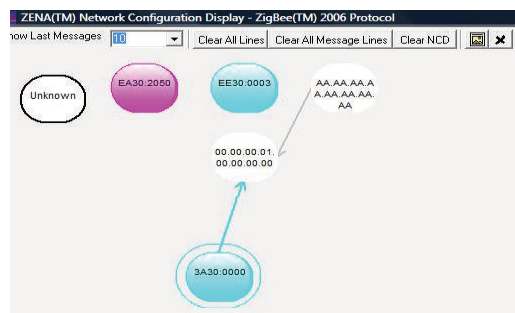


Figure 21 : ZENA -Exemple d'organisation réseau

- e) Afin de démarrer l'acquisition, vous devez cliquer sur le bouton « Start » ou sélectionner le menu « Operation >> Start sniffing/Playback » (Figure 22).

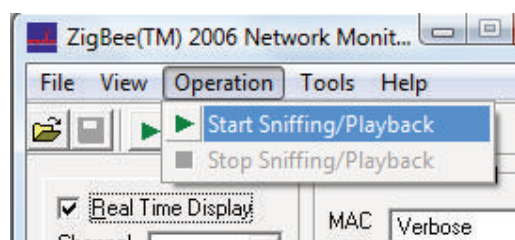


Figure 22 : Lancement de l'acquisition des trames avec ZENA

Vos outils sont maintenant prêts à vous afficher l'activité de votre réseau composé des 3 nœuds décrits précédemment. Nous vous proposons de visualiser l'organisation du réseau ainsi que toutes les trames transmises à la suite d'une requête de transmission de données du coordinateur à un nœud terminal.

Nous visualisons donc la configuration du réseau avec l'outil adapté de ZENA (Figure 23). Nous retrouvons notre réseau maillé comprenant 2 nœuds terminaux, un routeur et le coordinateur.

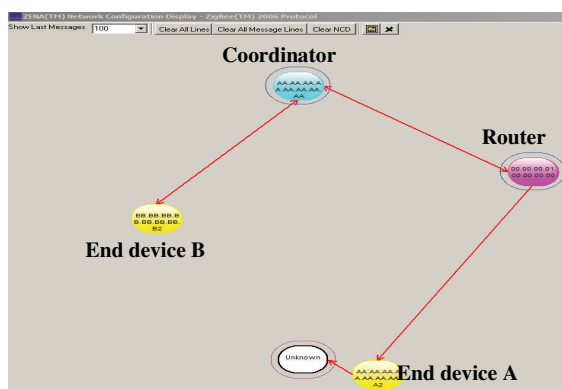


Figure 23 : Topologie du réseau mise en oeuvre

Les trames échangées lors de la requête de demande de données du coordinateur au nœud terminal sont illustrées sur la Figure 24.

Les 3 plus longues trames sont celles qui nous intéressent. Dans l'ordre d'apparition, nous avons :

- la trame de requête de données envoyée par le coordinateur au nœud terminal,
- la trame pour l'acquiescement de la requête du coordinateur envoyée par le nœud terminal pour indiquer qu'il a bien reçu la demande d'envoi de données. Il prend le temps nécessaire pour répondre,
- enfin, la trame réponse du nœud terminal. Celle-ci contient notamment les données que le coordinateur lui a demandé, en l'occurrence la valeur de la température au voisinage du capteur du nœud terminal.

Dans ces trames, nous retrouvons plus particulièrement les adresses du coordinateur et du nœud terminal sollicité pour l'envoi des données sur la température, puis les données qui seront affichées sur l'écran de l'Hyperterminal du coordinateur.

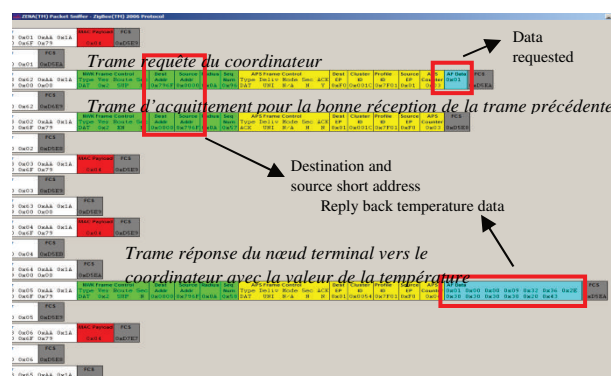


Figure 24 : Trames détaillées relatives à la requête du coordinateur

5. Conclusion

L'utilisation de la technologie ZigBee/IEEE 802.15.4 telle qu'elle est présentée dans cet article s'adresse à toutes les personnes désirant découvrir cette technologie de communication sans fil. La diversité des produits supportant la norme, la simplicité de mise en oeuvre et l'encombrement réduit en font un outil privilégié pour des problématiques embarquées.

Les 2 étudiants de niveau Bac+2 ayant travaillé sur ce projet n'avaient pour commencer que peu ou pas de connaissance sur les technologies de communication sans fil. La création d'un réseau avec des communications simples entre les nœuds ne leur a pas

posé de problème. La documentation est abondante, notamment en langue anglaise.

Le problème de la communication peut être abordé avec plusieurs niveaux de difficulté : de simple utilisateur à utilisateur expérimenté. Le premier fournit à la carte de transmission les données qui seront envoyées en respectant le standard. L'utilisateur plus expérimenté pourra lui-même formater ses trames (*payload*) et y inclure tout ce qui lui semble utile pour son application. Ce dernier niveau nécessite un minimum de connaissances de la programmation en langage évolué (langage C). Les étudiants ont abordé ce deuxième niveau avec l'acquisition de la température sur la carte mère et la création de leur propre trame. Il est même ensuite possible de passer à une analyse encore plus détaillée du réseau ZigBee, en particulier en visualisant et analysant les trames échangées lors de la construction du réseau, étape par étape, ou le retrait d'un nœud suite à une panne ou un éloignement radio, mais ceci est une « autre histoire » !

La transposition de cette démarche sur une autre plateforme n'est pas insurmontable. N'hésitez pas à utiliser les kits de découverte des différents constructeurs. Nous pouvons par exemple citer les produits proposés par la société CLEODE [10], en particulier le kit orienté pédagogie *EduBee*. Ce kit complet dispose d'une clé USB coordinateur (*UBee*), d'une prise de courant *ZBee* pilotable par radio et permettant également des remontées de consommation énergétique, d'une télécommande *ZRC* à 5 boutons poussoirs, remontant également la température de la pièce, et comme le kit utilisé dans cet article, d'un espion *PacketSniffer* associé ici à une clé USB équipée d'un CI CC2531 de *Texas Instrument*.

6. Sources bibliographiques

- [1] Adrien VAN DEN BOSSCHE, Thierry VAL, Eric CAMPO, « La technologie sans fil 802.15.4 : son héritage protocolaire et ses applications », Techniques de l'Ingénieur, France - Novembre 2011
- [2] Groupe de travail IEEE TG4 : <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [3] IEEE 802.15.4TM – 2011, IEEE Standard for local and metropolitan area networks – Part 15.4 : Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>
- [4] Cyril ZARADER, « Le protocole sans-fil ZigBee/IEEE 802.15.4 et ses applications », REE N°10, pp91-98, Revue de l'Electricité et de l'Electronique, novembre 2004.
- [5] Logiciel MPLAB IDE – lien pour le téléchargement : <http://www.microchip.com>
- [6] Modules XBEE et logiciels associés : <http://www.matlog.com/wireless/modules-zigbee-et-802154/>
- [7] Modules ARDUINO : <http://www.arduino.cc/>
- [8] Modules Mbed de NXP : <http://mbed.org/nxp/lpc1768/>
- [9] Derrick P. LATTIBEAUDIERE, MICROCHIP Inc., « AN132 – MICROCHIP ZigBee-2006 Residential Stack Protocol », 2008.
- [10] Kit d'évaluation ZigBee domotique et pédagogique de la société CLEODE : <http://www.cleode.fr>
- [11] Thèse : Jackson FRANCOMME, « Propositions pour un protocole déterministe de contrôle d'accès et de routage avec économie d'énergie dans les réseaux ZigBee », Université de Toulouse, Juin 2008.

PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE A BASE DE MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION (MADA)

Gaëtan DIDIER *, **, Thierry LUBIN ** et Edouard RICHARD ***

* ESSTIN - Université de Lorraine

2, Rue Jean Lamour – 54519 Vandœuvre-Lès-Nancy, Cedex.

** Faculté des sciences et technologies – Université de Lorraine

GREEN - BP 239 - 54506 Vandœuvre-Lès-Nancy, Cedex.

Gaetan.Didier@green.uhp-nancy.fr

Thierry.Lubin@green.uhp-nancy.fr

*** IUT Henri Poincaré de Longwy

Université de Lorraine

Département GEII

186 rue de Lorraine

54400 Cosnes et Romain

Edouard.Richard@univ-nancy.fr

Résumé : L'énergie éolienne est développée par de très nombreux pays et connaît une croissance très importante : +30% par an en moyenne sur les dix dernières années. La formation des futurs techniciens et ingénieurs doit en tenir compte et proposer des maquettes de travaux pratiques en lien avec ce sujet qui reste à l'heure actuelle en perpétuelle croissance. C'est dans cet objectif que des enseignants de l'Université de Lorraine ont développé une maquette de travaux pratiques permettant la compréhension d'un système éolien au travers des éléments habituellement étudiés dans leurs formations (machines électriques, électronique de puissance et de commande, ...). Cet article décrit une maquette pédagogique permettant d'étudier simplement le fonctionnement d'une génératrice asynchrone en mode « double alimentation ».

1. INTRODUCTION.

L'énergie renouvelable utilisée le plus massivement en France, reste, à ce jour, l'hydroélectricité. Cependant, la production d'énergie électrique à base d'éolienne connaît un essor important car c'est une énergie renouvelable :

- bon marché ;
- inépuisable ;
- disponible presque partout ;
- propre et sans impact sur le climat.

En moyenne, depuis 1997, la capacité de production éolienne installée en Europe croît de 30% par an. Cette hausse est comparable à celle du nucléaire dans les années 1970. Si l'on se focalise sur le territoire Français, l'énergie éolienne se place à la 2^{ème} place en terme de production électrique renouvelable (7,8 TWh après les 61,6 TWh de l'hydraulique) [1].

Grâce à cette forte croissance, les débouchés professionnels dans les domaines de l'électrotechnique, de l'électronique et de l'automatique en corrélation avec la production énergétique propre augmentent. Ces nouvelles données nous obligent à prendre en compte cette technologie dans nos programmes pédagogiques, que ce soit pour former nos futurs techniciens (BTS, DUT, Licences Professionnelles) ou ingénieurs (Masters, Ecoles d'ingénieurs). L'objectif de cet article est de présenter un banc expérimental simple destiné à mettre en œuvre la machine asynchrone double alimentation (MADA) dans un système de production d'énergie électrique.

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MADA.

La MADA (Machine Asynchrone à Double Alimentation) est une machine asynchrone à rotor bobiné dont le stator est directement connecté au réseau (Fig. 1). Le rotor, quant à lui, est connecté au réseau via deux convertisseurs, l'un permettant la conversion des tensions du réseau (de fréquence et d'amplitude fixes) en une tension continue (bus DC), l'autre permettant la conversion de la tension continue en trois tensions alternatives variables en fréquence, en amplitude et en phase. Ces deux convertisseurs ont la particularité de pouvoir fonctionner dans les deux sens, c'est à dire que le transfert de puissance peut aussi bien se faire du rotor vers le réseau (fonctionnement de la MADA en mode hyper-synchrone) que du réseau vers le rotor (fonctionnement de la MADA en mode hypo-synchrone).

Le système MADA permet de transférer la totalité de la puissance générée par l'éolienne P_m (aux pertes près) à travers le stator et le rotor. En sachant que la puissance transitée par le rotor est plus faible que celle transitée par le stator, il est évident que l'avantage de la MADA réside dans le fait qu'à puissance identique, le dimensionnement des convertisseurs de puissance sera moindre (environ 1/3 de la puissance de la machine) que dans un système direct (alternateur synchrone + convertisseurs) [3].

Etant donné que le champ rotorique d'une MADA peut tourner dans les deux sens grâce à la commande du convertisseur, la machine asynchrone peut produire de l'énergie dans deux modes de fonctionnements différents :

- Hypo-synchrone ($g > 0$)
- Hyper-synchrone ($g < 0$)

Le choix d'un des deux modes de fonctionnement sera fonction de la quantité de puissance mécanique P_m fournie par les pâles de l'éolienne à l'arbre de la machine et donc de la vitesse du vent [2] :

$$P_m = \frac{1}{2} \rho S C_p(\lambda, \beta) v^3 \quad (1)$$

où ρ , $C_p(\lambda, \beta)$, S et v représentent respectivement la masse volumique de l'air (environ $1,25 \text{ kg/m}^3$), le coefficient de puissance de l'éolienne, qui est fonction de l'angle de calage des pâles β et de la vitesse spécifique λ donnée par l'équation (2), la surface balayée par les pâles et la vitesse du vent en m/sec.

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (2)$$

où ω et R représentent respectivement la vitesse de rotation de la turbine en rad/sec et le rayon de la turbine (ou longueur des pâles).

Le fait de pouvoir fixer la fréquence des tensions appliquées au stator et au rotor, que nous appellerons respectivement f_s et f_r , permet de fixer le glissement g de la machine, donc la vitesse de rotation Ω de la génératrice en utilisant les relations habituelles :

$$f_r = g f_s \quad (3)$$

$$\Omega = (1 - g) \Omega_s \quad (4)$$

où Ω_s représente la vitesse de synchronisme de la machine asynchrone (en rad/sec).

Le schéma électrique équivalent de la MADA est donné à la figure 2 en prenant une convention générateur au stator et au rotor. Pour une MADA, le modèle équivalent fait apparaître la tension aux bornes d'une phase statorique V_s et la tension aux bornes d'une phase rotorique V_r . A partir de ce schéma équivalent, le bilan de puissance nous donne :

$$-P_s - \frac{P_r}{g} = 3R_s I_s^2 + 3 \frac{E^2}{R_f} + 3 \frac{R_r}{g} I_r^2 \quad (5)$$

La puissance transmise au stator P_{ts} s'écrit :

$$P_{ts} = -\frac{P_r}{g} - 3 \frac{R_r}{g} I_r^2 = P_s + 3R_s I_s^2 + 3 \frac{E^2}{R_f} \quad (6)$$

On en tire les relations suivantes :

$$P_s = P_{ts} - 3R_s I_s^2 - 3 \frac{E^2}{R_f} \quad (7)$$

$$P_r = -g P_{ts} - 3R_r I_r^2 \quad (8)$$

En négligeant les pertes mécaniques de la machine, nous trouvons :

$$P_m = (1 - g) P_{ts} \quad (9)$$

Dans le cas où toutes les pertes sont négligeables (pertes Joules, pertes fer de la machine et pertes dans le convertisseur statique) :

De (7), on obtient $P_s = P_{ts}$

De (8), on obtient $P_r = -g P_{ts}$

Ce qui donne les relations simplifiées entre la puissance mécanique P_m , la puissance statorique P_s et la puissance rotorique P_r (avec les conventions adoptées ici) :

$$P_s = \frac{P_m}{1 - g} \quad (10)$$

$$P_r = -g \frac{P_m}{1 - g} \quad (11)$$

- Pour un fonctionnement en mode hypo-synchrone ($g > 0$ et $P_m > 0$ d'après les conventions), nous obtenons $P_s > 0$ et $P_r < 0$: *le stator fournit de la puissance au réseau alors que le rotor en absorbe.*
- Pour un fonctionnement en mode hyper-synchrone ($g < 0$ et $P_m > 0$ d'après les conventions), nous obtenons $P_s > 0$ et $P_r > 0$: *le stator fournit de la puissance au réseau tout comme le rotor.*

De plus, en considérant $R_s I_s \ll V_s$ et un essai à rotor ouvert, le modèle équivalent de la figure 2 nous donne la relation simple qui lie V_r à V_s :

$$V_r = m \cdot g \cdot V_s \quad (12)$$

où m représente le rapport de transformation de la machine asynchrone.

Le bilan de puissance de la MADA, en adoptant les conventions précitées, est donné à la figure 3 où l'on représente P_{res} comme étant la puissance renvoyée au réseau, P_r' la puissance qui transite entre le réseau et le convertisseur, P_r la puissance qui transite entre le convertisseur et le rotor de la MADA, P_{ts} la puissance transmise au stator, P_{em} la puissance électromagnétique et P_s la puissance fournie par le stator de la machine. Les puissances nommées p_{conv} , p_{jr} , p_{js} , p_c , p_G et p_{fs} représentent respectivement les pertes joules dans le convertisseur, dans les enroulements rotoriques, dans les enroulements statoriques, les pertes mécaniques de la MADA, les pertes du multiplicateur et les pertes fer statoriques. On considère que les pertes fer rotoriques sont négligeables même si la fréquence des courants rotoriques maximale avoisine les 15 Hz ($g_{max}=30\%$).

3. BANC EOLIEN EXPÉRIMENTAL.

Pour effectuer l'étude pédagogique d'une éolienne de type MADA, nous avons développé le banc expérimental présenté à la figure 4 (les caractéristiques des machines utilisées et du convertisseur sont données dans le tableau 1).

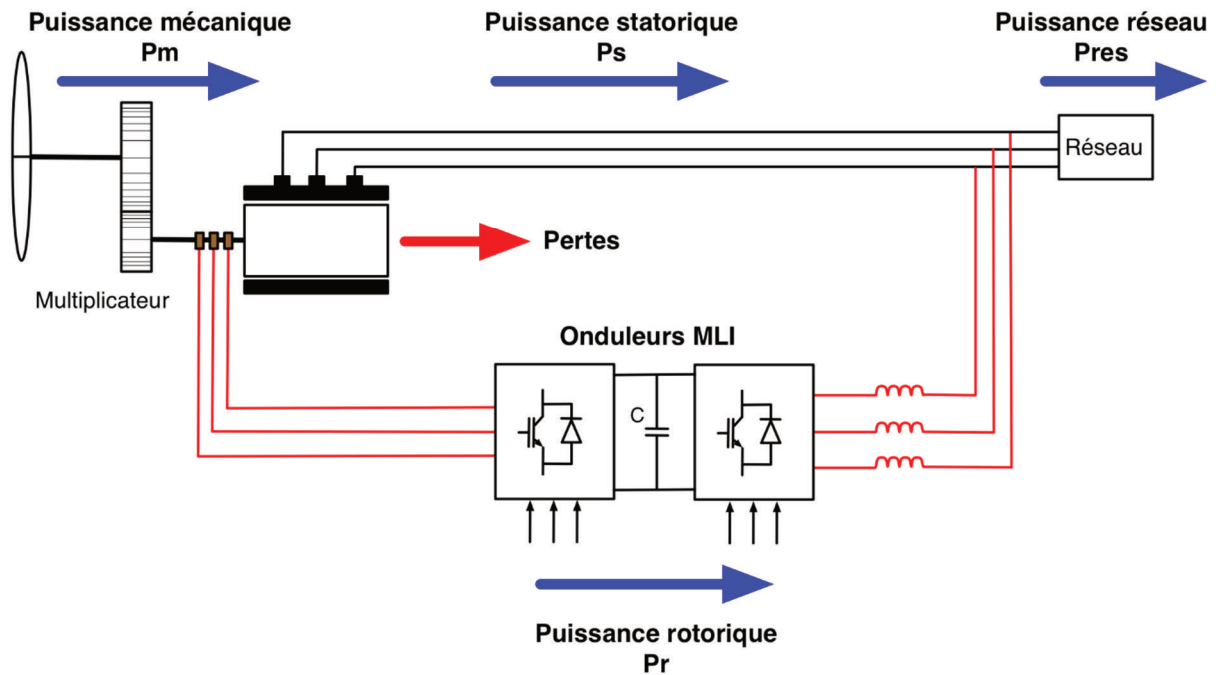
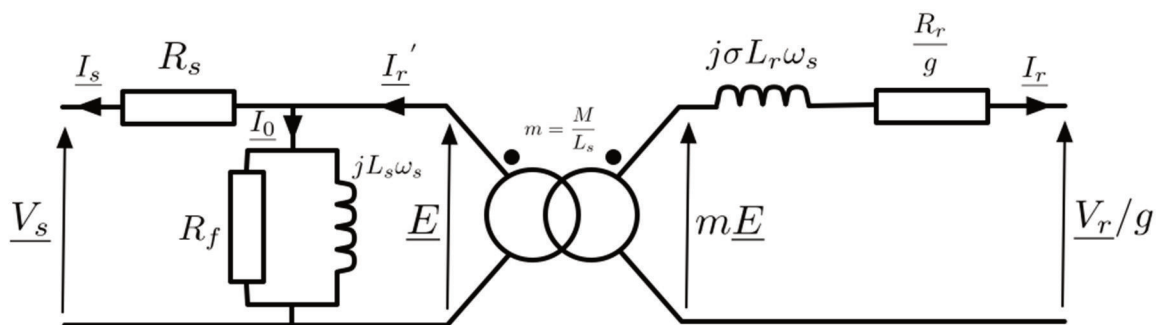


Figure 1 : Eolienne couplée au réseau par une machine asynchrone à double alimentation – Schéma de principe



- R_s : résistance d'un enroulement statorique
- R_r : résistance d'un enroulement rotorique
- R_f : résistance équivalente aux pertes dans le fer du stator
- L_s : inductance cyclique statorique
- L_r : inductance cyclique rotorique
- M : inductance mutuelle cyclique stator-rotor
- σ : coefficient de dispersion ($\sigma = 1 - M^2/L_sL_r$)
- m : rapport de transformation
- g : glissement

Figure 2 : Schéma électrique équivalent de la MADA (convention générateur au stator et au rotor)

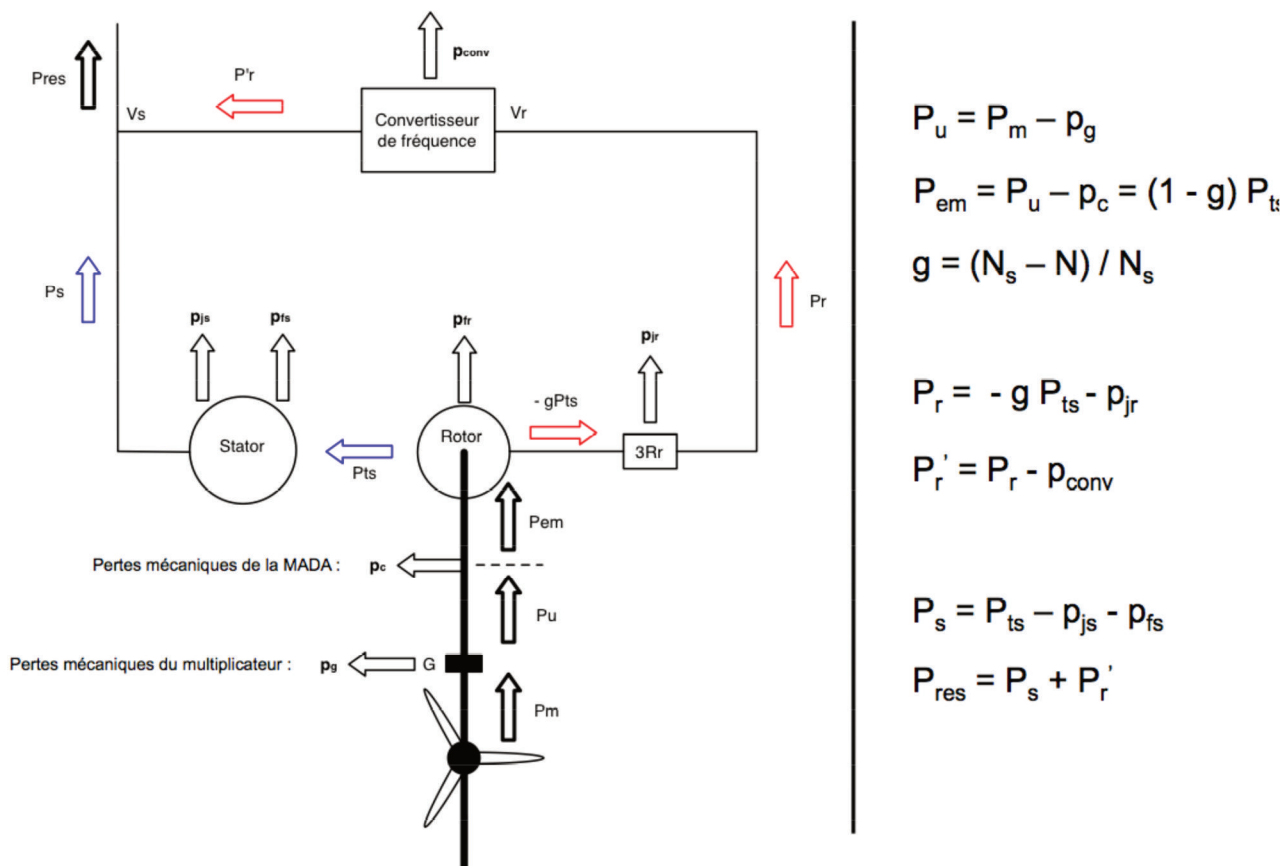


Figure 3 : Bilan de puissance de la MADA (convention générateur au stator et au rotor)

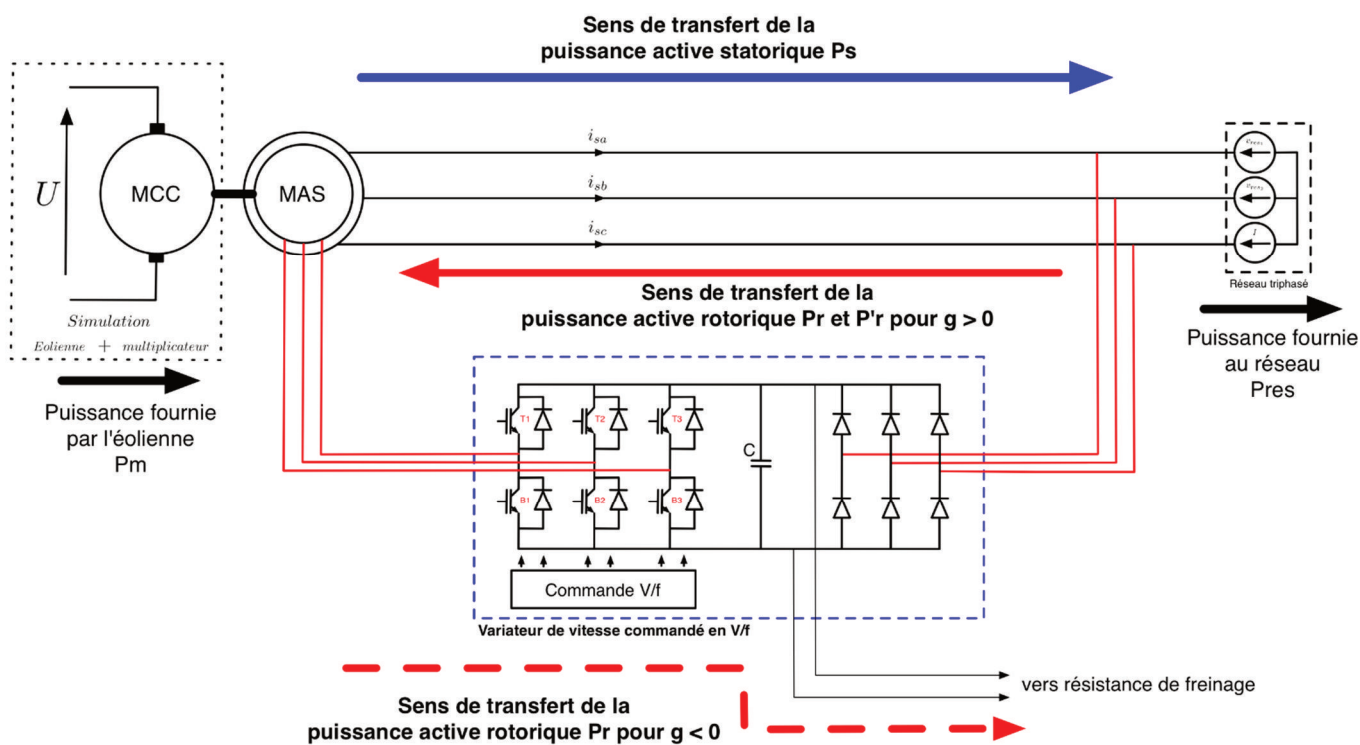


Figure 4 : Banc Eolien Expérimental intégrant une Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA)

Une machine à courant continu (MCC) fonctionnant en moteur permet de simuler la rotation des pâles de l'éolienne. Cette MCC entraîne une machine asynchrone à rotor bobiné de 1,5 kW. Le stator de la machine asynchrone est raccordé directement au réseau triphasé 400 Volts – 50 Hz. Le rotor quant à lui, a ses trois phases raccordées au réseau à travers un variateur de vitesse classique fonctionnant à U/f constant. Ce variateur est composé d'un onduleur triphasé permettant de transformer la tension du bus continu en trois tensions alternatives d'amplitude et de fréquence variables (le transit de puissance de l'onduleur peut être bidirectionnel, du rotor vers le bus DC ou du bus DC vers le rotor) ainsi que d'un redresseur non commandable (pont triphasé à diodes permettant le transfert de la puissance du réseau vers le bus DC). Le fait que la puissance de ce convertisseur soit unidirectionnelle nous oblige à placer une résistance de freinage aux bornes de la capacité C pour permettre d'évacuer l'excédant de puissance au niveau du bus DC lorsque la machine asynchrone à double alimentation fonctionne en mode hyper-synchrone (Fig. 4).

MADA (Leroy-Somer)	MCC – Exc. Séparée (Leroy-Somer)
1500 W 1500 tr/min 230/400 V – 7,5/4 A $U_r = 196\text{ V} - I_r = 6,5\text{ A}$ $R_s = 4,7\ \Omega - R_r = 1,05\ \Omega$	1500 W 1500 tr/min Induit : 200 V – 9,2 A Inducteur : 190 V – 0,44 A
Convertisseur de puissance	
Marque : Leroy Somer Réf : Unidrive SP1403 – 6,8A	

Tableau 1 : Caractéristiques des machines et du convertisseur utilisés.

4. ESSAIS EXPÉRIMENTAUX.

La puissance récupérable en sortie d'une éolienne est habituellement déterminée par la courbe $P_m=f(v)$ donnée à la figure 5 [4], où v_d représente la vitesse du vent à partir de laquelle l'éolienne se met en fonctionnement (environ 3 m/s), v_n la vitesse du vent qui permet à la turbine de débiter sa puissance nominale (environ 12 m/s) et v_m , la vitesse de vent à partir de laquelle l'éolienne est arrêtée pour assurer sa sécurité (environ 25 m/s).

Par conséquent, connaissant la vitesse du vent v (mesurée habituellement par un anémomètre), il est possible de déterminer le coefficient $C_p(\lambda, \beta)$ maximal (Eq. 1) en déterminant la vitesse de rotation optimale Ω de la MADA (Eq. 2) permettant d'extraire le maximum de puissance P_m . La vitesse obtenue permet de définir si le mode de fonctionnement de la génératrice doit être hypo-synchrone ou hyper-synchrone.

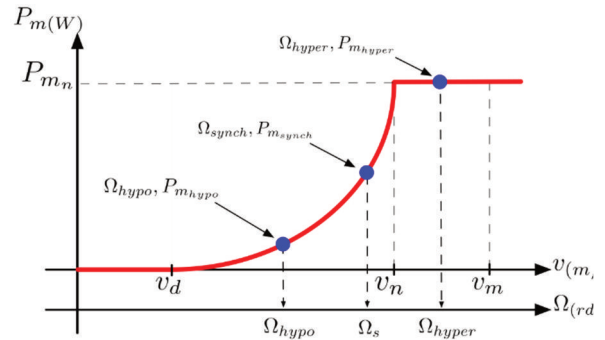


Figure 5 : Puissance de sortie d'une éolienne en fonction de la vitesse du vent.

A partir de ce constat, nous avons décidé de réaliser trois essais expérimentaux pour étudier le fonctionnement de la MADA. Le premier essai permettra l'étude du mode hypo-synchrone de la génératrice. Pour ce point de fonctionnement, nous supposons une vitesse de vent v permettant d'obtenir une vitesse de rotation Ω_{hypo} inférieure à la vitesse de synchronisme Ω_s . Le second essai permettra l'étude du mode hyper-synchrone. Dans ce cas, nous supposons une vitesse de vent v donnant une vitesse de rotation Ω_{hyper} supérieure à la vitesse de synchronisme Ω_s . Le troisième essai consistera à étudier la MADA lorsque la vitesse du vent v donne une vitesse de rotation Ω_{synch} égale à la vitesse de synchronisme Ω_s . Pour chaque essai, la puissance mécanique correspondant à la courbe $P_m=f(v)$ sera imposée à la MADA au travers de la MCC. Les trois essais sont identifiés par le couple (Ω, P_m) sur le graphique de la figure 5.

Pour réaliser ces différents essais expérimentaux, un réglage préalable du convertisseur de puissance doit être effectué avant toute mise en fonctionnement. En effet, ce dernier doit être paramétré de sorte à délivrer une tension en adéquation avec la tension nominale des enroulements rotoriques de la MADA. Dans notre cas, le paramètre **0.44** du convertisseur de puissance, qui correspond à la tension composée maximale admissible sur l'enroulement commandé, est réglé sur 190 Volts pour permettre un fonctionnement normal de la MADA. A titre informatif, le tableau 2 donne les références du matériel utilisé pour relever toutes les données présentées ci-après.

Matériel	Référence
Oscilloscope	Lecroy 60 Mhz 4 entrées
Acquisition des données	NI USB 6009
Wattmètres	Fluke NORMA 4000 Power Analyser
	Fluke 434 Power Quality Analyser

Tableau 2 : Référence des appareils de mesures.

Pour réaliser les mesures de la MADA en mode hypo-synchrone et hyper-synchrone, le wattmètre NORMA 4000 sera placé entre le convertisseur de puissance et les enroulements rotoriques de sorte à mesurer P_r . En ce qui concerne le wattmètre Fluke 500, il sera placé entre les enroulements statoriques et le réseau pour mesurer les puissances P_s , P_{res} et P_r' (la tension étant identique pour la mesure de ces trois puissances, il suffira de déplacer les trois pinces de courant de sorte à obtenir la puissance souhaitée).

4.1 Caractéristiques $V_r=f(g)$ et $f_r=f(g)$.

Dans un premier temps, pour déterminer le sens d'entraînement de la MADA, il est nécessaire de mettre en court-circuit ses enroulements rotoriques et d'alimenter ses enroulements statoriques avec une source de tension triphasée réglable en amplitude (autotransformateur triphasé). Cette manipulation permet de déterminer le sens de rotation du rotor et ainsi de câbler l'induit de la MCC pour que cette dernière tourne dans le même sens.

Une fois le sens de rotation défini, il faut connecter les enroulements statoriques au réseau triphasé (400 Volts – 50 Hz) et mesurer la valeur de la tension aux bornes d'une phase rotorique V_r , la MADA étant à vitesse nulle. Cet essai permet de déterminer la valeur du rapport de transformation m de la machine. En utilisant la génératrice précédemment citée (Partie 3), nous trouvons une tension U_r de 186 Volts, pour une tension U_s de 400 Volts, donc un rapport de transformation égal à 0,465, ce qui correspond pratiquement à la valeur indiquée sur la plaque signalétique de la machine. Le relevé des points permettant de tracer les caractéristiques $V_r=f(g)$ et $f_r=f(g)$ s'effectue en mettant en rotation la MADA grâce à la MCC (les enroulements statoriques étant toujours connectés au réseau) et en visualisant la forme de la tension V_r à l'oscilloscope. La vitesse de la MCC peut varier de 0 à 2000 tr/min en réglant la tension d'induit U . Nous présentons sur la figure 6 l'allure des caractéristiques obtenues.

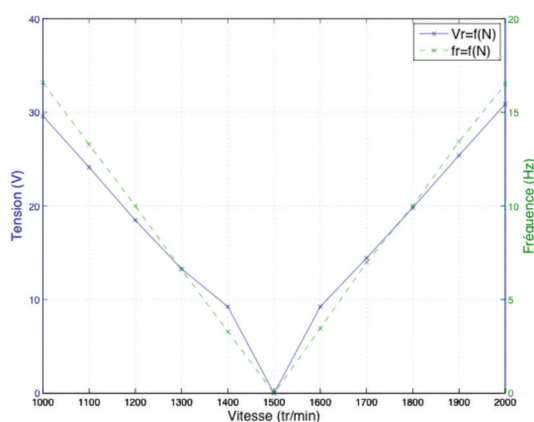


Figure 6 : Valeur efficace et fréquence de la tension d'une phase rotorique en fonction du glissement.

On constate que les courbes vérifient la théorie en montrant que la fréquence f_r est proportionnelle à la valeur absolue du glissement de la machine pour une fréquence f_s fixée (Eq. 3). Il en est de même de la tension rotorique V_r où l'on peut aisément vérifier la relation donnée par l'équation 12.

4.2 Etude de la MADA en mode hypo-synchrone.

Pour étudier le fonctionnement de la génératrice en mode hypo-synchrone ou hyper-synchrone, le raccordement de la MADA au réseau et au variateur de vitesse doit être réalisé de la façon suivante :

1. Entrainer le MADA (par la MCC) à sa vitesse de synchronisme (1500 tr/min dans notre cas) ;
2. Connecter les enroulements statoriques de la MADA au réseau triphasé ;
3. Alimenter les enroulements rotoriques via le convertisseur de puissance (la mise sous tension des enroulements rotoriques se réalise à fréquence f_r nulle) ;
4. Augmenter progressivement le rapport V_r/f_r du convertisseur pour permettre le transfert de puissance de la MADA vers le réseau.

Le convertisseur statique est pourvu d'une commande permettant de changer l'ordre des phases imposé aux enroulements rotoriques (modification du sens du champ tournant rotorique). Cette commande va nous permettre de faire fonctionner la MADA soit en mode hypo-synchrone, soit en mode hyper-synchrone.

Les enroulements statoriques de la MADA étant raccordés au réseau, la MCC sera dorénavant utilisée pour fournir la puissance P_u à la génératrice étant donné que la vitesse est fixée par le convertisseur de puissance au travers de f_r (Eq. 3 et 4).

Dans cet essai, nous proposons de faire le bilan de puissance de la génératrice lorsque la MCC fournit 400 Watts à la MADA et que le convertisseur de puissance est réglé de sorte à imposer une vitesse de 1100 tr/min assurant ainsi un fonctionnement en mode hypo-synchrone ($P_{mhypo}=400$ W et $\Omega_{hypo}=115$ rd/sec, cf. Fig. 5).

Pour ce point de fonctionnement, le bilan de puissance de la MADA en respectant nos conventions, est donné dans le tableau 3 (en supposant les pertes fer rotoriques négligeables). Le tableau 3, ainsi que ceux présentés pour chaque essai donne les résultats pratiques mesurés par les différents matériels (ampèremètres, wattmètres, ...) ainsi que les résultats théoriques, calculés à partir de la puissance P_u fournit par la MCC, du glissement imposé par le convertisseur et des différentes pertes calculées, en se basant sur les équations mathématiques données à la figure 3. Les pertes mécaniques du banc ainsi que les pertes fer statoriques ont été mesurées par un essai à vide de la machine asynchrone (essai non

présenté ici). On suppose que ces pertes sont constantes pour les trois essais étudiés. La valeur de la résistance des enroulements R_s et R_r est donnée dans le Tableau 1.

Puissance	Calculée	Mesurée
P_u (Puissance fournie par la MCC)	400 W	400 W
g (Glissement de la MADA)	26,6 %	26,6 %
I_s (courant efficace statorique)		2,5 A
I_r (courant efficace rotorique)		1,86 A
p_c (pertes mécaniques)		40 W
p_{fs} (pertes fer statoriques)		127 W
P_{em} (Puissance électromagnétique)	360 W	
P_{ts} (Puissance transmise au stator)	490 W	
p_{js} (pertes joules statoriques)	88 W	
P_s (Puissance fournie par le stator)	275 W	278 W
$-g P_{ts}$	-130 W	
p_{jr} (pertes Joules rotoriques)	10 W	
P_r (Puissance entre le convertisseur et le rotor)	-140 W	-135 W
p_{conv} (pertes dans le convertisseur)		34 W
P_r' (Puissance entre le réseau et le convertisseur)	-174 W	-169 W
P_{res} (Puissance renvoyée au réseau)	101 W	109 W

Tableau 3 : Bilan de puissance pour un fonctionnement en mode hypo-synchrone.

Dans ce mode de fonctionnement, le rotor de la MADA, au travers du convertisseur statique, absorbe de la puissance au réseau. La puissance totale fournie par le dispositif au réseau P_{res} est donc la somme (convention générateur) de la puissance fournie par les enroulements statoriques P_s (positive) et de la puissance absorbée par les enroulements rotoriques P_r' (négative) au travers du convertisseur de puissance. La puissance théorique renvoyée au réseau présente une erreur de 7% par rapport à la puissance P_{res} mesurée expérimentalement ce qui permet de vérifier les équations données à la figure 3.

Nous donnons aux figures 7 et 8, l'allure du courant $i_s(t)$ fourni par les enroulements statoriques, du courant entre le convertisseur et le rotor $i_r(t)$, du courant entre le réseau et le convertisseur $i_r'(t)$ et du courant renvoyé sur le réseau $i_{res}(t)$.

Concernant la figure 7, nous remarquons bien la différence de fréquence entre les deux courants (50 Hz pour $i_s(t)$ et 13,62 Hz pour $i_r(t)$), fréquence que nous retrouvons sur la décomposition en série de Fourier (DFT) de ces deux signaux présenté à la figure 10.

En ce qui concerne la figure 8, la forme du courant appelé par le convertisseur statique au réseau correspond à la forme d'un courant en entrée d'un pont de diodes triphasé à filtrage capacitif (étage d'entrée du variateur de vitesse utilisé). Le courant envoyé au réseau, quant à

lui, est la somme du courant fourni par une phase statorique (Fig 7) et du courant appelé en entrée du convertisseur ($i_{res}(t) = i_s(t) + i_r'(t)$).

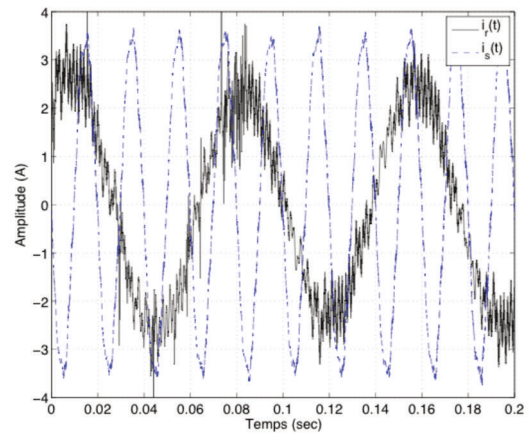


Figure 7 : Allure des courants $i_s(t)$ et $i_r(t)$ en mode hypo-synchrone.

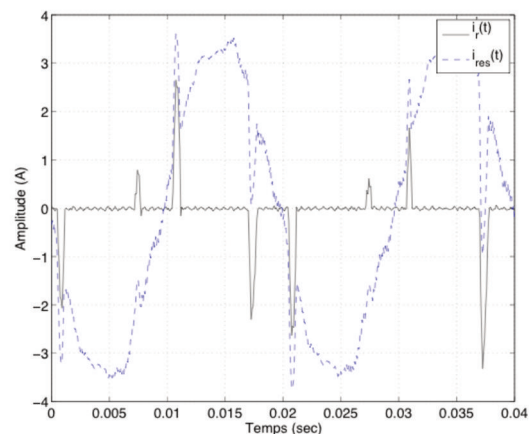


Figure 8 : Allure des courants $i_r'(t)$ et $i_{res}(t)$ en mode hypo-synchrone.

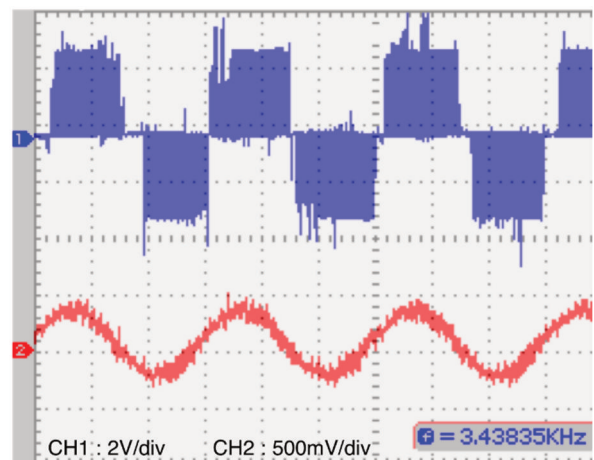


Figure 9 : Tension composée $u_r(t)$ (voie 1) et courant $i_r(t)$ (voie 2) en mode hypo-synchrone.

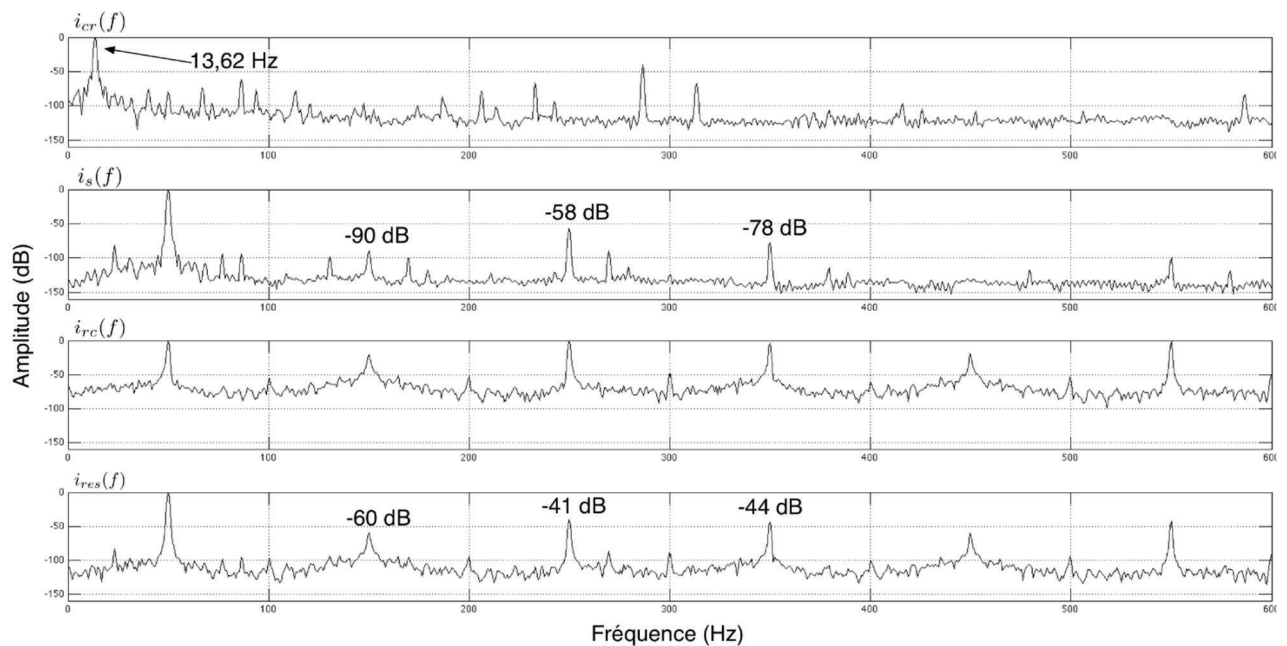


Figure 10 : Transformée de Fourier des courants $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_r'(t)$ et $i_{res}(t)$ en mode hypo-synchrone.

4.3 Étude de la MADA en mode hyper-synchrone.

La figure 9 montre la forme de la tension composée $u_r(t)$ imposée par le convertisseur statique aux phases du rotor ainsi que la forme du courant circulant dans la phase 1 rotorique $i_{r1}(t)$. Concernant la tension $u_r(t)$ (sonde de 200), nous retrouvons bien la forme d'une tension en sortie d'un onduleur triphasé (MLI). La vitesse de la MADA est imposée par la fréquence de cette tension qui, après mesure, donne 13,2 Hz, soit une vitesse de rotation de 1100 tr/min. La fréquence de 3,43835 kHz (indiqué en bas à droite de la figure 9) correspond à la fréquence MLI du convertisseur de puissance mesurée sur $u_r(t)$.

Si l'on se réfère à la figure 10 où est présentée la DFT de ces signaux, nous pouvons nous apercevoir que le courant en entrée du convertisseur $i_r'(f)$ est riche en harmonique étant donné que sa forme est très éloignée d'un signal sinusoïdal. Les harmoniques de rang 5, 7, 9, 11 présents dans cette DFT ont une amplitude proche de celle du fondamentale, ce qui se répercute, aux mêmes fréquences, dans le spectre du courant renvoyé au réseau $i_{res}(f)$ (apparition d'un harmonique à 450 Hz, augmentation du niveau des harmoniques 5, 7, 9 et 11) polluant le réseau de distribution d'énergie électrique sur lequel la MADA est connecté. Cependant, il est important de noter que dans le cas d'un système réel d'alimentation d'une MADA, le convertisseur coté réseau n'est pas un redresseur à diode mais un redresseur MLI qui absorbe un courant sinusoïdal et évite ces problèmes d'harmoniques au réseau.

Nous réalisons les mêmes essais que dans la partie précédente à la différence que la vitesse de rotation imposée par le convertisseur est réglée à 1800 tr/min et que la puissance P_u fournie par la MCC est de 1500 W ($P_{mhyper}=1500$ W et $\Omega_{hyper}=188$ rd/sec, cf Fig. 5).

Pour ce point de fonctionnement, le bilan de puissance de la MADA (voir Figure 3) est donné dans le tableau 4 (on suppose que les pertes fer rotoriques sont négligeables).

Dans ce mode de fonctionnement, le rotor de la MADA, au travers du convertisseur statique, fournit normalement de la puissance au réseau triphasé. Dans le dispositif utilisé, notre convertisseur statique étant composé d'un pont redresseur à diodes, il nous est impossible de renvoyer de la puissance au réseau pour un fonctionnement hyper-synchrone de la génératrice. Pour évacuer l'énergie envoyée par le rotor sur le bus DC, un module de dissipation (hacheur + résistance de freinage) a été connecté aux bornes du condensateur de filtrage C. Pour réaliser un bilan de puissance de la MADA assez proche de la réalité dans cette configuration, il est possible de considérer que la puissance dissipée dans la résistance de freinage serait proche de celle renvoyée au réseau si le convertisseur était bidirectionnel.

Pour déterminer cette puissance, nous présentons à la figure 11 l'allure de la tension et du courant envoyés par le convertisseur de puissance à la résistance de freinage. La puissance moyenne calculée est égale à 106 W pour le point de fonctionnement considéré. Dans le tableau 4, cette puissance vient donc en remplacement de la puissance P_r' .

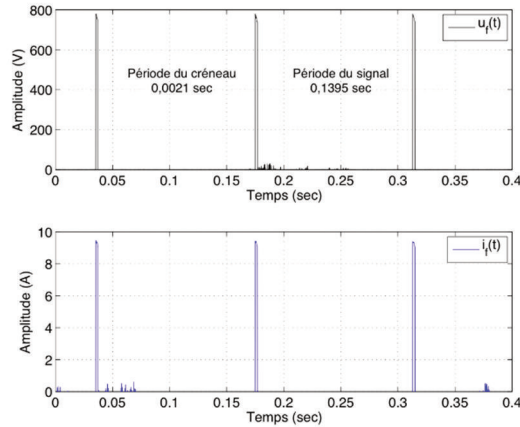


Figure 11 : Allure de la tension et du courant envoyés à la résistance de freinage.

La puissance totale P_{res} fournie par le dispositif peut être calculé en additionnant la puissance fournie par les enroulements statoriques P_s et la puissance moyenne envoyée par le convertisseur à la résistance de freinage P_r' . Les puissances obtenues permettent de vérifier les équations données à la figure 3 étant donné que l'erreur obtenue entre la puissance P_{res} théorique et pratique n'est que de 7,7%.

Puissance	Calculée	Mesurée
P_u (Puissance fournie par la MCC)	1500 W	1500 W
g (Glissement de la MADA)	- 20 %	- 20 %
I_s (courant efficace statorique)		2,22 A
I_r (courant efficace rotorique)		4,26 A
p_c (pertes mécaniques)		40 W
p_{fs} (pertes fer statoriques)		127 W
P_{em} (Puissance électromagnétique)	1460 W	
P_{ts} (Puissance transmise au stator)	1216 W	
p_{js} (pertes joules statoriques)	69 W	
P_s (Puissance fournie par le stator)	1020 W	960 W
$-g P_{ts}$	243 W	
p_{jr} (pertes Joules rotoriques)	57 W	
P_r (Puissance entre le convertisseur et le rotor)	186 W	156 W
p_{conv} (pertes dans le convertisseur)		50 W
P_r' (Puissance entre le réseau et le convertisseur)=(Puissance envoyée à la résistance de freinage)	136 W	106 W
P_{res} (Puissance renvoyée au réseau)	1156 W	960 W* (1066 W)**

Tableau 4 : Bilan de puissance pour un fonctionnement en mode hyper-synchrone

*Puissance égale à la puissance P_s car dans notre cas, $P_r' = 0$ W

** Puissance P_{res} susceptible d'être renvoyée au réseau

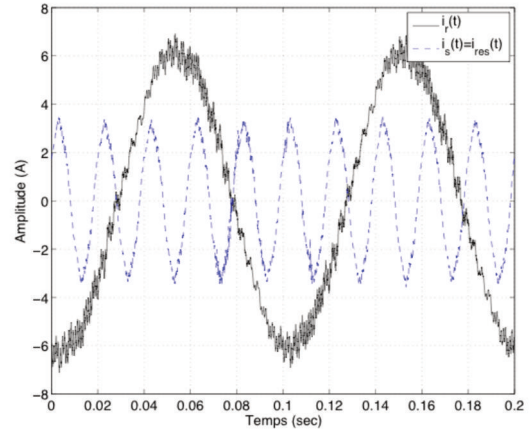


Figure 12 : Allure des courants $i_r(t)$ et $i_s(t) = i_{res}(t)$ en mode hyper-synchrone ($i_r'(t) = 0$).

Nous donnons à la figure 12, l'allure du courant $i_s(t)$ fournit par les enroulements statoriques, qui est égale au courant renvoyé sur le réseau $i_{res}(t)$, et courant dans les enroulements rotoriques $i_r(t)$ qui est égale au courant renvoyé sur le réseau $i_{res}(t)$ (rappelons que dans cette configuration, le courant circulant entre le convertisseur et le réseau $i_r'(t)$ est nul du fait de la présence du pont de diode dans le variateur de vitesse). Cette particularité impose donc un courant $i_{res}(t)$ égal au courant dans une phase statorique $i_s(t)$.

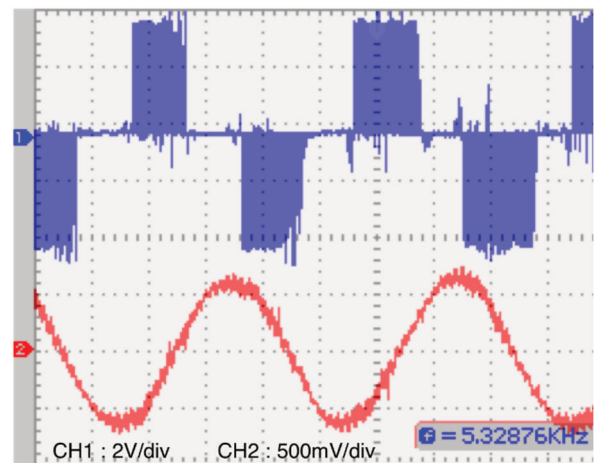


Figure 13 : Tension composée $u_r(t)$ (voie 1) et courant $i_r(t)$ (voie 2) en mode hyper-synchrone.

La figure 13 nous donne la forme de la tension composée $u_r(t)$ ainsi que la forme du courant dans une phase rotorique $i_{r1}(t)$. Par comparaison avec le mode de fonctionnement hypo-synchrone, nous pouvons remarquer que le courant $i_r(t)$ imposé par le convertisseur statique a une amplitude plus importante et une fréquence plus faible (10 Hz) en mode hyper-synchrone. Pour ce point de fonctionnement, nous pouvons noter que le convertisseur statique fonctionne avec une fréquence MLI égale à 5,32876 kHz.

4.4 Etude de la MADA à glissement nul.

Dans ce mode de fonctionnement, le rotor ne transmet aucune puissance au réseau étant donné que le glissement de la MADA est nul. Le point de fonctionnement adopté pour cet essai est $P_{msynch}=800\text{ W}$ et $\Omega_{synch}=157\text{ rd/sec}$ (cf Fig. 5).

Le bilan de puissance de la MADA (voir Fig. 3) dans cette configuration est donné dans le tableau 5.

Puissance	Calculée	Mesurée
P_u (Puissance fournie par la MCC)	800 W	800 W
g (Glissement de la MADA)	0 %	0 %
I_s (courant efficace statorique)		1,8 A
I_r (courant efficace rotorique)		2 A
p_c (pertes mécaniques)		40 W
p_{fs} (pertes fer statoriques)		127 W
P_{em} (Puissance électromagnétique)	760 W	
P_{ts} (Puissance transmise au stator)	760 W	
p_{js} (pertes joules statoriques)	45 W	
P_s (Puissance fournie par le stator)	588 W	530 W
$-g P_{ts}$	0 W	
p_{jr} (pertes Joules rotoriques)	12,6 W	
P_r (Puissance entre le convertisseur et le rotor)	-12,6 W	-18 W
p_{conv} (pertes dans le convertisseur)		35 W
P_r' (Puissance entre le réseau et le convertisseur)	-47,6 W	-53 W
P_{res} (Puissance renvoyée au réseau)	540 W	490 W

Tableau 5 : Bilan de puissance pour un fonctionnement à glissement nul.

Une erreur de 10% apparaît entre P_{res} théorique et P_{res} pratique, ce qui reste correct étant donné les hypothèses considérées (pertes dans le fer et pertes mécaniques identiques pour les 3 essais, pertes fer négligées au rotor). Dans ce mode de fonctionnement particulier, le rotor ne consomme que la puissance réactive nécessaire à magnétiser son circuit, ce qui signifie que seules les pertes joules rotoriques transitent entre le convertisseur et le rotor de la génératrice (12,6 W calculés par rapport aux 18 Watts mesurés).

CONCLUSION.

Ce travail présente une maquette pédagogique permettant d'étudier un système éolien à base de générateur asynchrone fonctionnant en mode « double alimentation ». Le matériel utilisé pour réaliser cette maquette de travaux pratiques reste habituel et connu des étudiants car des TP sur les différents organes ont déjà été effectués préalablement dans ces formations. Pour éviter l'utilisation d'un convertisseur statique totalement réversible et la commande associée (système complexe), nous avons opté pour un variateur de vitesse classique disponible dans les salles de travaux pratiques de génie électrique.

Le principal avantage de cette étude est de permettre aux étudiants de voir ou revoir en une seule fois le domaine des machines électriques et de l'électronique de puissance tout en travaillant sur un domaine porteur (production d'énergie propre). Ce type de TP est essentiel dans une formation technique car il permet à l'étudiant de comprendre que les trois domaines que sont l'Electronique, l'Electrotechnique et l'Automatique sont très fortement liés dans le monde industriel.

RÉFÉRENCES.

- [1] <http://www.edf.com/html/panorama/production/industriels/renouvelable/eolien/france.html>
- [2] http://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique
- [3] **Production d'énergie électrique à base d'éolienne – Raccordement au réseau**, G. Didier, T. Lubin, J. M. Chambaud, Revue 3EI n°62, pages 65-72.
- [4] **Aérogénérateurs électriques**, B. Multon, X. Roboam, B. Dakyo, C. Nichita, O. Gergaud et H. Ben Hamed, Techniques de l'ingénieur, D 3-96

Pilotage d'un système automatisé de production via Profibus pour l'enseignement des automatismes

JM ROUSSEL, P REBEIX, C DELAS*

IUT de l'Indre, Département GEII, 2 avenue François Mitterrand 36000 CHATEAUROUX

* Ingénieur support produits automatisation répartie Siemens Automation & Drives (A&P)

Courriel : jean-marc.rousseau@univ-orleans.fr

pascal.rebeix@univ-orleans.fr

* christophe.delas@siemens.com

Résumé : Cet article présente une plateforme pédagogique d'automatisme destiné à la formation des étudiants de DUT GEII et licence SAR. Cette maquette développée au sein de l'IUT dans le cadre des projets tuteurés de deuxième année DUT GEII et licence SAR doit être un support de formation pour les techniques d'automatisation courantes ; programmation, systèmes bus de terrain, communication réseau, visualisation de process et gestion d'une base de données.

Mots clés : Réseaux Locaux Industriels, Profibus, RIFD, Simatic S7 300, Step 7

1. Introduction

1.1. Contexte local

Outre le DUT Génie Electrique et Informatique Industrielle, le département GEII de l'IUT de l'Indre accueille la licence professionnelle Supervision des Automatismes des Réseaux (SAR) et l'école d'Ingénieurs sur l'Intelligence de l'habitat de Polytech'Orleans.

Il est donc nécessaire de disposer de plates formes pédagogiques comprenant des architectures automatisées avec les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC).

Le contexte local, une seule salle d'automatisme, fait que les étudiants peuvent passer trois à cinq ans sur le même type de maquette. Ceci nous impose de développer des plates formes ouvertes pour illustrer les enseignements liés à l'automatisme et aux réseaux locaux industriels.

1.2. Les objectifs

Les réflexions menées au sein du département en partenariat avec les industriels locaux, ont abouti à la volonté de disposer de produits d'automatisme des sociétés Siemens et Schneider leaders mondiaux dans ce domaine.

Or le département GEII ne disposait à ce jour que de produits d'automatisme issus principalement de la société Schneider. Nous avons décidé d'équiper notre salle de trois maquettes à base de produits Siemens. Ces

maquettes seront développées et réalisées dans le cadre des projets tutorés de deuxième année GEII et licence SAR.

D'un point de vue technique, nous détaillerons une des maquettes industrielles à vocation pédagogique basée sur Profibus qui est un réseau de terrain ouvert.

Puis, nous présenterons les possibilités de travaux pratiques pour illustrer les enseignements de l'automatisme en DUT GEII et licence SAR.

2. Plate-forme expérimentale

2.1. Cahier des charges

Afin que le système puisse être utilisé pendant toute la formation DUT GEII ou licence SAR, le cahier des charges doit répondre à plusieurs exigences :

- Utiliser la technologie Siemens et la plateforme logiciels associées Step7 et WinCC Flexible ;
- Familiariser les étudiants de première année GEII ou Polytech à l'automatisme ;
- Sensibiliser les étudiants de deuxième année GEII aux bus de terrain, destinés aux applications de contrôle de process nécessitant la communication avec des équipements de terrain (capteurs, actionneurs) ;
- Aborder en licence SAR, le suivi, la traçabilité, le tracking des produits, la gestion d'une base de données à l'aide d'un lecteur RFID et établir un dialogue « homme – machine » via une IHM Simatic Panel ;
- Enfin la maquette doit être représentative d'une réalité industrielle.

2.2. Présentation de la maquette

La maquette sert à trier des colis de taille différente. Les colis insérés au début de la bande sont détectés à l'aide d'un capteur à réflexion, des capteurs en aval du barrage détectent la hauteur des colis. Le tri des colis et leur acheminement aux glissières respectives sont assurés par des volets manœuvrés par des vérins rotatifs.

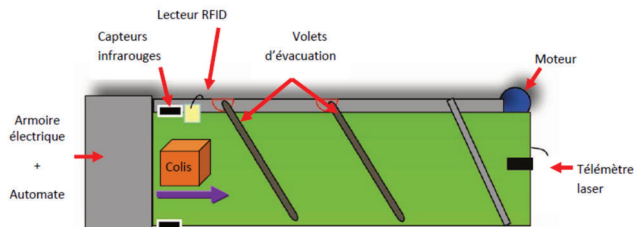


Figure 1 : schéma de principe

La maquette comprend :

- un convoyeur entraîné par un moto-variateur raccordé au réseau Profibus DP ;
- un API à fonctionnalité de maître Profibus DP ;
- deux vérins rotatifs permettant l'évacuation des colis (piloté par un distributeur sur réseau Profibus DP) ;
- deux cellules photoélectriques de type barrage assurant la détection de la hauteur des colis ;
- un laser pour mesurer la distance d'avancement du colis afin de connaître sa position sur le convoyeur ;
- un lecteur RFID, quatre voyants en colonne, des boutons poussoirs.

La figure 2 présente la réalisation finale de la maquette.



Figure 2 : La maquette de tri avec sa partie électrique et pneumatique

2.3. Le réseau Profibus

2.3.1. Historique

Conçu en 1987, le protocole Profibus (PROcess FIELd BUS) est un bus de terrain standard non propriétaire très répandu en Europe dans les industries de process. La plupart des installations dans le monde de l'automobile utilisent le réseau Profibus.

Profibus, normalisée selon la norme internationale CEI 61158/61784, fournit une solution de bus de terrain performante, ouverte et robuste, avec des temps de réaction courts, moyennant les protocoles suivants :

- Le protocole FDL (Fieldbus Data Link), pour la communication entre stations actives (émission / réception de paquets de données) ;
- Le protocole FMS (Fieldbus Message Specification), pour la communication entre stations actives avec accès via un nom aux données et possibilité de sécuriser l'accès en lecture / écriture.
- Le protocole DP (Decentralized Peripheral), pour la communication rapide entre des stations d'entrées / sorties (esclave DP) avec l'API (maître DP). C'est une communication déterministe, l'échange des données est permanent et s'effectue à une cadence donnée. Ce protocole permet de diminuer au maximum les longueurs de câbles capteurs / acquisition et pilotage / actionneurs.

Le support physique utilisé peut être :

- Cuivre, paire torsadée. La vitesse de transmission va de 9,6 kbits/s à 12 Mbits/s. Sa longueur peut aller jusqu'à 2 km à 1,5 Mbits/s avec utilisation de 9 répéteurs. L'architecture est soit du type linéaire, soit du type étoile ;
- Fibre optique. Sa longueur peut aller jusqu'à 100 km. L'architecture est soit du type linéaire / étoile, soit du type anneau ;
- Infrarouge. Vitesse de transmission maxi 1,5 Mbits/s avec une portée de 15 m maxi.

Pour la partie intrinsèque (explosive) des installations le Profibus PA (Process Automation) étend le Profibus DP selon la norme CEI 61158-2. Il est particulièrement destiné à l'automatisation de process pour le contrôle des instruments de mesure. Son support physique est une paire de câbles torsadés blindés (STP) RS485. Etant donné que les installations en sécurité intrinsèque ne transmettent qu'un faible courant, le bus peut être utilisé dans les zones ATEX. L'inconvénient majeur du Profibus PA est son taux de transmission de seulement 31,25 kbits/s. Les longueurs maximales sont de 1900 m en zone sûre et de 1000 m en zone explosive.

Le réseau Profibus est le plus utilisé dans le monde, sachant que la plupart du temps c'est le protocole DP qui est utilisé.

2.3.2. Principe d'accès au bus

Profibus met en oeuvre un modèle de communication de type *maître - esclave* selon un mode d'accès au bus de nature *hybride* comme le montre la figure 3. Ainsi, il n'y a pas de risque de collision, le maître gère l'accès au médium.

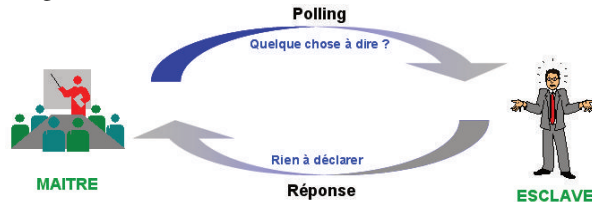


Figure 3 : maître - esclave

La communication entre stations actives est basée sur le concept *d'anneau à jeton*. Les stations passives (esclaves) utilisent le *concept maître-esclave*.

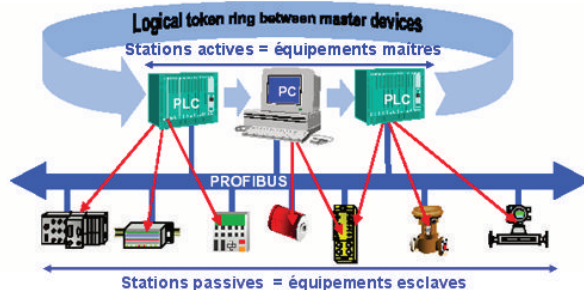


Figure 4 : La gestion d'accès à Profibus : configuration maître - esclaves et passage du jeton

Le concept d'anneau à jeton garantit que l'accès au bus est donné à chaque équipement maître dans une fenêtre de temps prédéfinie. Le jeton est un télégramme particulier émis par un maître qui doit circuler vers les autres maîtres de l'anneau dans un temps configurable.

A tous les tours de cycle (passage du jeton) un maître DP échange les données d'entrées/sorties avec ses esclaves DP (maxi 244 octets d'entrées et 244 octets de sorties par esclave DP).

Le concept *maître-esclave* permet au maître en possession du jeton d'accéder aux esclaves qui lui sont assignés (les stations passives) ainsi qu'aux autres maîtres (messagerie FMS) ;

2.4. Configuration du réseau Profibus et types d'équipements

2.4.1. Architecture du réseau de la maquette

La figure 5 montre l'architecture des réseaux installés sur la maquette. Le bus de terrain « Profibus » est interfacé avec un système de périphérie décentralisé ET200, un variateur de vitesse Micromaster, un module ASM450 pour le RFID, un module pneumatique et un coupleur Ethernet CP 343.

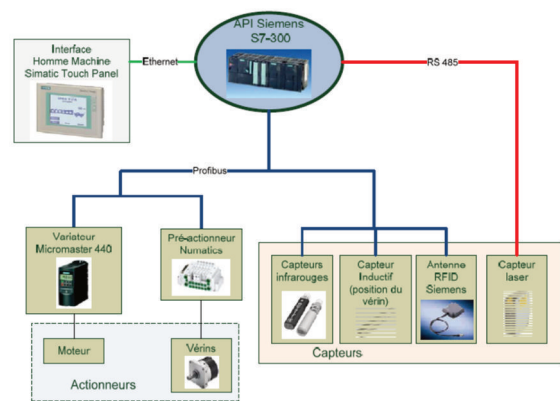


Figure 5 : Architecture du réseau de la maquette

L'automate programmable SIMATIC S7-300 dispose d'un coupleur « Profibus DP » et d'un coupleur Ethernet CP 343. La transmission des informations à l'API s'effectue via le bus de terrain Profibus.

La configuration, le contrôle du bus et la programmation des applications s'effectuent via le logiciel Step 7 qui répond à la norme DIN EN 6.1131-3.

2.4.2. Configuration des fichiers GSD

Les caractéristiques d'un équipement Profibus DP sont décrites sous la forme d'une « électronique device data sheet » (General Station Description file) dans un format prédéfini. Les fichiers GSD contiennent :

- les *spécifications générales* : cette section contient les informations sur le fabricant, le nom du produit, les versions hardware et software, les débits supportés, etc... ;
- les *spécifications relatives au maître* : cette section contient tous les paramètres relatifs aux maîtres, comme le nombre maximum d'esclaves, les options de chargement et déchargement ;
- les *spécifications relatives aux esclaves* : cette section contient les spécifications relatives aux esclaves comme le nombre et le type de variables d'E/S, les textes de diagnostics, les informations sur les modules présents pour les modules modulaires.

2.4.3. Mise en œuvre du réseau Profibus

Sous Step 7, la configuration du maître DP s'effectue à l'aide de l'éditeur de configuration matérielle HW-Config comme indiqué en figure 6.

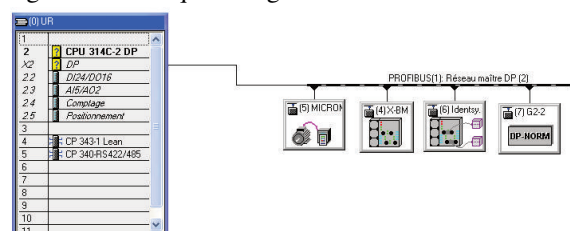


Figure 6

La configuration des réseaux de la maquette obtenue est donnée en figure 7.

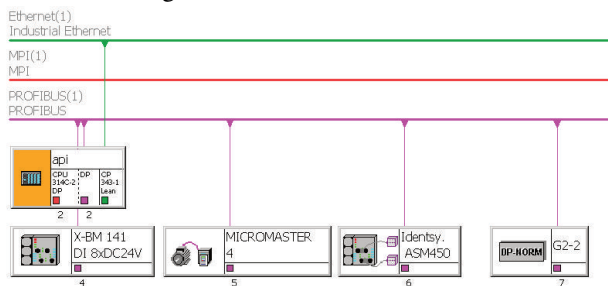


Figure 7

2.4.4. Mise en œuvre d'un variateur Masterpack sur un réseau Profibus

La communication des variateurs sur Profibus peut se faire selon deux modes.

Le mode cyclique **PZD** permet l'échange des données principales de fonctionnement du variateur (consigne vitesse, mode de marche, retour vitesse réelle, retour d'état du variateur).

Le mode acyclique/cyclique **PKW** permet l'échange de tous les paramètres du variateur.

La configuration et le paramétrage du variateur peuvent être effectuée dans un bloc programme de type FB. Exemple : modification des rampes d'accélération et décélération via le programme de l'API.

Les messages émis à destination des variateurs esclaves et leurs réponses associées sont appelés **PPO** : **Parameter Process Object**.

2.4.5. Descriptif du PPO

Le maître émet une *requête cyclique* à l'esclave

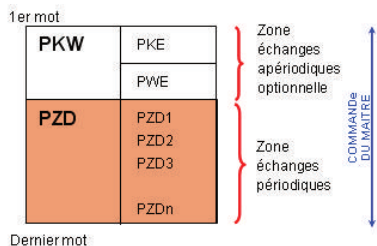


Figure 8

Le maître reçoit une *réponse cyclique* de l'esclave

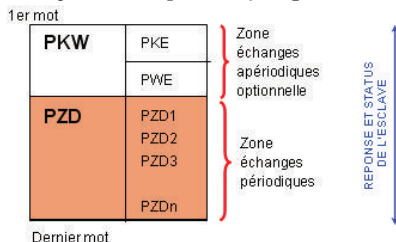


Figure 9 :

Tous les mots sont échangés cycliquement, mais les échanges aperiodiques sont utilisés quand nécessaire :

- PKW = Paramètre – Adresse – Valeur ;
- PKE = Adresse du paramètre ;
- PWE = Valeur du paramètre dont l'adresse est contenue dans PKE ;
- PZD = Données de process.

3. Les travaux pratiques proposés

3.1. La liste des thèmes

Les thèmes mis en œuvre autour du système de tri concernent :

- établissement de la connexion TCP/IP ;
- programmation d'automate en langage CONT, LOG et LIST ;
- programmation d'une IHM avec le logiciel WinCC Flexible ;
- motion control ;
- familiarisation avec la technologie Profibus DP ;
- test, intégration et mise en service de composants Profibus DP dans un système automatisé ;
- configuration de message dans la base de données du système de contrôle commande ;
- familiarisation avec la technologie RFID.

3.2. Exemple en première année GEII

L'objectif visé est d'appréhender l'environnement Step 7 par la programmation d'un grafset linéaire. Les étudiants apprennent dans ce TP à structurer leur programme. On impose la forme suivante via une structure prédéfinie :

- OB1 : Tâche automate principale, autorisation des blocs FC1 à FC5 ;
- FC1 : grafset principal ;
- FC2 : gestion des volets ;
- FC3 : gestion de la commande du moteur ;
- FC4 : gestion des voyants ;
- FC5 : gestion des temporisations ;
- FB3 : commande du moteur (appelé dans le FC3).

Les blocs FC3, FC5 et FB3 sont pré-programmés afin de faciliter l'apprentissage des étudiants. On utilisera un mot, « mot grafset », qui prendra la valeur de l'étape en fonction de l'évolution du grafset cf figure 10.

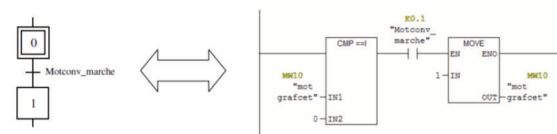


Figure 10

La notion de bus Profibus est donc transparente à ce niveau de formation.

3.3. Exemple en deuxième année GEII

Le TP proposé en première année s'est affranchi des problèmes matériels liés à la configuration de l'A.P.I et du bus Profibus.

En deuxième année, l'objectif est d'aborder la notion de communication maître-esclave pour la conduite d'un process. En matière d'entraînements, il s'agit typiquement de valeurs de consigne d'instructions de commande, d'information d'état et de valeurs effectives (mesures). L'échange de données sera cyclique lorsque les données devront être disponibles en permanence.

Pour les données requises, que dans certains cas, il ne sera pas judicieux de charger le bus en permanence. L'échange de données sera alors de type acyclique et géré par le programme automate pour envoi au maître DP. Cela signifie que le programme utilisateur décide sur la base d'autres conditions, si l'échange de données avec l'esclave est nécessaire ou non.

On demandera aux étudiants par exemple d'écrire un programme pour la lecture et l'écriture de paramètres dans le variateur Micromaster via le mécanisme de télégramme PKW. Etant donné que le télégramme doit se composer de 4 mots, pour des raisons de cohérence des données la transmission des données d'effectue avec les fonctions système SFC 14/15.

Le télégramme se compose des éléments suivants :

- identification de paramètre (PKE) qui contient un numéro d'ordre, par exemple pour modifier un paramètre, et le numéro du paramètre
- indice de paramètre (IND) pour les paramètres indexés, pour la sélection du bloc d'entraînement
- valeur du paramètre sous forme de nombre hexadécimal sur 16 ou 32 bits, constante de temps de la rampe d'accélération.

3.4. Exemple en licence SAR

Dans le module relatif aux projets tuteurés, un groupe d'étudiants est chargé de développer une interface homme machine, de mettre en place un serveur OPC, transfert et gestion d'une base de données issus des informations délivrées par les puces RFID insérées dans chaque colis.



Figure 10 : Page d'accueil IHM

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article, une maquette didactique qui ouvre de réelles perspectives d'offre de formation en automatisme du DUT à la licence.

Ce travail a été mené dans le cadre des projets tuteurés du DUT GEII en collaboration avec la société Siemens. Cette collaboration industrielle fut un élément de motivation pour nos étudiants. L'expérience acquise a été mise à profit pour le développement d'une nouvelle maquette didactique sous technologie Profinet.

Enfin, cette maquette a permis de répondre à l'objectif initial à savoir utiliser une même maquette du DUT à la licence professionnelle SAR pour l'enseignement des automatismes. Elle sert aussi à alimenter les projets en licence SAR.

5. Références

- [1] E.Bajic et B.Bouard, *Réseau Profibus*, Techniques de l'Ingénieur, S 8 160
- [2] B.Bouard, *Ethernet en tant que réseau de terrain : standard PROFINET*, Techniques de l'Ingénieur, S 8 162
- [3] JP.Thomasse, *Réseaux locaux industriels*, Techniques de l'Ingénieur, S 7 574
- [4] Micromaster, *Module optionnel Profibus*, Siemens Automation&Drives, Edition 02/2002
- [5] Profibus, *Théorie et pratique de la technologie – manuel technique*, Siemens Automation&Drives, Edition 10/2002
- [6] S7-300, *Automate programmable, caractéristiques des modules*, Siemens Automation&Drives, Edition 12/2006

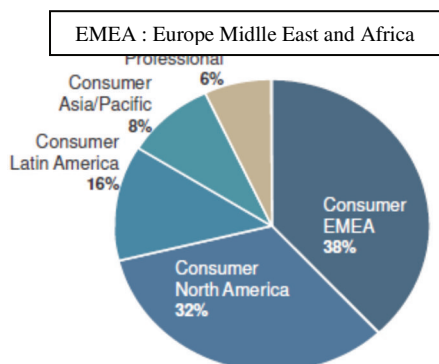
Compte-rendu d'une présentation sur l'électroménager intelligent, à une soirée débat de la SEE

Résumé : Ce compte-rendu a été écrit par Mme Le Bihan à l'aide des documents de la présentation qui a été faite par Mr David Nicolas, Directeur de projet Electrolux EMEA, à une soirée débat de la SEE. Il présente les enjeux et les perspectives du développement de l'électroménager intelligent.

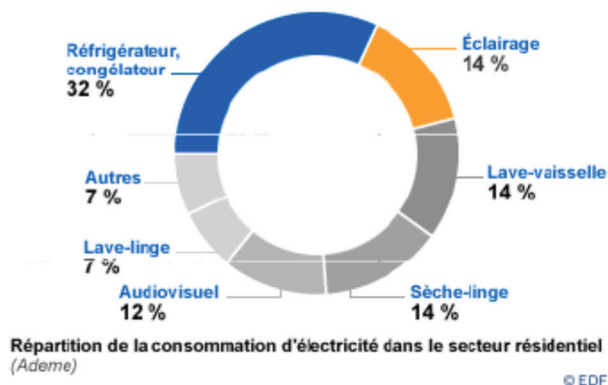
1. Electrolux

Electrolux est un fabricant dans le domaine de l'électroménager pour le particulier et les applications industrielles. Près de 100 produits sont fabriqués chaque minute et ceci dans 150 pays

2010	Group	Consumer EMEA
Sales (SEKbn)	106	40
Operating income (SEKbn)	6.5	2.7
Margin	6%	6.8%
No. of employees	51,544	25,000



2. Participation de l'électroménager dans la consommation d'électricité du secteur résidentiel.



Le parc des appareils électroménagers voit la puissance et l'efficacité énergétique des nouveaux appareils augmenter.

3. Opportunités liées aux éléments connectés

	Appareils intelligents		
	1-Compatibilité avec les Smarts-Grids	2-Support d'entretien pour le client	3-Opportunité pour de nouveaux développements
Avantages industriels	Une carte à jouer dans l'avenir	Service amélioré	Interaction avec l'utilisateur sur la durée de vie du produit téléchargement de nouveaux programmes
	Création de motivation	Coûts réduits	Caractéristiques et services commercialisables
Avantages pour le client	Coûts en énergie réduits	Service meilleur marché et plus rapide	Améliorations des produits
	Emissions de CO ₂ réduites	Plus pratique	Contrôles à distance, alarmes
			Abonnement, paiement à l'utilisation

4. Projets « Smart-Grids » en Europe

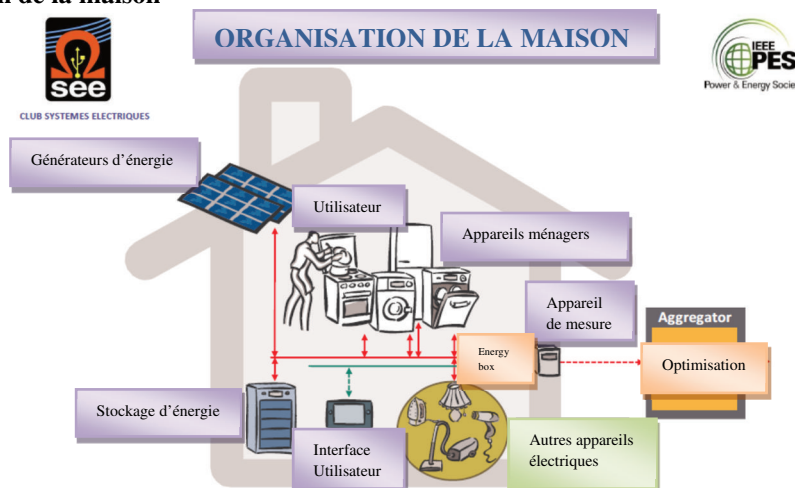
Plus de deux cents projets ont vu le jour en Europe en 2011, de taille et d'envergure différentes. Ils ont tous la même organisation et font intervenir un consortium d'énergie, les télécommunications, les fabricants d'appareils, la mesure, les universités et les collectivités territoriales.

L'investissement moyen sur ces projets a été de 15 M€, installation de mesure comprise, et les pays concernés ont été l'Italie, la France, l'Allemagne ainsi que le Danemark, la Grande Bretagne et l'Espagne)

Electrolux a participé à trois projets :

- appareils communicants avec l'energy box en Europe avec des projets pilotes en France, Italie et Espagne.
- Energie@home en Italie
- Smart-grids en zone urbaine (réseaux intelligents) : équipements d'immeubles entiers en Suède

5. L'organisation de la maison



6. Applications intelligentes et gestion intelligente de l'énergie

Pour une utilisation optimale de l'énergie, les appareils électroménagers « intelligents » doivent avoir un rôle actif dans les systèmes de gestion automatique de l'énergie. Ils doivent être capables :

- de **contrôler complètement la tâche** qu'ils ont à accomplir car ils sont entièrement **responsables** du résultat final de cette tâche.
- et d'offrir grâce à un **dialogue** actif avec l'Energy box, une **flexibilité précieuse** en termes de **temps d'exécution et de profil de consommation d'énergie**.



7. Applications intelligentes : différents types de fonctionnement

En raison des contraintes de disponibilité de l'énergie, nous pouvons identifier les deux principales caractéristiques des appareils intelligents :

- Réactif : aptitude à déplacer le démarrage du fonctionnement quand c'est le plus opportun



- Adaptable : aptitude à ajuster le cycle de fonctionnement aux ressources disponibles (énergie électrique et chaleur) à chaque instant



8. Gestion des différentes opérations d'une application au point de vue électrique

Au point de vue électrique, les opérations réalisées par un appareil électroménager et spécifiques à chaque produit, peuvent être décrites de la façon suivante :

- Une séquence d'activation ou de désactivation de charges électriques.
- Cette séquence est organisée en phases qui composent les différentes parties de la fonction complète à réaliser
- Une phase constitue un élément de base de la fonction complète dont le déroulement ne peut pas être interrompu
- Les caractéristiques principales de chaque phase sont :



- Durée prévue
- Consommation de puissance
- Délai maximum d'activation

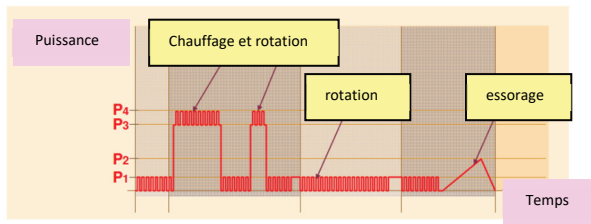
Précisons ces définitions à l'aide d'un exemple.

a. Profil de puissance consommée pendant un cycle de machine à laver

Un cycle de lavage en machine à laver le linge comprend :

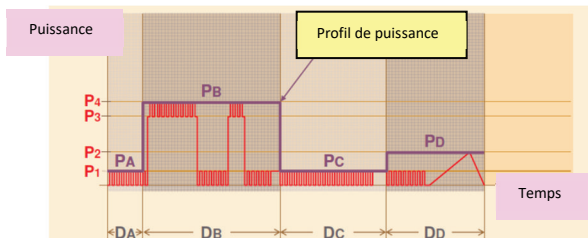
- la mise sous tension
- les réglages
- le prélavage
- le lavage
- le rinçage
- et l'essorage.

Voici le profil de puissance consommée pendant ce cycle.

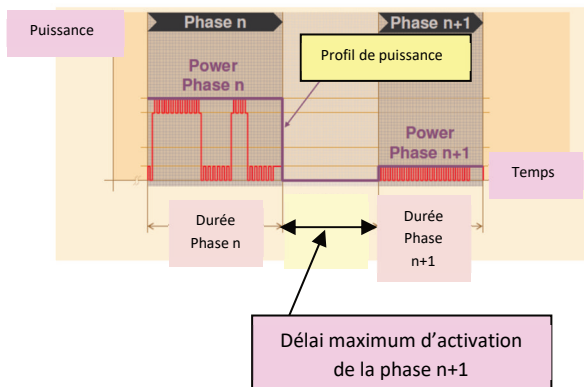


b. Caractéristiques principales de chaque phase

Le profil de puissance active peut être modélisé par une liste de couples de valeurs « puissance-durée » décrivant toutes les phases de fonctionnement de l'appareil électroménager, où la valeur de la puissance retenue pour une phase est la puissance maximale.



Introduisons maintenant le délai maximum d'activation



C'est le retard maximum que l'on peut accepter entre deux phases sans modifier le résultat du processus complet.

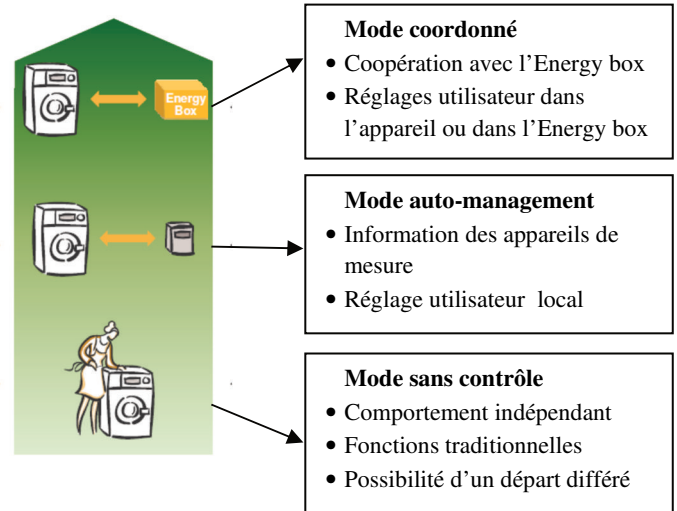
9. Appareils domestiques inter-connectés : fonctions générales et messages

L'interconnexion des appareils électroménagers permet le contrôle de la consommation d'énergie, l'accès à distance et la transmission d'informations pour obtenir une meilleure utilisation.

Les messages envoyés par l'appareil permettent son identification, la connaissance de son état (à l'arrêt, en fonctionnement à telle phase...), les événements survenant pendant sa durée de vie (pannes). Il peut

recevoir les données de réglages nécessaires à son fonctionnement comme le choix d'un programme, et les commandes de démarrage ou d'arrêt, en fonction de l'énergie disponible.

a. Différents niveaux d'intégration



L'utilisateur sélectionne dans les trois cas un cycle et l'heure de fin de cycle, et dans les deux cas d'intégration les plus élevés ceci peut se faire à distance. En modes coordonné et auto-management l'énergy box fait une proposition avec optimisation de la consommation d'énergie. Dans le mode auto management c'est l'utilisateur qui garde la main et décide ; dans le mode coordonné, c'est automatique

b. Réaction des usagers

La première réaction des usagers est une perception positive de l'interconnexion des appareils électroménagers car cela rend la vie plus facile, de plus le Smart-phone est considéré comme un interface de contrôle naturel.

Par contre l'attrait initial de la possibilité de contrôle de la consommation d'énergie n'est pas déterminant, toutefois les tarifs flexibles vont faire évoluer les habitudes des consommateurs avec le grand espoir de la part de ceux-ci de faire des économies. Sans cela il sera difficile de mobiliser les utilisateurs sur ce point.

10. Clés de la réussite des « smart grids »

La réussite des « smart grids » dépend de leur **perception par le consommateur** ; il faut que ce dernier en accepte la sophistication. La dimension **eco-system et gestion de l'énergie** est un facteur de réussite ainsi que le **modèle économique « gagnant »**. Enfin, les **normes industrielles** (CECED) vont faire évoluer les appareils électroménagers.

Et demain ... ?

Petite revue de presse des avancées technologiques

Résumé : Pour ce numéro de janvier 2013, nous vous proposons quelques informations sur les nouveautés qui touchent les véhicules électriques. En effet, alors que le marché de l'automobile européen reste morne et que les ventes de véhicules électrique en France semblent ne pas vouloir décoller, il est intéressant d'ouvrir la perspective en regardant ce qui se passe dans le reste du monde. Nous verrons donc par exemple que les ventes de voitures électriques augmentent en Norvège, et que les espoirs de trouver des batteries de plus forte densité énergétique et autorisant donc une autonomie plus importante des véhicules électriques, restent importants même s'ils ne sont pas attendus pour un avenir très proche à moins qu'un saut technologique arrive comme semble l'annoncer des chercheurs coréens !

1. Création d'un système de recharge rapide pour les véhicules électriques (bulletins-electroniques.com, 7 déc 2012)

Les chercheurs de la fondation CIRCE, le Centro de Investigacion de Recursos y Consumos Energéticos, avec l'appui d'autres entreprises tel que Endesa, viennent de développer le premier système de recharge rapide, sans fil, pour les véhicules électriques. C'est à travers l'initiative du projet Unplugged soutenu par l'Union Européenne que ce système pionnier en Europe permet de charger à présent 80% de la batterie d'une voiture en quelques 15 minutes.

Ce type de recharge, spécifiquement par induction existait déjà, cependant fonctionnait avec deux limites importantes. La recharge durait des heures et nécessitait un alignement parfait du véhicule avec la plaque.

Ce nouveau système en finit avec ces problèmes et rend ainsi la technologie de l'induction plus commode pour les usagers, qui pourront même ne pas descendre du véhicule pour l'opération. Le véhicule électrique devra être équipé au préalable d'un élément récepteur sous la voiture, pour ensuite être seulement positionné sur une plate-forme de charge située au sol. Lors de la détection de la voiture par le système, la connexion sans fil lancera le transfert d'énergie d'une puissance de 50 kilowatts. L'efficacité n'altère donc pas la sécurité car ce système conserve des émissions à des niveaux très inférieurs à la limite permise.

Cette nouvelle technologie va ainsi être appliquée directement pour la recharge statique des autobus, des camions et des véhicules de tourisme dans les stations services. Et il sera aisé d'adapter chaque demande de

puissance spécifique aux différentes nécessités de charge.

2. Toyota annonce des résultats sur la prochaine génération de batterie pour les véhicules électriques (MIT Technology Review 28, nov 2012)

Les batteries lithium-ion légères et puissantes ont permis aux fabricants de voitures de proposer des véhicules électriques et hybrides possédant une forte accélération et une autonomie raisonnable.

Mais les batteries Lithium-ion sont chères (le prix d'une batterie de la Nissan Leaf coûte environ 12000 \$) et l'autonomie du véhicule est encore limitée (environ 138 miles pour une charge dans les conditions idéales pour la Leaf).

Les chercheurs de Toyota ont fait de réels progrès dans le développement d'une batterie utilisant le magnésium à la place du lithium, et qui pourra un jour offrir une alternative meilleure marché et de densité énergétique supérieure.

En novembre 2012, les chercheurs du Toyota Research Institute of North America (TRINA) au Michigan ont publié un article dans le journal Chemical Communications qui décrit les expériences sur des batteries magnésium-ion avec un nouveau genre d'anode fabriquée à base d'étain et un électrolyte classique utilisé dans les batteries lithium-ion.

L'auteur principal de l'article écrit que les résultats indiquent des performances prometteuses et peut-être une voie prometteuse de recherche.

En effet, le Magnésium est un élément abondant, donc des batteries magnésium-ion pourrait être bon marché. De telles batteries devraient aussi avoir une plus grande capacité de stockage que les batteries Lithium-ion car les ions magnésium véhiculent une charge deux fois plus importante que les ions lithium. Mais la chimie nécessaire pour rendre la batterie Magnésium-ion efficace nécessite d'être perfectionnée.

Deux pistes d'explorations sont envisagées :

- La première consiste à fabriquer des batteries avec une anode en magnésium métallique. Ces types d'anodes transfèrent efficacement des charges mais est incompatible avec les électrolytes conventionnels. Car lorsqu'on les utilise, une couche de blocage se forme sur les anodes de magnésium et entraîne l'écroulement de la batterie. Ainsi les chercheurs cherchent un nouvel électrolyte qui puisse fonctionner avec le magnésium métallique.

- La seconde solution est d'utiliser un autre type d'anode qui fonctionne correctement avec les électrolytes conventionnels. Toyota estime que cet axe de recherche reste très prometteur pour trouver des cathodes de haut potentiel et de grande capacité.

C'est une vraie gageure de tenter d'améliorer la performance des batteries tout en diminuant leur coût de fabrication, soit en continuant à étudier les technologies lithium-ion, soit en explorant d'autres technologies comme le lithium-air, le sodium air ou le and lithium sulfure. Mais, alors que le laboratoire TRINA s'est concentré sur le magnésium, Toyota explore les autres pistes dans d'autres laboratoires.

Concernant les batteries au magnésium il est bien trop tôt pour dire quelle voie (une anode de magnésium ou avec des insertions d'étain) sera couronnée de succès.

Le responsable du TRINA, M. Takashi Kuzuya, indique qu'il est prématuré de choisir une voie plutôt qu'une autre et qu'ils explorent donc beaucoup de possibilités. Il pense que ces batteries seront d'abord utilisées dans le domaine de l'électronique puis pour les batteries de voitures.

Alors que l'impact de cet article de Toyota se verra d'abord dans la communauté des chercheurs, la commercialisation de batteries au magnésium devra attendre une dizaine d'années. En effet, une fois qu'une percée est réalisée, c'est-à-dire lorsqu'on trouve une anode, une cathode et un électrolyte compatibles, il faut encore environ cinq ans pour commercialiser le produit.

3. Le KIST met au point des batteries à base de magnésium (bulletins-electroniques.com, 27, déc 2012)

L'Institut coréen des sciences et technologies avancées, le KIST, annonce avoir développé une technologie permettant à des voitures électriques de parcourir l'équivalent de la distance Séoul-Busan, soit 800 kilomètres. Le Centre de recherche de convergence énergétique, et plus particulièrement l'équipe du Professeur CHO Byung-won, a ainsi développé une batterie magnésium-air ; des tests concluants auraient déjà été effectués.

Le grand avantage de cette technologie réside en la simplicité de son chargement, quand il faut plusieurs heures pour recharger la batterie d'une voiture électrique actuelle.

4. Vente record des voitures électriques en Norvège (bulletins-electroniques.com, 25, oct 2012)

La vente de voitures électriques en Norvège continue de battre des records. D'après l'Association Norvégienne pour les Véhicules Electriques (Norsk Elbilforening) et le Conseil d'Information sur le Trafic Routier (Opplysningsrådet for veitrafikken), un vingtième des voitures neuves vendues en Norvège en septembre 2012 serait électrique. En effet, 583 nouvelles voitures électriques seraient en circulation, ce qui représente 5,2% des ventes de voitures neuves dans le mois.

Ce nouveau record vient battre celui du mois précédent, durant lequel la proportion de voitures électriques sur la vente totale de véhicules neufs avait représenté 3,6%. Le parc norvégien de voitures électriques est aujourd'hui estimé à 8500 véhicules électriques.

En juin 2012, le gouvernement avait décidé de poursuivre le programme de promotion des véhicules électriques jusqu'à ce que le parc atteigne 50000 véhicules, avec une échéance en 2017. Ce programme comprend des exonérations fiscales, des facilités de stationnement, ainsi que l'accès aux voies publiques en ville. "Il y a un vrai marché pour le véhicule électrique en Norvège. L'exonération de taxes a fait de ce système une option très intéressante.", dit Snorre Sletvold, Directeur de l'Association Norvégienne pour les Véhicules Electriques.

"Courant octobre, le gouvernement et le parlement doivent discuter de la construction de nouvelles infrastructures permettant la recharge de ces véhicules via des énergies renouvelables.", ajoute-t-il.

Journées de la section Electrotechnique du club EEA Université de Lorraine, les 4 et 5 avril 2013



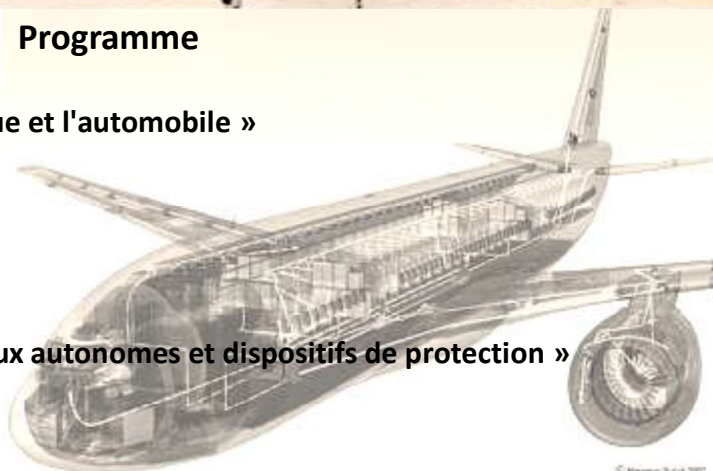
« Réseaux autonomes du futur »



Programme

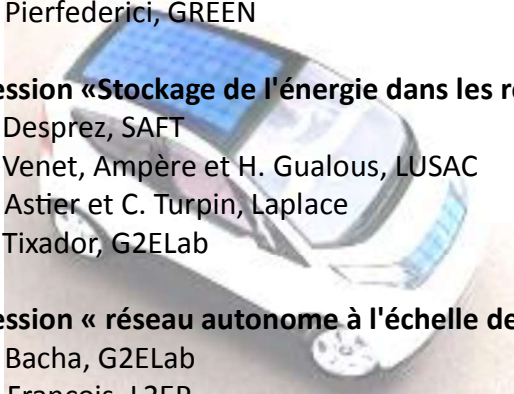
Session « Réseaux Autonomes dans l'avionique et l'automobile »

A. Bouscayrol, L2EP
F. Nierlich, SAFRAN
R. Trigui, IFSTTAR
S. Pierfederici, GREEN



Session « Stockage de l'énergie dans les réseaux autonomes et dispositifs de protection »

P. Desprez, SAFT
P. Venet, Ampère et H. Gualous, LUSAC
S. Astier et C. Turpin, Laplace
P. Tixador, G2ELab



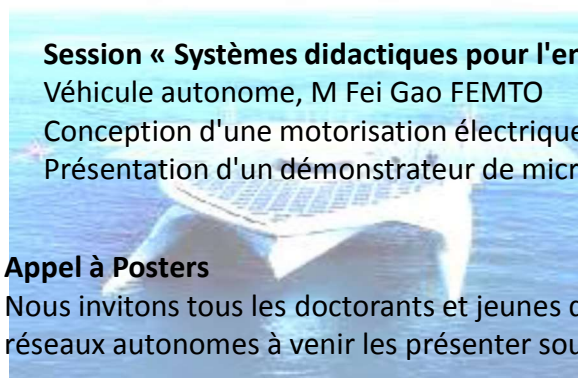
Session « réseau autonome à l'échelle de l'habitat ou d'une communauté - hybridation des sources »

S. Bacha, G2ELab
B. François, L2EP
J-P. Gaubert, Laii
B. Dakyo, GREAH



Session « Systèmes didactiques pour l'enseignement »

Véhicule autonome, M Fei Gao FEMTO
Conception d'une motorisation électrique pour le Marathon Shell, N. Takorabet
Présentation d'un démonstrateur de micro-hydrolienne, P. Kalinowski



Appel à Posters

Nous invitons tous les doctorants et jeunes docteurs diplômés dont les travaux de recherche concernent les réseaux autonomes à venir les présenter sous forme de posters lors d'une session spéciale et permanente.

Inscription, date limite d'enregistrement, informations diverses disponibles sur le site
<http://www.green.uhp-nancy.fr/jeea2013/>

Avec le soutien de: Captronics, FST de l'Université de Lorraine, Lorraine-INP, GREEN



Le DVD « archives » est disponible !!!



Voici regroupés tous les articles des numéros 0 à 59, de Mai 1994 à Décembre 2003, sous forme numérique au format pdf (pdf scannés pour les plus anciens et pdf vectoriel pour les plus récents), sur le DVD que vous pouvez commander en remplissant le bulletin de commande suivant. Vous pouvez consulter les thèmes abordés sur la page 80 de la revue.

BULLETIN DE COMMANDE

A envoyer accompagné d'un chèque à l'ordre de la SEE - Revue 3EI
à SEE - la Revue 3EI 17 rue de l'amiral Hamelin 75783 Cedex 16

DVD archives Revue 3EI	France et pays de la CEE	pays hors CEE
Tarif individuel	60 €	70€
Tarif collectivité (CDI , laboratoire...)	100 €	110 €

NomPrénom

Adresse d'expédition.....

.....



17 ANS D'ARCHIVES DE **La Revue 3E.I.** POUR PARTAGER L'ENSEIGNEMENT DU GÉNIE ÉLECTROTECHNIQUE ET DE L'ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE



1994-1995

- 1 La machine asynchrone (reproduction Xérox)
- 2 Association machine asynchrone et convertisseur statique
- 3 La machine synchrone (reproduction Xérox)

1995-1996

- 4 Influence des convertisseurs statiques sur les réseaux
- 5 L'électrothermie
- 6 Première approche sur les réseaux

1996-1997

- 7 La machine à courant continu
- 8 La conversion d'énergie
- 9 Les composants inductifs et capacitifs en électronique de puissance
- 10 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

1997-1998

- 11 Le transformateur
- 12 Les capteurs
- 13 Le génie électrique dans l'armement
- 14 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

1998-1999

- 15 Les aimants et électroaimants
- 16 L'automatique en électrotechnique
- 17 L'appareillage haute tension
- 18 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

1999-2000

- 19 La traction électrique ferroviaire
- 20 Energies renouvelables
- 21 Moteurs électriques pour applications de grandes séries
- 22 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

2000-2001

- 23 Les automatismes industriels
- 24 L'éclairage
- 25 L'Etat de l'Art en électronique de puissance
- 26 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

2001-2002

- 27 Métrologie : mesures et estimations
- 28 Convertisseurs propres
- 29 Les alimentations et convertisseurs embarqués
- 30 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

2002-2003

- 31 Mesures dans les systèmes électrotechniques
- 32 Applications des micro-ondes de puissance
- 33 L'électronique dans l'automobile
- 34 Applications pédagogiques et réalités industrielles

2003-2004

- 35 L'outil informatique dans l'enseignement
- 36 La problématique de l'énergie, la place de l'électricité
- 37 Applications pédagogiques et réalités industrielles
- 38 Applications pédagogiques et réalités industrielles

2004-2005

- 39 La production décentralisée d'électricité (1)
- 40 La production centralisée d'électricité (2)
- 41 Matériaux magnétiques pour convertisseurs d'énergie
- 42 Pratiques pédagogiques et réalités industrielles

2005-2006

- 43 Les réseaux électriques embarqués
- 44 Réseaux de transport d'énergie
- 45 Matériaux piézo électriques
- 46 Applications pédagogiques et réalités industrielles

2006-2007

- 47 Matériaux électro actifs
- 48 Stockage de l'énergie - 1^{ère} partie
- 49 Stockage de l'énergie - 2^{ème} partie
- 50 Pratiques pédagogiques de l'académie de Lille

2007-2008

- 51 Gisements d'économie d'énergie 1^{ère} partie

- 52 Gisements d'économie d'énergie 2^{ème} partie
- 53 FPGA (Field-Programmable Gate Array)
- 54 Pratiques pédagogiques de l'académie de Toulouse

2008-2009

- 55 Piles à combustible - 1^{ère} partie
- 56 Piles à combustibles - 2^{ème} partie
- 57 La Cogénération
- 58 Pratiques pédagogiques de l'académie de la région Paca

2009-2010

- 59 L'énergie des Mers
- 60 Les standards de communication
- 61 Les Aspects thermiques dans les convertisseurs
- 62 Applications pédagogiques de l'Académie de Versailles

2010-2011

- 63 Véhicule électrique
- 64 L'avion plus électrique
- 65 Compatibilité électromagnétique (CEM)
- 66 Applications pédagogiques : Académie de Créteil

2011-2012

- 67 L'éclairage
- 68 Défaillance et durée de vie du matériel électrique
- 69 Bâtiment du futur...
- 70 Applications pédagogiques : les STIDD

Le DVD « Archives » est disponible !!!



Voici regroupés tous les articles des numéros 0 à 59, de Mai 1994 à Décembre 2009, sous forme numérique au format pdf (pdf scannés pour les plus anciens et pdf vectoriel pour les plus récents), sur le DVD que vous pouvez commander en remplissant le bulletin de commande suivant. Vous pouvez consulter les thèmes abordés cette page.

BON DE COMMANDE >>> A retourner à la SEE - La Revue 3E.I. - 17 rue de l'Amiral Hamelin - 75783 Paris cedex 16 - France - Fax : 33 (0)1 5690 3719

Tarifs au 1 ^{er} janvier 2013 Prix unitaire TTC (TVA 2,10 %)		
Quantité	France & UE	Hors UE
A partir de	Prix unitaire	
1 Volume	12 €	14 €
3 Volumes	10 €	12 €
DVD Archives Revue 3E.I.		
Individuel	60 €	70 €
Collectivité (CDI, laboratoire...)	100 €	110 €

- ☐ Je commande les numéros :
☐ Et/ou la série complète des années :
☐ Je commande le DVD Archives

Nom et prénom :
 Société : Fonction :
 Adresse :
 Code postal [] [] [] [] Ville : Pays :
 Tél. : [] [] [] [] [] [] e-mail :

Je règle la somme totale de : € TTC (TVA 2,10 %)
 par ☐ chèque bancaire à l'ordre de la SEE
☐ Carte bancaire (Visa, Eurocard/Mastercard, American Express)
 N° Carte : [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []
 Date de validité : [] [] [] []
 N° cryptogramme : [] [] [] [] (3 derniers chiffres au dos de la carte)

Date, signature et cachet s'il y a lieu :

