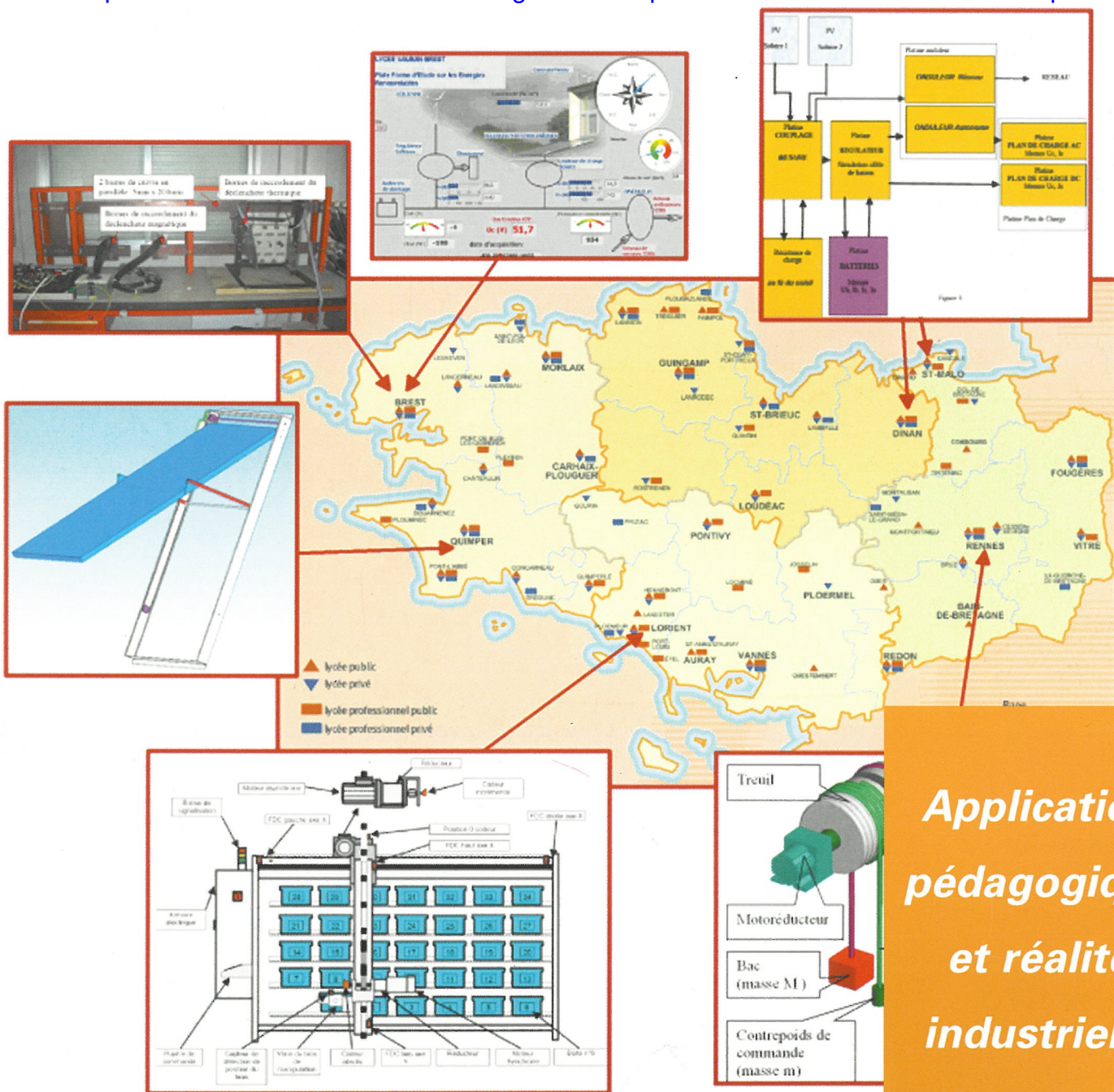


La Revue SEE



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



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

N° 46 - Septembre 2006

Participez à la course de vélo électrique

3^{ème} édition - 12 mai 2007



Association
meet
MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE POUR LES TRANSPORTS

<http://www.association-meet.ens-cachan.fr>
association-meet@listes.ens-cachan.fr

ENS
C A C H A N

EEA

SATIE

ValoTec

BULLETIN D'ABONNEMENT A LA REVUE 3EI

Année 2006 – 2007

N°47 (décembre 2006), n°48 (mars2007), n°49 (juin 2007), et 50 (septembre 2007).

Abonnement individuel :

Adresser le bulletin ci dessous, accompagné d'un chèque libellé à l'ordre de :

SEE- la revue 3EI

à l'adresse suivante

SEE-la revue 3EI

17 rue Hamelin , 75783 PARIS CEDEX 16

D'un montant de : 35 € TTC pour la France et pays de la CEE

Ou de : 45 € TTC pour les pays hors CEE

Nom :.....Prénom

Adresse d'expédition de la revue 3EI :

Rue, n° :.....

Code postal :..... Ville :.....

Pays :.....

Adresse électronique :.....

Activité (pour statistiques) :.....

Abonnement souscrit pour une collectivité (bibliothèque , CDI, laboratoire, entreprises, université, école d'ingénieur, lycée, IUT ...)

50 € TTC pour la France et pays de la CEE

63 € TTC pour les pays hors CEE

Prendre soin de mentionner sur le bon de commande le lieu de livraison de la revue ainsi que le destinataire (personne physique ou service). Expédier le bon de commande à

SEE-la revue 3EI

17 rue Hamelin , 75783 PARIS CEDEX 16

Consultation 2006

Activité professionnelle

- *Employeur*
 - ☐ Entreprise
 - ☐ Université
 - ☐ Ecole d'ingénieurs
 - ☐ IUT
 - ☐ Lycée
 - ☐ Autres (précisez)
- *Secteur d'activité :*
- *Fonction :*
- *Intérêt pour les domaines :*
 - ☐ Electrotechnique
 - ☐ Electronique de puissance
 - ☐ Automatique
 - ☐ Autres (précisez)

Formation initiale

- *Génie Electrique*
- *Physique Appliquée*
- *Autre (précisez)*

Date de votre premier abonnement à la revue :

Votre avis sur les derniers numéros :

• <i>Le fond</i>	Satisfaisant	Trop fouillé	Trop survolé
- Intérêt des articles	☐	☐	☐
- Clarté des explications	☐	☐	☐
- Pertinence des références bibliographiques	☐	☐	☐

Pouvez-vous citer les thèmes ou articles qui vous ont le plus intéressés :

Pouvez-vous citer les thèmes ou articles qui vous ont le moins intéressés :

Quels autres thèmes souhaiteriez-vous voir traiter ?

• <i>La forme</i>	Satisfaisant	Manque de clarté
- Présentation générale	☐	☐
- Taille des polices de caractères	☐	☐
- Lisibilité des graphes et schéma	☐	☐
- Qualité des reproductions de photos	☐	☐

Projet fiches métiers

Nous souhaitons publier des **fiches métiers** (une page décrivant l'emploi et le profil) à destination des étudiants actuellement en formation, pour rendre compte du devenir des anciens élèves de nos filières. Cette proposition vous paraît-elle intéressante ? ☐ Oui ☐ Non
Si oui, êtes-vous en relation avec d'anciens étudiants susceptibles d'en rédiger ? ☐ Oui ☐ Non

Nous sommes toujours intéressés par des articles, leçons, fiches de TP, TD, descriptions d'essais de systèmes et de projets de niveau Bac à Bac +2, n'hésitez pas à nous les envoyer, vous contribuerez ainsi à faire de cette revue ce que vous en attendez.

Pour répondre à cette enquête vous pouvez nous répondre par courrier ou par email à l'adresse :
Revue3ei.enquete@voila.fr

Pour les abonnements, l'achat des numéros précédents, les réclamations ou renseignements :
Revue3ei.cour@voila.fr

Pour l'envoi de communications ou d'articles : Revue3ei.art@voila.fr



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

17, rue Hamelin, PARIS 75 783 CEDEX 16
Tel : 01 56 90 37 00 Fax : 01 56 90 37 19
site web : www.see.asso.fr

La Revue 3EI
publication trimestrielle
du **Cercle Thématique 13-01**
de la SEE

SEE, association reconnue d'utilité publique par le décret du 7 décembre 1886
Siret 785 393 232 00026, APE 731 Z, n° d'identification FR 44 785 393 232

3EI : Enseigner l'Electrotechnique et l'Electronique Industrielle

La Revue 3EI, Édition SEE, 17 rue Hamelin 75 783 PARIS CEDEX 16	Sommaire du n°46
Directeur de la publication Alain BRAVO Président de la SEE	Applications pédagogiques et réalités industrielles
Rédacteur en Chef François BOUCHER	p.1 Bulletin d'abonnement
Adresser les propositions d'article à F. Boucher : revue3ei.art@voila.fr	p.3 Sommaire Éditorial,
Communication Micheline BERTAUX communication@see.asso.fr	p.5 Publications, Informations, Journées d'études, conférences
Publicité en Régie TRENDICE CONSEIL	p.8 L'académie de Rennes et ses pratiques pédagogiques Michel Martinat IPR STI Académie de Rennes
Philippe MINGORI 01 45 74 96 47	P.11 Pratiques pédagogiques au lycée Joliot-Curie de Rennes Th. Bazin, J. Gautier, P. Houée, D. Michalet, A. Ollivier (Génie Electrique) C. Barange, C. Serre, M. Lebeau (Physique Appliquée) G. Baillet, Y. Moudic (Construction Mécanique) Lycée Joliot-Curie Rennes
Martine FERRON 01 45 74 96 48	P.20 Pratiques pédagogiques au lycée Likès de Quimper C. Le Floch, R. Le Naour, P. Tanguy, J.J. Autret J.F. Maze chef de travaux Lycée Lykès Quimper
Abonnement (4 numéros par an) déc. 2005, mars, juin, sept. 2006. tarifs TTC : <u>Individuel</u> :	P.29 Chaîne de conversion photovoltaïque V. Léger, D. Gatel, K. Pellion, Y. Vincent, J. Escassut, T. Vignal B. Lequilleuc Lycée Mauperruis saint Malo J. Pichon Lycée La fontaine des eaux Dinan.
France et CEE.....35 € Pays hors CEE.....45 €	p.41 Centrale de production hybride R. Nael, G. Cozian, L. Cadiou, P. Drillet Lycée Vauban Brest
<u>Collectivités</u> France et CEE.....50 € Pays hors CEE.....63 €	p.47 Le transtockeur ; du génie électrique à la mécatronique J.J. Oliviero, H. Janneau Lycée Colbert Lorient
Réalisation et impression Repro-Systèmes 23, rue de Verdun 77 181 Le Pin	p.55 Banc de tarage de disjoncteurs P. Drillet Lycée Vauban Brest
Routage et Expédition Départ Presse ZI les Richardets 93 966 Noisy le Grand	p.61 L'ascenseur funiculaire de Strepy-Thieu ; visite guidée Y. Moudic Lycée Joliot-Curie Rennes.
Dépôt Légal : septembre 2006 Commission Paritaire 1207 G 78028 ISSN 1252-770X	

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'oeuvre 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).

Le numéro de Septembre, ultime numéro de l'année scolaire écoulée, entame un tour de France des pratiques pédagogiques et des réalités industrielles. Il est entièrement consacré à une présentation riche et variée d'exemples de ces **pratiques pédagogiques en Bretagne** et je laisse le soin à **Mr Michel Martinat** Inspecteur Pédagogique Régional STI d'expliquer quel a été le cadre de ce travail. Le nombre des articles reçus a dépassé nos espérances et nous remercions vivement leurs auteurs. Malheureusement nous sommes contraints de respecter un nombre de pages pour ce numéro et nous publierons l'article de Mr F. Lemaire de Lorient sur la mécanique des fluides au mois de Décembre. Il s'intégrera parfaitement dans la future rubrique Enseignement des Sciences Appliquées (voir plus loin).

Nous tenons à remercier **Mr Hamid Ben Ahmed** pour le travail remarquable qu'il a fourni. Il est à l'initiative de ce projet qui nous tient beaucoup à cœur et il en a été le coordonnateur.

L'académie qui prendra le relais pour le numéro de Septembre 2007 est l'académie de Lille.

Pour les quatre numéros de l'année scolaire que nous venons de commencer, nous avons retenu les thèmes suivants ; pour le numéro de Décembre **les matériaux électroactifs**, pour le mois de Mars **le stockage de l'énergie** et pour le mois de Juin **les gisements d'économie d'énergie**.

L'**Histoire de l'Automatique** continuera à nous être contée et nous avons décidé de consacrer une rubrique à l'**Enseignement des Sciences Appliquées** qui présentera dans chaque numéro un article dans des domaines aussi différents que la thermique, la mécanique, l'électrochimie ou l'optique. Nous comptons sur vous pour alimenter cette rubrique et nous envoyer des articles pédagogiques : fiches de TP, TD, cours..., sachant bien sûr que toute fiche de TP, TD ou un cours dans le domaine du Génie Electrique seront toujours les bienvenus.

Une coopération avec le site **RESELEC** est amorcée avec ce numéro, et nous lançons également une consultation pour mieux connaître vos attentes, vos critiques et vos propositions.

Pour continuer à faire paraître cette revue qui contribue à la transmission des connaissances, nous avons toujours besoin de votre aide. Nous comptons sur vous pour saisir toutes les occasions pour faire connaître et faire vivre notre revue : réunions de jurys d'examen, rencontres entre enseignants pour l'application de nouveaux programmes, congrès, rencontres ou partenariat entre enseignants et industriels...

FAITES CONNAITRE LA REVUE !!!..

Nous serons heureux de recevoir vos articles que vous aurez déposés dans la boîte aux lettres dont l'adresse e-mail est revue3ei.art@voila.fr. Vous pouvez également nous faire parvenir vos idées, vos réactions, vos suggestions à l'adresse e-mail revue3ei.cour@voila.fr

Bonne lecture.

Le Comité de Publication de la Revue3EI

La Revue 3EI Comité de publication

Hamid BEN AHMED
Jean BONAL
François BOUCHER
Lucien DESCHAMPS
Jean FAUCHER
Gilles FELD
Jean-Philippe ILARY
Chérif LAROUCI
Marie Michèle LE BIHAN
Franck LE GALL
Sylvaine LELEU
Pascal LOOS
Claude OBERLIN
Oviglio SALA
Jean-François SERGENT
Jean-Claude VANNIER
Pierre VIDAL

Pour vos insertions
publicitaires, contacter :
TRENDICE CONSEIL

Philippe MINGORI
01 45 74 96 47

Martine FERRON
01 45 74 96 48

Abonnement à la Revue 3EI, année 2005-2006 :
Numéros : 43 (décembre 2005), 44 (mars), 45 (juin) et 46 (septembre 2006).

<u>Abonnement individuel :</u>		<u>Abonnement collectif souscrit par bon de commande (bibliothèque, CDI, laboratoire, entreprise, etc.)</u>	
France et Pays de la CEE :	35 €, TTC	France et Pays de la CEE :	50 €, TTC
Pays hors CEE :	45 €, TTC	Pays hors CEE :	63 €, TTC

Une seule adresse :

La Revue 3EI - SEE,

17, rue Hamelin, 75 783 PARIS Cedex 16

**pour nous contacter au sujet de votre abonnement écrivez à
revue3ei.cour@voila.fr**



La machine asynchrone à vitesse variable tomes 1 et 2

(Collection Sciences et Technologies de l'Énergie Électrique)

Auteur : RAZIK Hubert

Résumé

La machine asynchrone à vitesse variable, ouvrage en deux volumes, présente le moteur asynchrone, son modèle et son comportement en régime statique ou dynamique, dans son contexte environnemental. Il rassemble la modélisation et l'étude des différentes composantes d'un actionneur électrique : asservissements, organes de mesure, commande numérique et chaînes de puissance. Le premier volume rappelle les principaux éléments théoriques sur les asservissements (notions d'automatique linéaire classique) et plus spécifiquement la machine asynchrone tout en donnant de nombreuses caractéristiques pratiques au niveau des capteurs de mesure et de la commande numérique, ainsi que des notions sur les systèmes dits temps réels. Le deuxième volume étudie l'aspect variation de vitesse du moteur, les notions de la logique floue puis la mesure des signaux et leurs traitements. La commande vectorielle ainsi que diverses stratégies (telles que DTC, FOC, SVM, etc.) sont également présentées. Enfin, l'ouvrage explique les éléments relatifs à la détection d'un défaut d'ordre électrique ou mécanique.



La machine asynchrone à vitesse variable 1:

Chapitre 1. Capteurs et mesures électriques. Les codeurs optiques. La mesure de la vitesse de rotation. Le resolver. La mesure isolée. L'aspect numérique. Le convertisseur analogique-numérique. Le convertisseur numérique-analogique. La sortie numérique. L'unité arithmétique et logique. Le temps réel ou abus de langage. La programmation.

Chapitre 2. Contrôle analogique, numérique. Structure d'un régulateur. Stabilité d'un système. Précision des systèmes. Correction des systèmes. Asservissement non linéaire. Méthode pratique d'identification et de correction. Les correcteurs numériques. Les correcteurs habituels. Inconvénients du numérique.

Chapitre 3. Modèles des machines asynchrones. La machine asynchrone. La machine à cage d'écureuil. Les comportements statiques et dynamiques. Le bobinage et les harmoniques induits. La cage d'écureuil. La variation de perméance d'entrefer. Le bruit et les vibrations. L'influence de la fréquence au rotor.

Annexe. Quelques relations mathématiques.



La machine asynchrone à vitesse variable 2:

Chapitre 1. Variation de vitesse. Quelques cas de machines polyphasées. La commande des moteurs asynchrones. Aspect identification des paramètres. Les générateurs de tensions alternatives. Les redresseurs à MLI.

Chapitre 2. Outils de la logique floue. Préambule. Introduction. La logique floue. Le contrôleur flou. Un PI flou et adaptatif. Conclusion.

Chapitre 3. Diagnostic et les signaux révélateurs. Des signaux et des mesures. Des pannes. L'analyse des signaux. Quelques considérations liées au défaut de barre(s) au rotor. Évaluation de la sévérité d'un défaut de barre(s).

Exercice n° 1 : La logique floue.

Exercice n° 2 : La défaillance au stator.

Exercice n° 3 : La commande de moteurs pentaphasés.

Exercice n° 4 : La commande de moteurs connectés en séries.

Matériaux magnétiques en génie électrique 1 et 2

(Traité EGEM, série Génie électrique)

Auteur(s) : KEDOUS-LEBOUC Afef

Résumé

Une douzaine de spécialistes universitaires et industriels font découvrir, à partir de leur expérience et savoir faire en relation directe avec les applications, les progrès récents des matériaux magnétiques doux du génie électrique. Après un rappel des notions physiques fondamentales du magnétisme, l'ouvrage décrit les principales familles de matériaux magnétiques doux : aciers électriques conventionnels Fe et FeSi, aciers spéciaux FeCo et FeNi, alliages FeSi enrichis en silicium, amorphes, nanocristallins et ferrites doux. L'ensemble des caractéristiques de ces matériaux est abordé : propriétés spécifiques, procédés industriels de fabrication, applications récentes, perspectives d'évolution et applications futures. Un accent particulier est mis sur le comportement magnétomécanique ainsi que sur la modélisation des pertes et de l'hystérésis magnétiques



Matériaux magnétiques en génie électrique 1 (Traité EGEM, série Génie électrique)

Sommaire

Introduction. Matériaux magnétiques en génie électrique. Récents développements et applications -A. Kedous-Lebouc.

Physique des matériaux magnétiques -O. Geoffroy, H. Gavrila.

Aciers électriques non orientés pour machines électriques et autres applications : progrès récents dans les techniques de caractérisation, les nouvelles qualités de matériaux et les outils de modélisation -M. De Wulf, traduit de l'anglais par A. Kedous-Lebouc.

Matériaux magnétiques doux spéciaux et applications -Th. Waeckerlé.

Alliages magnétiques doux enrichis en silicium -J. Degauque, F. Fiorillo.



Matériaux magnétiques en génie électrique 2 (Traité EGEM, série Génie électrique)

Sommaire

Introduction. Matériaux magnétiques en génie électrique. Récents développements et applications -A. Kedous-Lebouc.

Alliages magnétiques amorphes -Th. Waeckerlé, F. Alves.

Alliages magnétiques nanocristallins -Th. Waeckerlé, F. Alves.

Les ferrites doux -R. Lebourgeois, M. Guyot.

Propriétés magnétomécaniques des matériaux magnétiques -E. Hug, M. Clavel.

Modélisation des matériaux magnétiques doux -J.-P. Ducreux, J.-P. Masson.

Electronique de Puissance du Futur EPF 2006 11^{ème} colloque national les 5 et 6 juillet 2006 Grenoble

Le colloque Electronique de Puissance du Futur (EPF) est un colloque français bisannuel qui a pour objectif de rassembler la communauté de l'électronique de puissance, universitaire et industrielle. Il accompagne périodiquement l'évolution de cette discipline et, pour sa 11^{ème} édition, cette manifestation s'est déroulée à Grenoble et a été organisée conjointement par le Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble (LEG-ENSIEG) et le Laboratoire d'Electronique Industrielle de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (LEI-EPFL). Ces institutions partenaires de longue date, pôles importants du secteur du génie électrique et de l'énergie, se sont associés pour cette édition d'EPF en maintenant une tradition d'ouverture transfrontalière. Durant la conférence, une journée thématique s'est tenue sur *l'électronique de puissance pour la gestion du stockage électrique et des énergies non conventionnelles*.



A travers 8 sessions orales, 3 sessions posters et une exposition industrielle, la conférence EPF a été l'occasion de mettre en avant des thèmes de recherches forts tels que la CEM, les composants passifs, les semi-conducteurs et l'intégration, accompagnés d'applications novatrices. En particulier, on peut retenir le fort potentiel que représente l'électronique de puissance pour les réseaux et les énergies renouvelables, les transports et l'habitat.

Les journées du colloque EPF 2006 ont montré, avec plus de 150 participants, l'intérêt que portent les communautés universitaire et industrielle à l'électronique de puissance. D'une part, on note une forte mobilisation universitaire, la représentation de plusieurs institutions publiques ou parapubliques, dont deux ministères, et la participation significative des industriels (1/3 des inscrits, 9 exposants). D'autre part, la journée thématique co-organisée avec l'équipe du Pr Rufer de l'Ecole Polytechnique de Lausanne a montré l'intérêt de s'ouvrir sur les pays voisins. Enfin, côté détente, nous retiendrons qu'il est toujours difficile de maîtriser la météo et le calendrier de la coupe du monde de football...

Le conseil scientifique d'EPF et les organisateurs du colloque remercient tous les participants qui ont contribué à la bonne tenue de cette manifestation et vous donnent rendez-vous en 2008, à l'ouest de l'hexagone.

Jean-Christophe Crébier, Jean-Paul Ferrieux, Yves Lembeye, Marie-Thérèse Loubinoux

Les actes de la manifestation sont disponibles sur CD au prix de 40 €, demande à formuler auprès de : Marie-Therese.Loubinoux@leg.ensieg.inpg.fr

L'Académie de Rennes et ses Pratiques pédagogiques

Michel MARTINAT

Inspecteur Pédagogique Régional STI

1. Quelques chiffres

L'académie de Rennes, dont M. Jean-Baptiste Carpentier est recteur et chancelier des universités de Bretagne depuis juillet 2006, regroupe les 4 départements Bretons, à savoir L'Ille-et-Vilaine, le Morbihan, Les Côtes d'Armor et le Finistère. L'académie de Rennes compte au total 122 lycées d'enseignement général et technologique (dont 64 privés) et 70 lycées professionnels (dont 25 privés) pour respectivement 76332 et 30747 élèves. La répartition des effectifs est donnée au tableau ci-dessous. L'implantation des différents Lycées bretons est illustrée sur la figure 1.

	Constat R 2004	Constat 2005-2006		Prévisions 2006-2007	
		R 2005	Ecart R05 - R04	Effectifs	Ecart Prév06-R05
COLLEGES					
6ème	20 954	20 777	-177	21 146	369
5ème	21 357	20 584	-773	20 560	-24
4ème (sauf 4ème d'aide et de soutien)	21 584	21 454	-130	20 582	-872
4ème d'aide et de soutien	58		-58		
3ème générale (Ens des 3ème y.c 3ème TOP)	19 525	20 506	981	20 475	-31
3ème d'insertion	82		-82		
CPA+CLIPA de collège+UPI+Classes-relais	236	275	39	311	36
TOTAL 1ER CYCLE	83 796	83 596	-200	83 074	-522
SEGPA	3 456	3 472	16	3 472	
LYCEES PROFESSIONNELS (LP)					
4ème techno de LP					
3ème techno (regroupées avec les 3ème générales)	733		-733		
CPA+CLIPA de LP					
CAP en 1 an	159	135	-24	123	-12
CAP 2 ans + CAP 3 ans	1 560	1 495	-65	1 467	-28
BEP 1 an	23	48	25	46	-2
2nde professionnelle	5 048	4 942	-106	4 946	4
Terminale BEP	4 858	4 696	-162	4 639	-57
Bac Pro en 1 an	17	12	-5	10	-2
1ère Professionnelle + 1BMA2	2 536	2 579	43	2 559	-20
Terminale Professionnelle + 2BMA2	2 261	2 345	84	2 420	75
Mention Complémentaire	239	251	12	244	-7
TOTAL 2ND CYCLE PROFESSIONNEL	17 434	16 503	-931	16 454	-49
LYCEES (HORS ENS. SUP.)					
2ndes générales et techno	15 803	15 469	-334	15 490	21
1ères générales et techno	15 145	15 096	-49	14 825	-271
Terminales générales et techno	14 936	14 806	-130	14 749	-57
TOTAL 2ND CYCLE GEN. ET TECHNO	45 884	45 371	-513	45 064	-307
TOTAL 2ND DEGRE	150 570	148 942	-1 628	148 064	-878
ENS. SUP. DE LYCEES					
CPGE1	1 347	1 374	27	1 374	
CPGE2	1 186	1 246	60	1 246	
BTS en 1 an		11	11	11	
BTS 1ère année	2 943	2 957	14	2 957	
BTS 2ème année (yc DNTS)	2 631	2 654	23	2 654	
BTS 3ème année + 1DCESF1	22	18	-4	18	
DPECF+Classe de mise à niveau	74	74		74	
DECF	214	200	-14	200	
Préparations diverses	65	56	-9	56	
TOTAL ENS. SUP. DE LYCEES	8 482	8 590	108	8 590	
TOTAL ACADEMIE	159 052	157 532	-1 520	156 654	-878

(*) Unité Pédagogique d'Intégration

NB : hors EREA et préparations diverses

Tableau 1 : Effectifs et prévisions d'effectifs par cycle dans l'académie de Rennes (source DEP, Académie de Rennes)



Figure 1 : Implantation des Lycées et Lycées professionnels

2. L'enseignement technique en génie électrique

L'enseignement en Génie Electrique est représenté dans la plupart des lycées bretons. Nous comptons 28 sections de bac STI Génie Electrotechnique et pour le BTS Electrotechnique 9 sections en formation initiale et 2 sections en formation par apprentissage. Les sections de BTS Electrotechnique sont bien réparties sur l'ensemble du territoire breton. Les effectifs de STS en formation initiale évoluent de 189 candidats en 2003 à 207 candidats en 2006. Les résultats à l'examen sont excellents, variant de 88,9% en 2003 à 89,4% en 2006. Une baisse importante des effectifs de STI Génie Electrotechnique, 150 élèves en 4 ans, amène les établissements à opter pour un recrutement plus important d'élèves issus de Bac Professionnel afin d'alimenter les sections STS.

Les 9 lycées bretons qui dispensent la formation BTS Electrotechnique sont indiqués sur la figure 2.



Figure 2 : Implantation des 9 lycées bretons dispensant d'une formation BTS Electrotechnique

Les enseignants de BTS Electrotechnique se rencontrent environ trois fois dans l'année. Lors de ces réunions sont conviés les collègues de Génie Electrique, de Génie Mécanique et de Physique Appliquée. Le contenu est diversifié. Il peut-être d'ordre pédagogique (par exemple: la gestion de projet) ou axé sur un sujet d'actualité (par exemple : les énergies solaires avec intervenants extérieurs) ou en relation avec une institution comme ENS Cachan – Antenne de Bretagne sur des sujets spécifiques (par exemple: l'introduction de l'électronique de puissance dans les voitures). Périodiquement, un séminaire de tous les enseignants est organisé avec un thème particulier. Une plate-forme internet permet aussi de véhiculer les informations et de mutualiser les pratiques pédagogiques.

Le secteur de l'emploi pour nos étudiants se trouve principalement dans le secteur agro-alimentaire, secteur industriel développé en Bretagne, et surtout sur des postes de Maintenance. Les autres domaines de recrutement sont les bureaux d'études en Génie Electrique et en Automatismes. Avec l'essor du parc éolien en Bretagne, des futurs postes de maintenance vont peut-être se développer dans les années futures.

Entre 15% à 20% des étudiants des BTS Electrotechnique poursuivent leurs études. Les voies choisies sont la Licence "EEA", la Licence "Ingénierie Electrique" et diverses "Mention Complémentaire" proposées sur l'académie. L'offre de Licence Professionnelle s'étoffant en Bretagne, un plus grand nombre d'étudiants pourront se diriger vers ces formations.

Depuis quelques années, l'implantation de sites éoliens en Bretagne n'a fait que s'amplifier, (50 Gwh de production pour 25 MW installés, chiffre ADEME). Poursuivant cette logique, le Conseil Régional de Bretagne, l'ADEME et EDF ont doté 5 lycées bretons d'une plate-forme "Energies Renouvelables" dans le cadre du programme **édéa** Bretagne. Ces sites sont équipés d'une éolienne et de panneaux solaires. L'article du lycée VAUBAN de BREST décrit l'installation et le développement de leur site. Il expose les exploitations pédagogiques possibles à partir de telles installations.

D'autres lycées bretons ont poursuivi dans cette voie, en se dotant d'installation de type solaire. Ils exposent dans un article leur démarche.

Les autres articles proposés traitent de projets menés avec des étudiants dans les domaines de l'électrotechnique, de l'automatisme, du génie mécanique et de la physique appliquée.

3. Les apports de la revue 3EI

Les enseignants du secondaire recherchent des ressources exploitables qui puissent enrichir leurs enseignements. Les articles de la revue 3EI, parfois considérés d'un niveau scientifique élevé, doivent être perçus dans le domaine de l'Electrotechnique comme des compléments d'informations sur les évolutions techniques et scientifiques aussi bien dans le domaine industriel que dans celui de la recherche. En outre, l'orientation spécifique du contenu de la revue offre aux enseignants une formidable ressource sur les fondamentaux de la discipline ainsi que sur les pratiques pédagogiques. Ce numéro dédié aux travaux d'une académie est une idée remarquable, qui nous l'espérons, permettra des échanges fructueux tout au long de l'année, entre enseignants de tout l'hexagone. La revue 3EI en serait alors le socle si l'idée pouvait être rééditée tous les ans.

Pratiques pédagogiques au lycée Joliot-Curie de Rennes

TH. BAZIN, J. GAUTIER, P. HOUÉE, D. MICHALET, A. OLLIVIER (*)

C. BARANGE, C. SERRE, M. LEBEAU (**)

G. BAILLET, Y. MOUDIC (***)

Professeurs d'Electrotechnique (*), de Physique Appliquée (**), de Construction Mécanique (***)

Lycée Joliot – Curie, Rennes

Dominique PRIGENT, CHEF DE TRAVAUX

Contact : dominique.prigent@ac-rennes.fr

Résumé : La forte implication des étudiants et des professeurs lors des épreuves professionnelles de synthèse en 2nde année de STS constitue un atout majeur pour la création de nouveaux partenariats et l'acquisition de nouvelles compétences. Les évolutions en cours se situent principalement dans les domaines des ENR et de la MDE, elles sont conduites conjointement avec le développement du plateau technique (ateliers pédagogiques), et une évolution de l'offre de formation de l'établissement. L'expérience acquise est réinvestie de manière directe ou transversale pour les autres sections et filières du Lycée. Le projet d'implantation d'une salle polyvalente HQE didactisée et instrumentée permettra de prolonger la dynamique en cours tout en expérimentant à une échelle significative.

1. Introduction

Implanté dans le Nord Ouest de Rennes, à proximité du parc des Gayeulles, le lycée Joliot-Curie résulte, à son origine en 1963, d'un transfert de l'Ecole Nationale d'Enseignement Technique auparavant située boulevard Laennec en centre ville. L'ENET étant elle même une évolution de l'Ecole Pratique d'Industrie dont les origines remontent à 1898.

Cet héritage associe à Joliot-Curie une notoriété « historique » dans le domaine du Génie Mécanique sur le bassin rennais qui s'est récemment élargie à la filière électrotechnique. Les derniers développements et projets en cours sont évoqués dans les pages suivantes, ils sont portés par les 6 divisions d'électrotechnique, de la première STI à la STS.

Aujourd'hui Lycée d'Enseignement Général et Technologique le noyau identitaire de l'établissement reste essentiellement scientifique et technologique : 1400 élèves préparent un bac S, S SI, STI, STL, STG ou suivent une formation supérieure en STS (Electrotechnique, Mécanique et Automatismes Industriels, Industrialisation des Produits Mécaniques, Technico-commercial) et CPGE (PT et PSI).

2. Développement d'un pôle Maîtrise De l'Energie et ENergie Renouvelable

Le contexte des ressources fossiles, les enjeux écologiques et économiques, sans oublier les préoccupations des industries du bassin d'emploi, sont autant d'éléments qui ont motivé notre engagement dans la voie ouverte par les cinq lycées bretons pour les énergies renouvelables. Toutefois le choix de reproduire à l'identique l'expérience conduite dans ces cinq établissements a été rapidement écarté au profit d'un schéma complémentaire qui peut se décliner selon 3 axes.

2.1. La production décentralisée

- Notre choix s'est porté sur l'implantation d'une éolienne didactique dont le descriptif ainsi que le potentiel pédagogique sont présentés au §4.3. Ce matériel, priorité des projets d'équipements pédagogiques du lycée pour l'année scolaire 2004-2005, a été intégralement financé par la région Bretagne.
- Implantation, dans le cadre des épreuves professionnelles de synthèse, de panneaux solaires photovoltaïques (320 Wc) financée dans le cadre d'un partenariat école entreprise avec la SNCF (cf. §4.2)

- Analyse par un professeur de l'installation solaire photovoltaïque implantée au cinéma de Redon dans le but d'en faire une exploitation pédagogique. Quelques exemples sont détaillés au §4.4, l'intégralité du dossier sera diffusé via le réseau RESELEC.

2.2. Les économies et la maîtrise de l'énergie :

Les préoccupations d'actualités en matière de production d'énergie sont indissociables des enjeux qui concernent la consommation et la maîtrise. Très concrètement les industries locales avec lesquelles nous avons de nombreux contacts sont actuellement à la recherche de solutions à court ou moyen terme pour effectuer des économies d'énergie sans pour autant dégrader la qualité de leurs process ou prestations. Le système des certificats d'économie d'énergie, dits « certificats blancs » accompagne clients et fournisseurs d'énergie dans l'amélioration de leur pratiques respectives.

Le développement du pôle MDE à Joliot-Curie a pris son essor avec la signature d'une convention de partenariat avec la Société de Peinture Industrielle SFPI de Fougères pour l'acquisition et l'utilisation d'une caméra infrarouge. Ce matériel a été financé au 2/3 par l'état et la région dans le cadre du CPER 2000-2006 le complément étant apporté par l'entreprise. Cette coopération est entrée dans une phase opérationnelle en janvier 2006 avec une utilisation de la caméra en alternance par le service maintenance de l'entreprise et par les étudiants dans le cadre de la formation initiale.

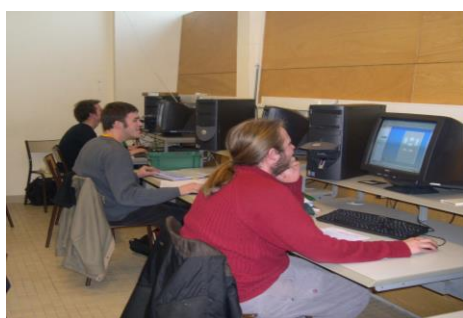


Figure 1 : Elèves en programmation pour la commande de l'armoire société SFPI

Cette collaboration « Ecole – Entreprise » a été étoffée par le développement et l'implantation d'une solution technique pour cette même société dans le cadre des épreuves professionnelles de synthèse du BTS 2006 : Il s'agit d'un équipement de commande et de contrôle pour convoyeur et régulation de fours. Cette réalisation, livrée début Juillet est opérationnelle en production depuis la fin août.

Ce savoir faire en matière de partenariat industriel a été reconnu lors des trophées organisés par le Pôle Productique de Bretagne puisque le Lycée Joliot-Curie est lauréat 2005 dans la catégorie développement durable pour l'implantation d'une turbine au Moulin du Champinél situé sur la commune de Saint-Brice-en-Coglès : Couplage d'une turbine à eau à une génératrice synchrone de 50 kVA (liée mécaniquement à un moteur asynchrone) pour fournir l'énergie électrique consommée dans le moulin (moteurs pour broyage, enlèvement, ...etc.).

Ce choix de développer de nouvelles compétences dans le domaine de la Maîtrise de l'Energie s'accompagne d'une évolution des équipements qui se traduit également par l'achat de bancs didactiques, de matériel de contrôle, de diagnostic et de mesure dans ce domaine. Ces nouveaux équipements sont principalement destinés à la filière électrotechnique et aux partenariats « école-entreprise », à l'instar de la collaboration avec SFPI. Ils seront également utilisés pour sensibiliser un plus grand nombre d'élèves, des classes de secondes aux sections de sciences de l'ingénieur ou encore de Technicien Supérieur.

3. Une évolution des formations de l'établissement en cohérence avec ces nouvelles orientations

3.1. Extension des Sections européennes à la filière STI génie Electrotechnique :

Depuis la rentrée 2003 le Lycée Joliot-Curie de Rennes offre aux élèves la possibilité de préparer un baccalauréat scientifique S « mention européenne ». L'évolution des effectifs illustre le vif succès rencontré par ce cursus auprès des lycéens :

2003-04 : Ouverture avec 37 élèves

2004-05 : 73 élèves en seconde + 34 en 1ère

2005-06 : 134 élèves en 2°, 1° et Tale

Prévision **rentrée 2006 :** plus de 180 élèves dont 85 en seconde

L'emploi du temps hebdomadaire intègre deux heures complémentaires à l'horaire traditionnel de la filière concernée :

- 1 heure de renforcement linguistique pour la langue choisie (Anglais ou Allemand) afin de parfaire compréhension et expression orales (enseignement essentiellement dispensé en labo de langue).
- 1 heure de discipline non linguistique « DNL » en Mathématiques, Sciences Physiques ou Electrotechnique qui permet de favoriser l'acquisition de l'autonomie tout en se familiarisant à l'approche d'une discipline scientifique ou technologique dans une langue étrangère.

Ces enseignements sont dispensés par des professeurs dont la double compétence est validée par l'inspection pédagogique régionale.

Outre l'ouverture à l'Europe le voyage pédagogique à BERLIN ou VIENNE en alternance pour les germanistes ainsi qu'en ANGLETERRE, FINLANDE ou POLOGNE pour les anglicistes constitue un support d'étude extrêmement mobilisateur pour les lycéens (Travail préparatoire en LV, recherche documentaire, correspondances avec les lycées étrangers, Internet ...)

Le baccalauréat « mention européenne » est obtenu sous réserve d'une moyenne supérieure ou égale à 12/20 dans la discipline concernée. Seuls les points supérieurs à la moyenne sont retenus pour cette option facultative (Coefficient 2) ce qui constitue un atout supplémentaire pour l'obtention d'une mention. Cette certification est reconnue par les universités européennes : ZD-Goethe Institut Paris, Certificate University de CAMBRIDGE...

Depuis la rentrée 2005 la possibilité de suivre cette mention a été élargie de manière à permettre aux élèves qui souhaitent intégrer la filière STI électrotechnique de préparer un baccalauréat « mention européenne ». La DNL Electrotechnique est proposée depuis la rentrée 2006.

3.2. La licence Professionnelle ACTEER (Assistant et Conseiller Technique en Energie Electrique et Renouvelable)

Ce projet a été élaboré conjointement par le Lycée Joliot-Curie et l'IUT de Rennes au cours de l'année scolaire 2005-2006 pour une ouverture fixée dès le 18 septembre 2006. La collaboration est déjà fructueuse car depuis plusieurs années les deux établissements

mutualisent moyens et compétences dans le cadre de la licence professionnelle Mécatronique.

Le texte suivant présente un résumé de ce projet rédigé collégialement par les équipes du Lycée et de l'IUT (Coordonnateur pour l'IUT M Olivier GERGAUD) :

« Les ressources en énergies fossiles s'amenuisent et l'implantation de moyens de production utilisant les énergies renouvelables, les techniques de maîtrise de l'énergie ainsi que l'éducation à de nouveaux comportements s'imposent comme des composantes essentielles du développement durable en terme énergétique. Dans ce contexte la licence professionnelle focalise ses contenus de formation sur la réduction et la maîtrise des coûts énergétiques, le développement des énergies propres et renouvelables et intègre les aspects scientifiques, techniques et professionnels de ces thématiques. »

*Les très grandes entreprises françaises ainsi que les PMI et les PME sont soucieuses actuellement de disposer d'une énergie **propre** et **maîtrisée**. Cette symbiose incontournable engendrera une meilleure gestion des ressources et respectera les contraintes économiques et environnementales. En effet, le contexte mondial d'augmentation du coût des énergies fossiles et nucléaires et d'épuisement des matières premières associées, combiné aux problèmes du réchauffement de la planète (émission de CO2) impose d'ores et déjà de se préoccuper de la façon dont nous **produisons, transportons et consommons** l'énergie. Ces besoins émergents concernent donc à la fois la mise en œuvre de moyens alternatifs de production et les stratégies permettant une utilisation plus rationnelle de l'énergie, tant au niveau domestique qu'au niveau des entreprises.*

L'intérêt de la maîtrise de l'énergie pour les industries répond à des considérations économiques et prend actuellement une dimension concrète : c'est une préoccupation majeure des entreprises bretonnes qui souhaitent également dégager une image 'd'industrie propre' bénéfique en terme de marché. Un des éléments de cette maîtrise découle directement de la déréglementation énergétique et répond aux enjeux de la politique européenne et d'organismes comme l'EDF, l'ADEME et le CRE.

Les collectivités locales et territoriales s'inscrivent également dans une politique de développement durable : Le Projet d'Action Stratégique de l'Etat en Région Bretagne (PASER) affiche l'ambition

d'élaborer un projet énergie pour la Bretagne. La déclinaison locale de l'AGENDA 21 adopté au sommet de RIO en juin 1992 entre actuellement dans une phase opérationnelle dont le développement est programmé pour les années à venir.

Autant d'éléments qui illustrent les besoins immédiats et à venir de spécialistes dans ces domaines. Cette analyse est partagée par un grand nombre de sociétés, associations et fédérations locales qui ont réagi favorablement à cette création de formation : ADEME, UIMM 35-56, EDF, SFPI (Fougères), CANON (Liffré), CAP-Solaire (Ploërmel), QUENEA (Carhaix).... Ces entreprises se sont exprimées notamment sur leurs besoins immédiats et à venir en matière de compétences et d'embauche sur les thématiques des énergies renouvelables et de la maîtrise de l'énergie. Elles accueilleront également des étudiants en stage et participeront au conseil de perfectionnement afin de veiller à une évolution de la formation en cohérence avec les réalités industrielles du bassin d'emploi. Selon leurs champs d'actions, compétences et attentes ces partenariats pourront revêtir, dans leurs modalités opérationnelles, des formes différentes et complémentaires. 30% des enseignements seront dispensés par des experts professionnels issus de ces sociétés. »

3.3. Rénovation du référentiel de la STS Technico-commercial :

L'Intégration de la composante environnementale dans la rénovation, rentrée 2006, du STS Technico-commercial « Fabricants et Distributeurs de l'industrie Environnementale, Automobile, Agro-alimentaire, Biens et Services intermédiaires » s'est faite suite à une analyse économique du bassin régional et une consultation des entreprises partenaires. Les étudiants bénéficieront des installations et des compétences disponibles pour la composante technique et environnementale de leur formation

4. Exemples de projets pédagogiques « Energies renouvelables »

4.1. Installation solaire photovoltaïque embarquée

Alain OLLIVIER

4.1.1 Genèse du projet :

Suite à des publications scientifiques concernant l'implantation de panneaux solaires sur différents moyens ferroviaires en Italie (TrenItalia), étude menée sur 2 ans, nous avons déposé un appel à projet en

direction de la SNCF pour envisager un prototype d'alimentation en énergie électrique de type photovoltaïque.



Figure 2 : Voiture VB2N

Le lycée Joliot-Curie a établi des contacts avec l'établissement SNCF-EIMB de Rennes, MM JARNO et TESSIER de l'U.O Ingénierie Voiture. Ce service réalise le reconditionnement électrique des rames VB2N à 2 niveaux de la région parisienne (cf. figure 2).

4.1.2 Cahier des charges :

Un cahier des charges a été élaboré dont voici quelques éléments :

- Implantation de panneaux solaires sur l'avant des voitures VB2N.
- Énergie photovoltaïque utilisée en secours sur la balise lumineuse à l'avant de la rame.
- Alimentation en énergie de la cabine du conducteur.

Note : Ce cahier des charges a été un travail conjoint de UO de l'EIMB avec la section BTS Electrotechnique auxquels ont participé les étudiants.

La démarche de projet s'est alors décomposée en 2 axes :

- 1er axe : Réalisation d'une installation prototype en site isolé au lycée comprenant 4 panneaux restituant 320 Wc
- 2ème axe : Étude et dimensionnement de l'alimentation de l'équipement photovoltaïque sur une voiture VB2N :
 - Bilan énergétique
 - Etude de l'implantation des panneaux sur la voiture.

4.1.3 Déroulement du projet :

L'étude, menée par 6 étudiants, a permis d'aboutir à une installation prototype opérationnelle permettant d'effectuer une évaluation des énergies disponibles à partir de 4 panneaux délivrant 80 Wc et installés sur le toit du lycée (cf. figure 3).

Des matériels de mesure et de régulation adaptés (cf. figure 4) ont été installés (régulateur de charge, centrale de mesure etc.). 2 types d'onduleurs autonomes sont connectés pour évaluer les critères technique/économiques de choix d'un onduleur sur un site isolé en fonction du type de charge à alimenter, point important pour répondre au CDC.



Figure 3 : Panneaux solaires installés

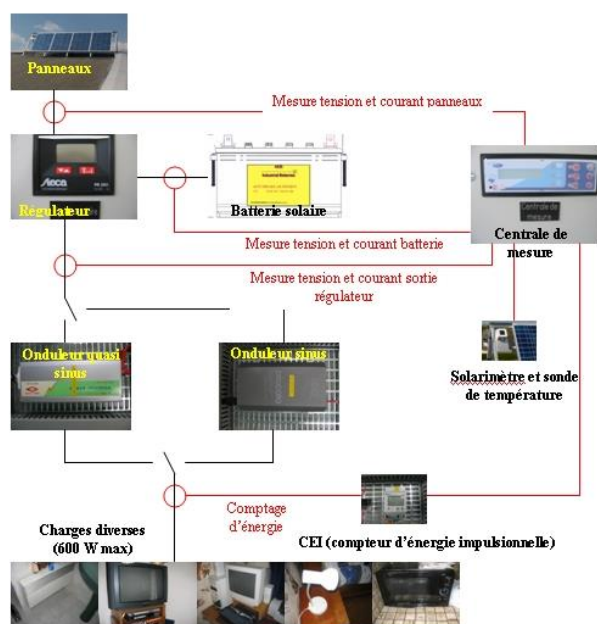


Figure 4 : Synoptique du projet solaire

4.1.4 Evolution future du projet :

Ce projet n'est qu'une étape de validation de production d'énergie autonome. Pour devenir une installation embarquée sur une rame VB2N, des étapes restent à franchir qui sont :

- Evaluation des énergies à fournir dans la voiture.
- Choix et type de modules solaires à implanter, étude de leur montage mécanique.
- Etude de l'implantation des matériels dans la cabine conducteur.

- Interconnexions du système de production embarqué avec le réseau électrique de bord et avec les charges à secourir.

4.1.5 Bilan de l'étude menée.

L'implication des étudiants sur ce projet a été très satisfaisante. Des revues de projet avec l'entreprise EIMB SNCF ont été menées pour permettre de cadrer l'étude et organiser le travail étudiant, fixer les délais à tenir. Le résultat final n'en est que plus valorisant.

4.2. Système éolien didactique « GTI systèmes »

Dominique MICHALET

4.2.1 L'énergie éolienne et ses applications intrinsèques

L'énergie électrique est aujourd'hui la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Mais avant de la consommer il aura fallu la produire, la transporter, puis la distribuer vers chaque consommateur. En Europe, les systèmes de production sont très centralisés. L'évolution cependant de la réglementation tend vers une décentralisation de la production.

Dans le cadre actuel, les énergies renouvelables deviennent depuis quelques années, une alternative d'ajustement aux énergies fossiles. En effet la libéralisation du marché européen de l'énergie, les nouvelles directives européennes, les contraintes écologiques, l'ouverture des marchés de l'énergie et le développement des moyens de production « propres » conduisent au développement de ces unités de petites et de moyennes puissances.

Dans le cadre de nos formations, filières SI et STI génie électrotechnique, BTS électrotechnique et Licence professionnelle ACTEER (Assistant et Conseiller Technique en Energie Electrique et Renouvelable), une intégration de ces nouveaux moyens de production dans le cadre de nos enseignements et plus particulièrement lors de travaux pratiques, apparurent rapidement comme une entité incontournable. En effet ces évolutions récentes, rapides et les nouvelles orientations des changements des contenus de formation ont conduit naturellement notre établissement à se doter d'un système d'étude didactique des modes d'échanges énergétiques entre un aérogénérateur (cf. figure 5) et le réseau électrique industriel. Ce système bien que didactique permet une approche rationnelle des modes de réinjection envisagés et de la gestion périphérique rapprochée et à distance.



Figure 5 : éolienne didactique

4.2.2 Description technique du système éolien

Ce système se décompose :

En une **partie opérative** comprenant :

- Un mât vertical support de la nacelle et de ses inévitables liaisons électriques.
 - Une nacelle mobile sur 720 degrés supportant une hélice tri-pâles entraînée par une machine « force du vent » qui constitue l'arbre lent, un multiplicateur de vitesse : lien entre l'arbre lent et rapide qui est associé une machine asynchrone (1,5kW) source de la production de l'énergie électrique.
- Cette nacelle est également dotée de dispositifs de simulation des paramètres du vent (ventilateurs axial et tangentiel) et de capteurs de mesure associés (anémomètre, girouette).

En une **partie commande** assurant Le positionnement de la nacelle en production optimale qui nécessite une gestion automatisée, composée d'un automate programmable industriel, d'un terminal de dialogue et de moyens de communication (coupleur réseau) permettant aussi le pilotage à distance via le réseau Internet (PCView).

A ce descriptif succinct se greffe trois variateurs de vitesse de gestion annexe, un démarreur progressif et deux variateurs de réinjection associés en mode REGEN (Leroy-Somer).

4.2.3 Approches des activités pédagogiques par niveaux et contenus

Approches et contenus disciplinaires :

Ce système permet d'appréhender le fonctionnement d'un aérogénérateur suivant trois grands axes :

- Le pilotage des actionneurs en mode autonome (Nacelle, tourelle de girouette, force et direction du vent) ;
- L'utilisation en mode asservi d'un aérogénérateur en gestion réelle suivant les paramètres du vent ;

- La réinjection d'énergie sur le réseau suivant les deux modes distincts : Soit directement (démarreur progressif - gradateur triphasé) correspondant aux situations de forts vents, soit par un ensemble de deux variateurs de vitesse associés en mode REGEN correspondant aux situations des vents plus faibles.

Par ailleurs ce système pluridisciplinaire permet diverses approches tant du point de vue du génie mécanique, de la physique appliquée que du génie électrique.

- Du point de vue mécanique :

Les aspects abordés sont l'étude du profil et de l'incidence de l'inclinaisons des pâles, le guidage et le positionnement de la nacelle, des ventilateurs axial et tangentiel, du multiplicateur de vitesse, du moto-réducteur, du frein à disque, de l'incidence de la température du multiplicateur de vitesse sur le rendement global de la chaîne de réinjection d'énergie sur le réseau.

- Du point de vue de la Physique appliquée :

Les aspects abordés sont multiples et concernent l'asservissement de la nacelle (codeur), les échanges énergétiques entre l'aérogénérateur et le réseau tant au niveau des structures utilisées que de l'aspect énergétique, la conversion énergétique mécanique et électrique.

- Du point de vue du génie électrique :

Les aspects du génie électrique regroupent la gestion de l'automatisme et de ses sécurités, la conversion d'énergie électrique, les protocoles d'échanges entre les produits communicants (API, terminal de dialogue Magelis, carte réseau ETZ510) et le réseau, les échanges énergétiques, la supervision via PCView, la compensation d'énergie réactive.

4.2.4 Approche et niveaux d'enseignements

Classe de première STI génie électrotechnique :

Découverte du principe de fonctionnement d'un système de production d'énergie électrique (constituants minimaux de la chaîne énergétique).

Classes de terminale génie électrotechnique

Analyse et justification des équipements retenus : Actionneurs, capteurs, mode de gestion (manuel, automatique).

Etudiants de STS Electrotechnique

Analyse et étude des modes de couplage et de réinjection de l'énergie électrique sur le réseau EDF, analyse des programmes de gestion, étude des liaisons

communicantes protocole Ethernet, divers capteurs dont un capteur absolu programmable.

Etudiants de la licence professionnelle ACTEER

Analyse du système en terme d'échanges énergétiques, de la gestion des organes communicants, de la supervision et du contrôle des paramètres à distance.

4.3. Le cinéma « solaire »

Patrick HOUÉE

4.3.1 Présentation du projet

Le cinéma « CINEMANIVEL » (cf. figure 6) est implanté à Redon (35) en centre ville au bord de la vilaine.

Celui-ci a été créé au sein d'une ancienne usine désaffectée, après avoir subi d'importants travaux de rénovation. Il est géré par une association loi 1901. Il est constitué de cinq salles de différentes capacités.



Figure 6 : Cinéma « Cinémanivel » de Redon

L'installation électrique du cinéma est en triphasé avec un abonnement en Tarif Jaune d'une puissance de 150 kVA.

L'installation photovoltaïque est connectée au réseau EDF, en monophasé et d'une puissance de 4800 Wc en un point différent de celui de l'installation électrique du cinéma.

4.3.2 Implantation des panneaux

L'implantation des panneaux photovoltaïques est orientée au Sud avec une inclinaison de 30° (cf. figure 7). Les panneaux sont fixés sur un bardage en bois au dessus de la galerie technique (chauffage et climatisation).

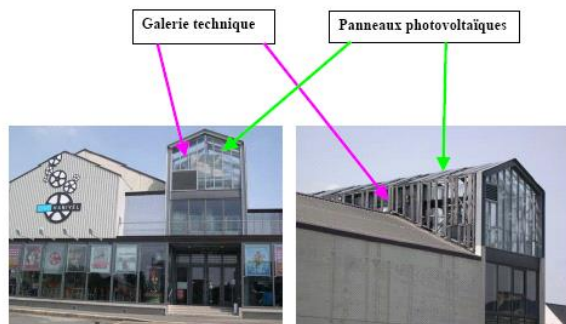


Figure 7 : Coffret CMP (mesure protection)

La galerie technique part de la façade principale (côté Ouest) jusqu'à l'arrière du bâtiment (côté Est). Celle-ci a une longueur de 40m et une largeur de 4m (cf. figure 8). Les panneaux photovoltaïques sont répartis sur toute la longueur. La ventilation est maximale car la galerie n'est pas protégée contre les intempéries (ni sur le toit, ni sur les côtés) comme indiqué sur la figure 9.

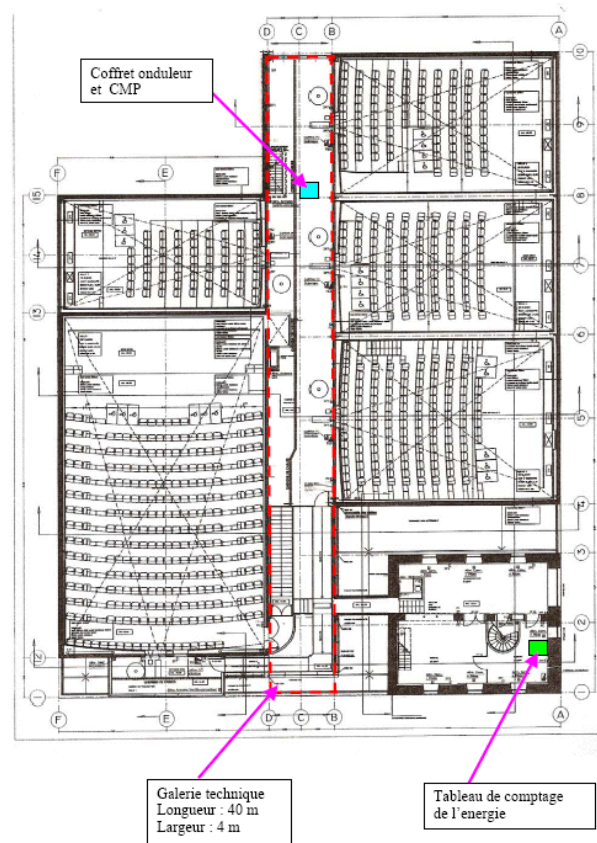


Figure 8 : Plan du cinéma

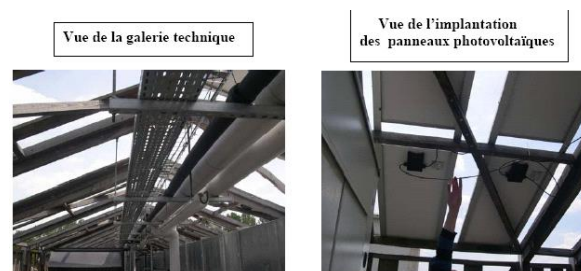


Figure 9 : Emplacement des panneaux solaires

4.3.3 Installation électrique

On dispose de 60 modules photovoltaïques répartis sur le bardage. Comme indiqué sur la figure 10, ces modules sont regroupés en 4 branches de 15 modules. Une branche est constituée de 15 modules mis en série. Ils sont câblés afin d'être envoyés à 2 onduleurs synchronisés réseau. Chaque onduleur reçoit 2 branches.

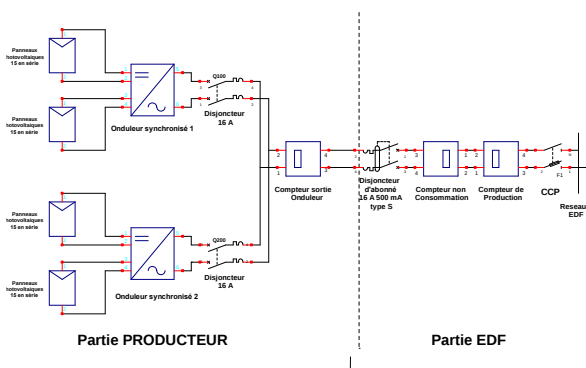


Figure 10 : Schéma électrique de l'installation

Les modules sont raccordés entre eux par des câbles type Tyco et ces câbles sont disposés sur un chemin de câble type Cäblofil et dirigés vers l'armoire contenant les 2 onduleurs et le coffret de mesure et de protection (CMP).

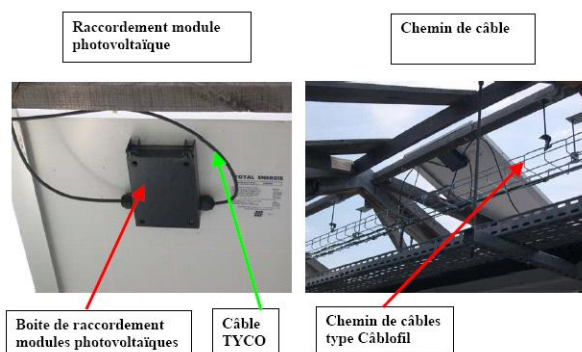


Figure 11 : Coffret CMP (mesure protection)

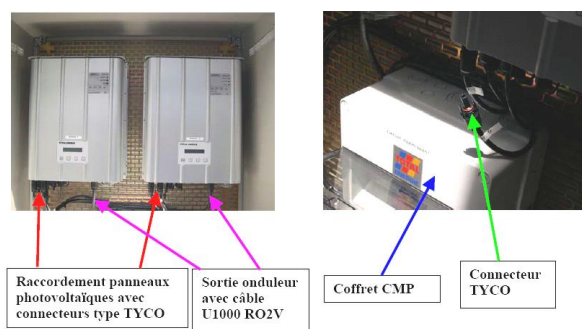


Figure 12 : Onduleurs synchronisés (a) et coffret CMP et connecteur TYCO (b)

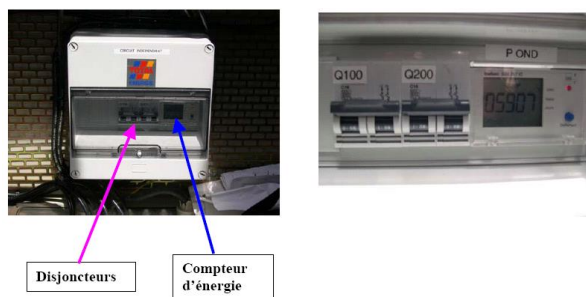


Figure 13 : Détail du coffret CMP (mesure protection)

Les disjoncteurs Q100 et Q200 sont placés en sortie de l'onduleur 1 pour Q100 et l'onduleur 2 pour Q200. Les 2 onduleurs sont couplés en parallèle après les disjoncteurs et un compteur d'énergie est implanté après le couplage. Ce compteur permet de connaître l'énergie de production juste après les onduleurs. Les disjoncteurs permettent d'isoler et de protéger la partie production d'énergie.

Un câble U1000 RO2V de section 16mm² assure la liaison entre le coffret CMP et le comptage de l'énergie coté EDF. La distance entre le coffret CMP et le comptage coté EDF est d'environ 40m. Le comptage de l'énergie coté EDF est constitué d'un compteur électronique de production et d'un compteur électronique de non consommation. De plus, un disjoncteur d'abonné type Sélectif assure la protection du réseau et la protection des personnes contre les contacts indirects. Le raccordement coté réseau se fait par l'intermédiaire d'un coffret S300 (cf. figure 14).

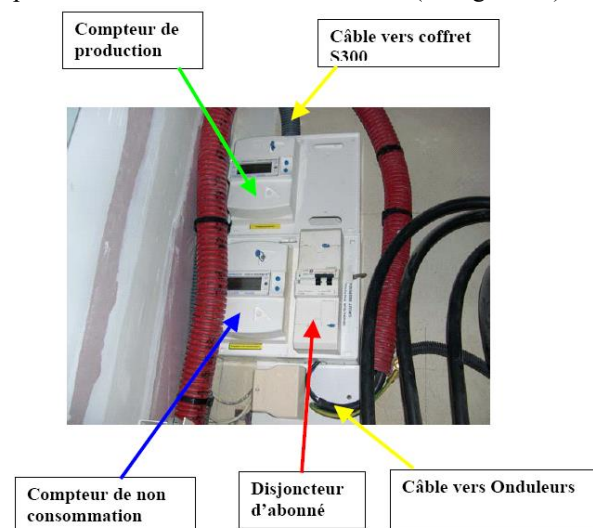


Figure 14 : Comptage d'énergie et protection

4.4. La visite de l'Ascenseur funiculaire de STREPY-THIEU

M. Yvon MOUDIC

Depuis le début du mois d'octobre 2002, les péniches au gabarit de 1950 tonnes et plus, peuvent emprunter l'ascenseur funiculaire de Trépy-Thieu en Belgique. Cet ouvrage a été réalisé dans le cadre de la mise au gabarit du canal du Centre, permettant ainsi aux grandes péniches de 1350 tonnes et plus de traverser l'Europe du nord de Hambourg à Paris en un minimum de temps...

Les élèves de STS Electrotechnique, encadrés par leurs professeurs ont visité ces installations techniques à l'occasion d'un voyage réalisé en avril 2003. Cette

expérience est renouvelée en octobre 2006 et une reconduite bisannuelle est envisagée.

Le descriptif technique et les exploitations pédagogiques possibles font l'objet d'une publication distincte dans ce numéro.

4.5. Un projet transversal et Innovant : Le Bâtiment instrumenté

L'implantation d'une salle polyvalente (amphithéâtre modulable et espaces associés) pour les lycées Chateaubriand et Joliot-Curie est programmée par la région Bretagne. Cette salle sera implantée dans un nouveau bâtiment qui mettra en œuvre des solutions énergétiques innovantes. Afin que la technologie retenue puisse être exploitée d'un point de vue pédagogique il est prévu de constituer un « bâtiment instrumenté » en implantant des moyens de mesures, de contrôle et de visualisation.

Outre l'usage interne aux deux lycées l'aspect **transversal et innovant** de ce projet sera systématiquement exploité lors des événements organisés par les établissements de la cité scolaire (accueil des parents, séminaires, conférences, olympiades des métiers, expositions, ...). L'accès au public ainsi que la visite des installations de cet espace scientifique et technologique associées à des manipulations sur maquettes didactisées et présentations multimédias permettront une véritable sensibilisation au développement durable tout en validant ostensiblement le principe de production décentralisée d'énergie en milieu urbain.

A ce jour les solutions techniques de production et d'instrumentation ne sont pas encore définies, toutefois les composantes HQE, ENR et didactisées sont prises en compte dès l'origine de ce projet. Les choix seront concertés lors de la définition du programme des travaux et pourront être exposés aux étudiants et lycéens lors de l'avancement du projet.

La première consultation a été affichée au mois de juin, pour une programmation qui débutera en automne 2006.

Le Concept de bâtiment instrumenté c'est :

- **Affichage**, de manière dynamique dans la zone d'accueil, des bilans énergétiques instantanés, mensuels et annuels. Affichage également de la puissance rayonnée par unité de surface (pyranomètre), de la vitesse du vent (anémomètre) de la température...

Ces informations détaillées sur la consommation pourront être utiles pour inciter les utilisateurs à

améliorer le bilan et à faire des progrès sur les consommations d'énergie par des comportements meilleurs.

- **Transparence** dans les dispositifs mis en œuvre qu'ils soient solaire thermique ou photovoltaïque, éolien, puits canadien ou autres :

- Possibilité de visiter les installations,
- Synoptiques animés,
- Maquettes interactives,
- Accessibilité des points de mesure,
- ...

- **Implication** des classes scientifiques SI, STI et STS et de l'ensemble des équipes pédagogiques dans le montage et l'exploitation du projet.

- Production et maîtrise de l'énergie,
- Automatisation,
- Réseaux Informatiques et Communication,
- Aspects économiques, enjeux
- ...

Cette expérimentation à l'échelle 1 permettra de compléter le dispositif pédagogique déjà engagé sur la **production et la maîtrise de l'énergie** tout en réalisant des économies d'énergie significatives.

Au-delà d'une vitrine d'exposition, ce projet a pour ambition de constituer un outil opérationnel pour la mise en œuvre des énergies renouvelables, véritable centre de ressources dans ce domaine pour recevoir les classes d'autres établissements scolaires et de permettre ensuite un suivi en temps réel via un réseau d'information et de mutualisation.

5. Conclusion

De nombreux projets sont également à l'étude actuellement. A titre d'exemple une réflexion est en cours pour optimiser les équipements d'éclairage des ateliers pédagogiques par automatisation, gradation et remplacement des lampes. L'ambition étant de tirer les enseignements d'une première phase expérimentale avant d'étendre le dispositif à l'ensemble des ateliers.

Les choix techniques et pédagogiques présentés dans ces pages traduisent la volonté de rechercher la meilleure adéquation à un contexte économique et environnemental local et mondial tout en suivant le cadre des référentiels de formation. Il s'agit également de renforcer l'image de la filière STI / STS électrotechnique en affichant auprès du grand public, et particulièrement des collégiens, la pertinence de ces nouvelles orientations.

Pratiques pédagogiques au lycée Le Likès de Quimper

C. LE FLOCH, R. LE NAOUR, P. TANGUY, J.J. AUTRET

J.F. MAZE, CHEF DE TRAVAUX DU LYCEE TECHNOLOGIQUE INDUSTRIEL

Lycée Le Likès, Quimper

Contact : jean-françois.maze@likes.org

Résumé : *Les établissements scolaires doivent donner l'exemple de l'innovation en usant de situations pédagogiques et de supports d'apprentissage innovants. Ainsi, le LIKES s'est équipé, avec le concours du Conseil Régional de Bretagne, d'EDF et de l'ADEME, d'une plate-forme « énergies renouvelables » qui associe sur le même site l'éolien et le solaire. L'intérêt de cet équipement est qu'il met en œuvre des surfaces de capteurs similaires à celles que l'on trouverait sur une habitation et qu'il propose, sur un même site, des applications complémentaires et des technologies différentes. Nous sommes donc allés au-delà du pédagogique, suscitant ainsi l'intérêt des professionnels et de divers publics. Mais avant tout, cet outil permettra une formation aux évolutions technologiques et une préparation des jeunes aux métiers émergents. Dans cet article sont ainsi donnés quelques exemples d'applications pédagogiques développées au lycée.*

1.Introduction

La « **maison des énergies renouvelables** » est un équipement de pointe mis en place avec l'aide du Conseil Régional de Bretagne, en partenariat avec EDF et l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie).

1.1. Rappel

La Région Bretagne, EDF et l'ADEME (dans le cadre du programme **édéa** BRETAGNE) ont contribué à équiper 5 Lycées, sélectionnés en accord avec l'Académie de Rennes, d'une plate-forme pédagogique dédiée aux énergies renouvelables. Ces plates-formes associent, sur un même site, l'éolien et le solaire (thermique et photovoltaïque).

L'équipement du Lycée **Le LIKES** a deux fonctions essentielles.

Tout d'abord, c'est un **outil de formation et d'information** :

- Point de convergence des formations techniques de l'établissement, du LP et du LT, du CAP au BTS (Electronique – Electrotechnique – Productique Mécanique – Techniques de l'Architecture)

- Centre de ressources « énergies renouvelables » pour une sensibilisation aux questions d'énergies et de préservation de l'environnement (tout public).
- Plateforme « métiers » (installateurs, architectes...)

Ensuite c'est un **outil de production** par raccordement au réseau interne de l'établissement.

Au-delà des formations technologiques du LEGT et du LP, des classes de seconde (option ISI et ISP) et des élèves de la section S (option SI), c'est tout l'établissement qui est concerné (y compris le collège) pour une éducation relative à l'environnement, au développement durable, à la maîtrise de l'énergie (EEDD).

1.2. Situation de la plate-forme

La « maison des énergies renouvelables », d'une surface au sol de 53 m², se situe en toiture terrasse, au centre de l'établissement. L'emplacement est idéal, offrant une exposition maximale au soleil, même en hiver (vérification par simulation informatique de l'ensoleillement).

Le local abrite le matériel de conversion d'énergie, les équipements d'acquisition et de mesurage (données

météo - électriques - mécaniques...) et sert aussi de lieu d'exposition permanente (panneaux explicatifs sur les ENR mises en œuvre et les autres formes de production d'énergies, comparaison avec les énergies fossiles...).

L'équipement a été installé par les élèves/étudiants, avec l'assistance technique de l'entreprise sur place, au démarrage de chaque phase.

Quant à l'éolienne, d'une puissance appropriée au site, elle se situe au point le plus haut de l'établissement, pour une production la plus régulière possible, avec le souci d'une intégration visuelle harmonieuse.

1.3. Exploitation pédagogique

L'équipement a été pensé pour permettre, au-delà de la compréhension des processus de conversion d'énergie :

- la comparaison de technologies différentes :
 - verre/tehdar et bi-verre
 - nombre de modules différents à surfaces égales
 - batteries « gel » et batteries « plomb »
- la mise en œuvre des applications principales de l'énergie solaire :
 - photovoltaïque raccordé au réseau (sécurisé et non sécurisé)
 - photovoltaïque autonome
 - chaudière solaire et chauffe-eau solaire (en cours d'installation)
- la vérification de la complémentarité des moyens de production :
 - photovoltaïque et éolien

1.4. Description de l'équipement

Une éolienne EPR 3.5 (AUTON'HOME Productions) pour une production de 3 à 6 kWh/jour (soit pour 5 kWh/jour une production annuelle de 1500 kWh) associée à un régulateur, un parc batteries et un onduleur autonome 230 V.

- $\varnothing = 3,5$ m / bipale
- $P_{nom} = 0,5$ kW / génératrice synchrone - aimants permanents - triphasée 220 V
- vitesse de rotation 170 tours/minute
- démarrage de l'hélice = 2,1 m/s
- pylône pivotant et haubané : h = 8 m

L'éolienne est placée au point le plus haut de l'établissement (23 m). Le rotor est donc à 31 m du sol.

La chape du pied de mât repose sur une plaque inertielle de 250 kg, isolée de la terrasse par des silent-blocs. Les différents éléments ont été calculés par une analyse vibratoire, afin de filtrer au mieux les fréquences générées par la rotation des pales et de la génératrice. Les haubans sont fixés à des supports équipés d'amortisseurs.

Un local technique (surface : 53 m²) construit selon la démarche HQE (Haute Qualité Environnementale) qui porte les capteurs solaires :

En toiture :

- 15 m² de capteurs thermiques, associés à une chaudière solaire à appoint électrique (9 kW) pour une production d'eau chaude sanitaire (par échangeur à plaques) et chauffage par plancher chauffant basse température du bâtiment de 53 m².

En façade :

- 21,8 m² de modules photovoltaïques » d'une puissance crête de 2720 Wc, pour une production d'énergie électrique annuelle estimée à 1700 kWh.
(tient compte de la surface - de l'exposition - du rendement des panneaux - du nb d'heures d'ensoleillement - de la puissance solaire locale).

L'acquisition de données est réalisée par un enregistreur de données ENERGRID et le logiciel GRIDSOFT. Les informations recueillies (données météo - électriques - mécaniques...) sont accessibles sur Internet (<http://enr.likes.org>). Un afficheur « ECLIPSE » permet une information « grand public », sur la production d'énergie électrique « photovoltaïque » injectée dans le réseau.

1.5. Particularités de l'installation

Les modules photovoltaïques proposent 2 technologies différentes : verre/tehdar et bi-verre.

Le matériel installé et l'organisation de l'équipement montrent deux applications différentes du photovoltaïque :

- Application type « Site raccordé au réseau » : production d'électricité et renvoi sur le réseau (maintien de l'alimentation électrique du bâtiment en cas de coupure réseau par l'équipement CONNECTIS SAFE) :
 - CONNECTIS SAFE : 12 modules bi-verre PWX 850 t de 85 Wc (surface : 8,3 m² - puissance 1020 Wc associés à un

onduleur/chargeur de 1500 VA et un parc batteries « gel » : 48 V / 180 Ah)

- CONNECTIS : 6 modules verre/tecllar TE 1700 de 170 Wc (surface : 8,1 m² - puissance : 1020 Wc associés à un onduleur de 1100 VA

- Application type « Site isolé » : auto production d'énergie électrique en association avec l'éolienne
- 4 modules verre/tecllar TE 1700 de 170 Wc (surface : 5,4 m² - puissance : 680 Wc) à inclinaison variable, associés à un régulateur, un parc batteries « plomb » (24 V/500 Ah), un onduleur de 2000 VA.

Le parc batteries et l'onduleur sont communs à l'éolienne.

2. Exemples de travaux réalisés autour de la plate-forme (BTS Electrotechnique 2ème année)

2.1 Thème 1 : Étude et réalisation d'un système de contrôle à distance d'une éolienne pour assurer sa sécurité en cas de « coup de tabac »

2.1.1 Objectifs :

Une éolienne de faible puissance (500 W) est installée sur un toit terrasse de l'établissement. L'accès au site est compliqué ; il faut trois clés différentes (ascenseur, déverrouillage échelle, porte terrasse). L'éolienne n'étant pas en situation « normale », il est conseillé de ne pas laisser tourner l'engin en production pour des vents supérieurs à 70 km/h (20 m/s). Il suffit pour cela d'effectuer une mise en « drapeau », par action sur le levier de frein placé sur le mât. En cas d'avis de tempête, vents supérieurs ou égaux à 90 km/h, il est préférable de coucher l'éolienne (mât inclinable).

Le projet de BTS Electrotechnique consiste à mesurer la force du vent, vérifier l'état de la chaîne cinématique, éviter la surcharge des batteries et permettre la mise en drapeau automatique (ou manuelle à distance).

2.1.2 Situation du système :

L'éolienne fait partie d'une plate-forme « énergies renouvelables » où plusieurs applications sont associées :

- Production d'énergie thermique (capteurs thermiques pour le chauffage d'une « maison » et production d'Eau Chaude Sanitaire - ECS)
- Production d'énergie électrique :
 - photovoltaïque raccordé au réseau EDF (16 m²)
 - photovoltaïque autonome (5 m²) + éolienne (régulateurs ⇔ batteries ⇔ onduleur autonome 230 V)

2.1.3 Problèmes à résoudre :

a- Surcharge des batteries :

L'association de l'éolienne et des modules photovoltaïques devra permettre de vérifier la complémentarité des moyens de production, indispensable sur un site isolé.

Nous sommes dans un contexte pédagogique, et la consommation peut être inférieure à la production. Cela se traduit éventuellement par une surtension des batteries, due notamment à la production éolienne. La résistance de dissipation du régulateur de charge de l'éolienne, permet d'évacuer le surplus mais n'est pas dimensionnée pour travailler en permanence. Il est donc prévu de dissiper le « trop d'énergie » dans un banc de charge connecté automatiquement, ou de mettre en drapeau l'éolienne si ce n'est pas suffisant.

b- Comptage de l'énergie :

Si un enregistreur de données, permet de suivre la production du « photovoltaïque raccordé », il n'y a pas de mesurage sur la production site isolé. On devra donc mesurer la tension et le courant en sortie du régulateur de l'éolienne pour obtenir la puissance et l'énergie récupérée (estimation par intégration journalière).

c- Contrôle de la chaîne cinématique :

Le multiplicateur entre le rotor (pales) et l'alternateur est constitué de deux étages de courroies plates. En cas de rupture, la mise en drapeau évitera vitesse et vibrations excessives.

Un diviseur de fréquence en sortie de l'alternateur permet à l'automate de connaître la vitesse de rotation des pales :

SI vent ET pas drapeau ET fréquence inférieure seuil bas ALORS rupture courroie ⇔ mettre en drapeau et avertir par courriel.

2.1.4 Choix des équipements :

Les fonctions d'automatisme sont simples mais nécessitent des entrées analogiques (vent, tension, courant) : le choix s'est porté sur un automate **Crouzet Millennium II**.

La communication à distance impose l'utilisation d'un serveur web avec gestion de messagerie, protocole ftp : le choix s'est porté sur un module **eTice** de la société Mirelec (cf. figure 1).

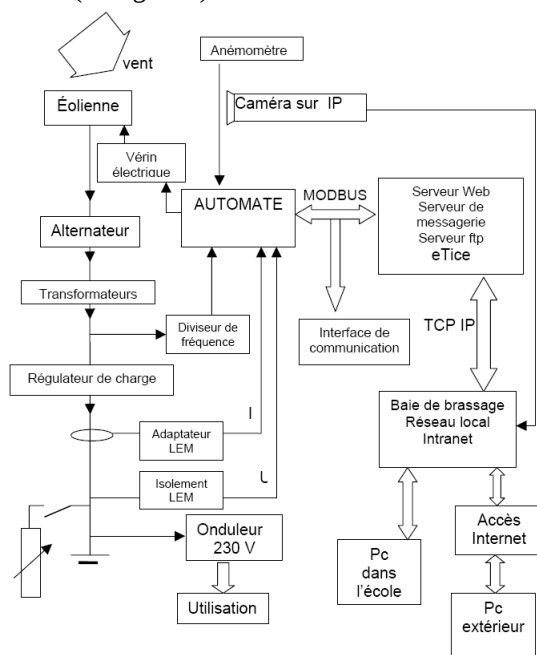


Figure 1 : Synoptique de l'installation

La mesure du vent (valeurs instantanée et moyenne) se fait de façon précise et fiable avec un **anémomètre à ultrasons**. Cet appareil offre la fonction girouette, mais de peu d'intérêt dans notre cas : la « rugosité » environnante (présence de bâtiments) se traduit par des perturbations importantes du vent qui ne permettent pas une information fiable sur la direction des vents.

La commande mécanique de la mise en drapeau est assurée par un **vérin électrique**, qui sera monté de façon à permettre le maintien de la commande manuelle au pied du mât (sécurité).

2.1.5 Bilan :

Au-delà de l'amélioration de la sécurité de l'équipement, la réalisation a conduit les étudiants à mettre en œuvre des protocoles de communication, qui sont de plus en plus présents dans la réalité industrielle (MODBUS, TCP IP)

D'autre part, si la programmation de l'automate est simple, l'intégration de pages HTML, la gestion de messagerie ont permis d'élargir le champ de leurs connaissances par une approche des outils de communication internet.

2.2. Thème 2 : Étude et réalisation du système d'orientation d'un champ photovoltaïque

Une partie de l'équipement de la plate-forme « énergies renouvelables » est une application de type

« site isolé » : des modules photovoltaïques, en association avec une éolienne permettent une auto production en énergie électrique (cf. figure 2).

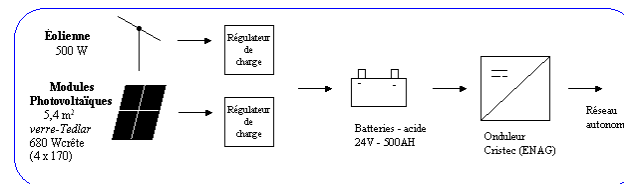


Figure 2

Le champ photovoltaïque de 5,4 m² et d'une puissance de 680 Wc est constitué de 4 modules TE 1700 de 170 Wc (technologie verre/tehdar) ; la tension nominale est de 24 V. Ces modules sont associés à un régulateur de charge et un parc « batteries » (24 V/500 Ah). Un onduleur CRISTEC de la société ENAG, fournit la tension de 220 V sur un réseau autonome.

Pour étudier l'incidence de l'orientation des capteurs sur le rendement, le champ photovoltaïque sera réglable en inclinaison. L'angle d'inclinaison recherché sera obtenu par un dispositif mécanique mu par un motoréducteur.

Le projet de **BTS Electrotechnique** consiste à étudier et réaliser le système permettant de faire varier l'élévation du capteur (cf. figure 3). La possibilité de réaliser une orientation sur deux axes a été abandonnée, vu la complexité de la réalisation mécanique.

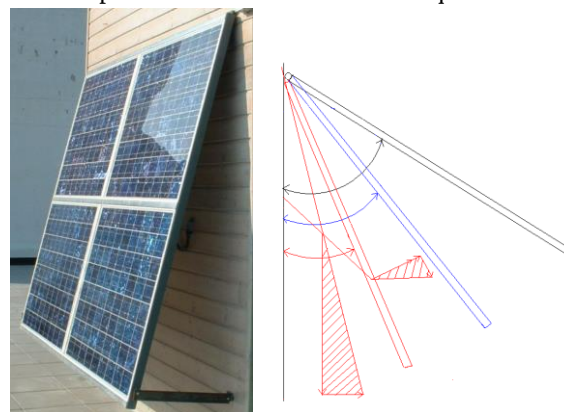


Figure 3 : Inclinaison des panneaux

Les calculs de forces ont été réalisés pour pouvoir déterminer le meilleur actionneur.

Couple à 15° : 184 N.m

Couple à 30° : 280 N.m

Couple à 40° : 216 N.m

2.2.1 Solutions d'entraînement envisagées :

a- Inclinaison par vérins :

La solution est facile à mettre en œuvre ; elle ne demande pas grande modification du châssis existant.

Problème : trouver des vérins d'une course de 1000 mm. Coût : 2980 € HT.

b- Inclinaison par motoréducteur et bras (cf. figure 4) :

Une solution simple d'application mais qui nécessite toutefois beaucoup d'effort à l'ouverture des panneaux, créant ainsi de la torsion sur les bras.

Coût : motoréducteur et variateur : 2435 € HT

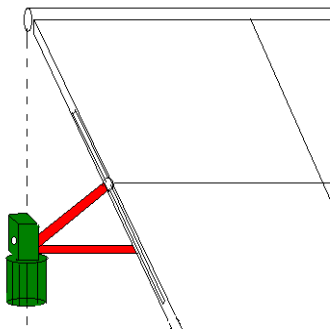


Figure 4 : Inclinaison par motoreducteur+bras

c- Orientation par motoréducteur et chaînes (cf. figure 5) :

Une grande structure à mettre en place, mais un système très efficace ne nécessitant pas de grand effort au démarrage.

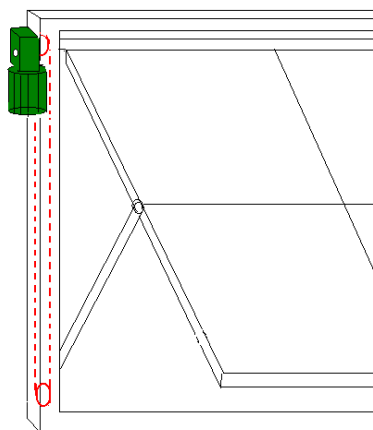


Figure 5 : Orientation par motoreducteur+chaîne

L'ensemble est encadré par un U en aluminium, qui rigidifie la structure et dissimule très bien le système mécanique quand les panneaux sont fermés.

Le système est discret, avec une longévité accrue et sans gros entretien.

Coût : Structure + motorisation + variateur : 1665 + 745= 2945 € HT.

Cette solution est validée.

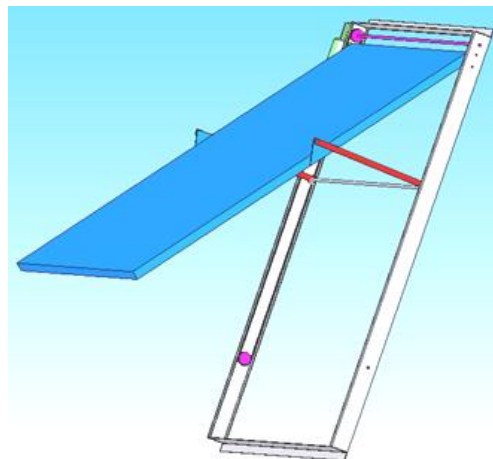


Figure 6 : Solution retenue

2.2.2 Choix de l'actionneur :

Les logiciels SolidWorks et Mécanalyst ont permis de simuler le fonctionnement de l'ensemble, d'effectuer des essais virtuels, de déterminer les forces, et de définir les pièces avant réalisation.

Le cadre de l'ensemble est obtenu à partir d'un profilé en U, en aluminium de 125 mm. Deux arbres solidaires de blocs aluminium usinés permettent de créer la rotation du panneau.

La transmission se fait par un ensemble pignons-chaînes (cf. figures 7 et 8).

L'actionneur sera le motoréducteur LEROY-SOMER : LSMV71L MB 2201 + codeur, piloté par un variateur UNIDRIVE SP avec une solution de positionnement.



Figure 7 : Détail de l'entraînement



Figure 8 : Montage

2.2.3 Structure de la commande :

La structure générale de la commande est illustrée par la figure 9. Le positionnement du panneau sera effectué par une carte additive LEROY-SOMER « SM-POS ».

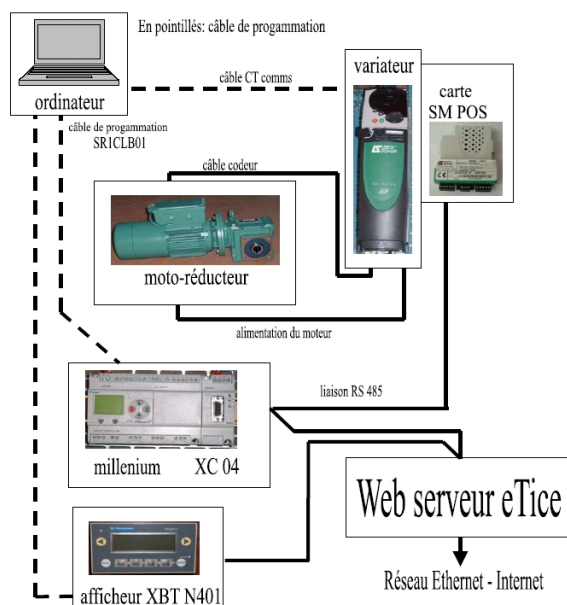


Figure 9 : Synoptique de la commande

Plusieurs fonctionnements sont envisagés :

- mode « manuel », qui par l'intermédiaire du variateur et de deux boutons « montée et descente » permettra le mouvement des panneaux en manuel.
- mode « mesure » qui permettra de faire les mesures de puissance, intensité et tension par paliers de 5 degrés, commandé à partir de l'afficheur.

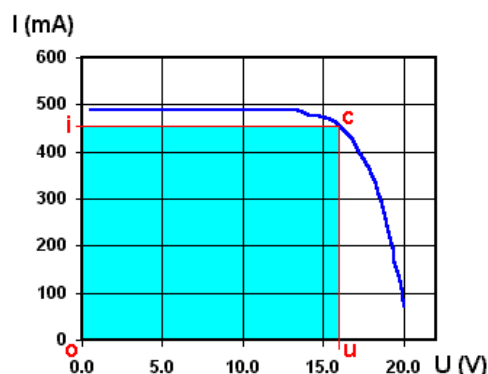


Figure 10 : Caractéristique courant-tension des panneaux

- mode « rendement » qui recherchera le rendement maximal des modules soit :

- à partir d'une table téléchargée depuis Internet à travers un module eTice ;
- par une recherche du point maximum de fonctionnement (MPPT) - la puissance maximale se situe au point C sur le graphique de la figure 10.

Ci-dessous : exemples de tables

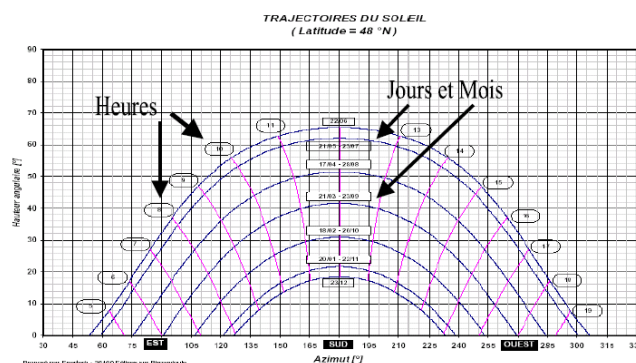


Figure 11 : Trajectoire du soleil (latitude 48° nord)

Date	Aube civile	Lever du Soleil	Midi local	Coucher du Soleil	Crépuscule civil	Illumination (heures)		
						Jour	Ciel	Total
1 jun	4:14	4:49	12:23	19:57	20:32	15.14	1.15	16.29
2 jun	4:14	4:48	12:23	19:58	20:33	15.17	1.15	16.32
3 jun	4:13	4:48	12:23	19:59	20:33	15.18	1.15	16.34
28 jun	4:13	4:48	12:28	20:08	20:43	15.33	1.17	16.50
29 jun	4:13	4:49	12:28	20:08	20:43	15.32	1.17	16.49
30 jun	4:14	4:49	12:29	20:08	20:43	15.31	1.17	16.48

Tableau 1 : Exemple d'éclairement (Longitude = 81° 13.8' ouest, Latitude = 42° 58.8' nord)

2.3.4 Communication :

Une liaison RS 485 permet d'échanger diverses informations sous protocole MODBUS :

- d'Internet vers l'automate MILLENIUM _ via le module de communication MODBUS XC04 (tables de position du soleil).
- de l'automate vers la carte SM POS _ pour transmettre la position désirée au variateur.
- les données pour affichage, ou les ordres de commande _ entre l'automate, le variateur et l'afficheur.
- une liaison avec la gestion de l'éolienne, qui elle aussi est reliée au réseau Ethernet à travers le module eTice (pour que prochainement toutes les données du site isolé soient disponibles sur Internet).

2.3.5 Bilan :

Au-delà de la vérification concrète de l'incidence de l'inclinaison d'un module photovoltaïque sur le rendement, cet équipement servira aux étudiants de BTS à se familiariser avec des solutions empruntées à l'informatique industrielle et

aux réseaux de communication. Il s'agit là d'une ouverture en accord avec la mise en œuvre du nouveau référentiel du BTS Electrotechnique.

3. Travail de la section Baccalauréat Professionnel « Maintenance des Appareils et Equipements Ménagers et de Collectivités » (MAEMC)

Le projet présenté concerne la transformation d'un **lave-linge** classique pour une alimentation directe en **eau chaude « solaire »** pour une utilisation en site isolé.

Ce travail a été réalisé par les élèves de 1^{ère} bac pro MAEMC du Likès dans le cadre des projets pluridisciplinaires à caractère professionnel (PPCP).

Les objectifs de ce travail sont les suivants :

- Montrer qu'il est possible d'utiliser un lave-linge sur un site isolé ;
- Proposer une solution simple qui s'inscrive dans le cadre des économies d'énergie ;
- Adapter un lave linge classique avec arrivée d'eau froide unique, en une machine équipée d'une entrée d'eau chaude (production solaire) et d'une entrée d'eau froide ;
- Installer ce lave-linge à la « maison des énergies renouvelables » du lycée et le relier aux capteurs solaires thermiques situés sur le toit ;
- Rédiger une notice explicative illustrée par des croquis, schémas et photos ;
- Mettre en forme et réaliser un support technique fini.

3.1. Pourquoi le lave-linge ?

Le choix de l'application lave-linge a été guidé en particulier par les considérations suivantes :

- Environ 80% de l'énergie consommée par un lave-linge, est consacrée au chauffage du bain lessiviel. Le chauffage, sur un lave-linge actuel, ne concerne qu'entre 10 et 15 litres d'eau.
- La plupart des cycles de lavage se font à des températures de 40°C à 60°C.
- La puissance des thermoplongeurs utilisés est de l'ordre de 2 à 2,2 kW.
Sans chauffage, la puissance nécessaire est au maximum de l'ordre de 400 W.

3.2. Contraintes liées à l'utilisation du lave-linge en site isolé

Sur notre site, nous ne disposons que d'un onduleur de 2 kVA, qui rend impossible la connexion du lave-linge sans modification.

Désactiver le chauffage permet de faire passer l'intensité maxi de 10 à 2 ampères.

Le problème réside alors dans la production d'eau chaude.

Le chauffe-eau solaire doit être à même de produire cette eau chaude, et l'éventuel complément nécessaire pour atteindre le minimum de 50°C (pour neutraliser le développement bactérien) peut être assuré par un élément de 1000 W (en règle générale on dispose de 3 éléments d'1 kW et d'un jeu de barrettes de couplage autorisant l'alimentation sur réseau mono ou triphasé). Cette faible puissance ne permet que d'obtenir un appoint si nécessaire. Elle a l'avantage de ne pas surcharger le circuit, et peut se faire la nuit à l'aide d'un programmeur.

3.3. Contraintes liées aux lave-linge disponibles sur le marché

En France, (contrairement au Royaume-Uni) il n'existe que très peu d'appareils équipés d'origine pour l'eau chaude. Nous serons donc amenés à rajouter une électrovanne dédiée à l'eau chaude.

L'idéal serait que le lave-linge fasse appel à cette électrovanne, lors de la phase lavage ; il est inutile d'utiliser de l'eau chaude pendant les rinçages.

Nos appareils ne sont pas conçus pour répartir l'admission d'eau sur les deux entrées en fonction de la température souhaitée. Il sera donc nécessaire d'installer (en amont de l'électrovanne d'eau chaude) un mitigeur, sur lequel l'utilisateur réglerait la température de consigne qui correspondra à celle du cycle choisi. Ceci permettra de faire des cycles à froid, 30°, 40°, 60°C même si la température fournie par le chauffe-eau est plus élevée.

3.4. Quels appareils sont modifiables ?

La prise d'eau dans un lave-linge se fait par un bac à produit en fonction du produit lessiviel nécessaire dans la phase du cycle : prélavage, lavage, produit chloré, assouplissant.

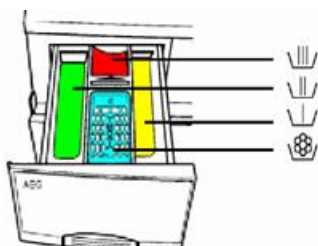


Figure 12 : Bac à produits lessiviels



Figure 13 : Appareil équipé d'un distributeur d'eau (1 seule électrovanne)

Il existe sur le marché de nombreux appareils équipés d'une seule électrovanne associée à un distributeur qui injecte l'eau vers le bac à produit concerné (cf. exemple figure 13). L'alimentation eau chaude sur un tel appareil ne paraît pas judicieuse, tout le cycle se faisant alors à chaud.

Sur les autres appareils, l'admission d'eau se fait par 2, 3 ou 4 électrovannes reliées directement aux compartiments à produit (cf. figure 14). Selon le fabricant on peut avoir une électrovanne par produit, mais très souvent la prise d'un des produits (assouplissant ou chloré) se fait par action combinée de deux jets.

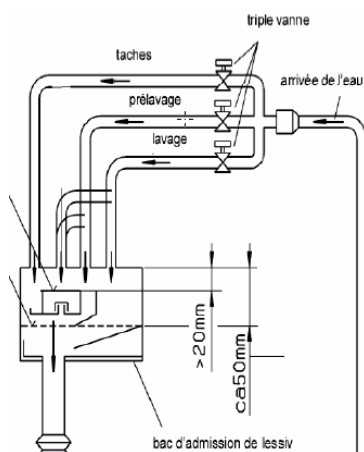


Figure 14 : Croquis d'un appareil à 3 électrovannes

L'idéal est d'avoir une électrovanne par compartiment, ce qui permettra de connecter l'électrovanne d'eau chaude à la place de l'électrovanne de lavage (bac II). Dans la pratique on sera souvent amené à connecter l'électrovanne dédiée au bac de lavage, mais elle sera

aussi utilisée lors de la prise de l'assouplissant ou du produit chloré, conjointement à l'électrovanne de prélavage.

Dans cette configuration, le lavage se fera à l'eau chaude, tandis qu'un (ou deux) des rinçages se fera avec un mélange eau chaude eau froide.

3.5. Comment identifier son appareil ?

Il est nécessaire de repérer le nombre d'électrovannes. Sur les lave-linge à chargement par le dessus, vérifier s'il y a un injecteur d'eau à l'entrée des bacs à produit. Si c'est le cas, la modification est impossible.



Figure 15 : Durites d'entrée d'eau

Il existe également des appareils à chargement frontal équipés d'injecteurs (Whirlpool, Baucknecht....) .

Par contre de nombreux appareils d'autres marques permettent la modification : Electrolux, Arthur Martin, AEG, Faure, Brandt, Thomson, Vedette, Bosch, Siemens, Miele, LG, En règle générale la modification est plus simple à réaliser sur des appareils à chargement frontal.

En retirant simplement le Top on voit facilement le nombre d'électrovannes, et il est alors aisé de repérer laquelle est reliée au bac Lavage (II).

Dans de nombreux cas, la longueur des durites est suffisante pour se connecter à la nouvelle électrovanne. Par contre une adaptation est souvent nécessaire pour l'alimentation électrique de l'électrovanne.

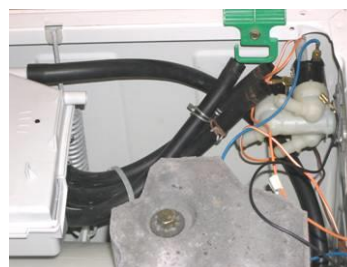


Figure 17 : Dispositif à 3 électrovannes



Figure 16 : Dispositif à 2 électrovannes

Il ne reste plus qu'à connecter l'électrovanne d'eau chaude à un robinet thermostatique, sur lequel on réglera la température de consigne, identique à celle choisie dans le cycle de lavage.

3.6. Un exemple de réalisation

Sur les figures 18 et 19 est indiqué le modèle de lave linge modifié.



Figure 18 : Modèle de lave-linge modifié



Figure 19 : Modèle présenté

La modification d'un lave linge classique en un lave linge « solaire » devra suivre les étapes suivantes :

1. Démonter le panneau du haut (top) du lave-linge
2. Modifier les électrovannes :
 - a) l'électrovanne qui sert pour le lavage sera remplacée par une électrovanne permettant l'arrivée d'eau chaude.

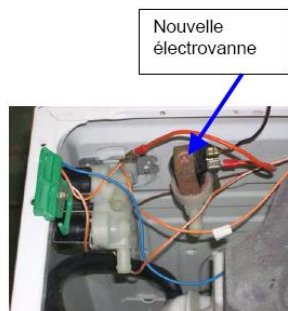
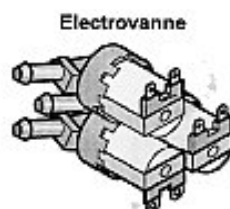


Figure 20 : Implantation de l'électrovanne « eau chaude »

- b) Il est nécessaire de tourner l'électrovanne d'origine d'un demi-tour vers le panneau latéral afin de laisser de la place pour fixer la nouvelle électrovanne d'eau chaude.
- c) Ensuite connecter la durite de la vanne de lavage sur cette nouvelle vanne de même débit (6,7 l/min).

Voir document ci-dessous.



Permet le remplissage du lave-linge et la prise des produits.

Les électrovannes en série avec la pompe de vidange sont alimentées par la carte électronique.

- 220 - 240 V~
- 3,7 kΩ
- 3 voies
 - EV1 : Prélavage
 - EV2 : Lavage
 - EV3 : Assouplissant
- 6,7 l/min.
- Pression d'arrivée d'eau : 1 à 10 bars

Figure 21 : Caractéristiques de l'électrovanne

3. Intervenir sur le câblage.

Repérer les fils qui alimentaient l'électrovanne « lavage froid », puis les brancher sur la nouvelle électrovanne en rajoutant si besoin une rallonge de fil orange.

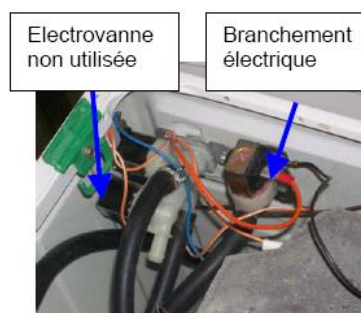


Figure 22 : Câblage des électrovannes

A la fin de ces modifications, l'eau chaude arrive dans les phases de lavage.

Le lavage consomme 15 litres et le rinçage 8 litres. Le premier rinçage s'effectue à l'eau chaude.

Chaîne de conversion solaire-photovoltaïque

V. LEGER (*), D. GATEL (*), J. PICHON (**), K. PELLION (*), Y. Vincent (*), J. ESCASSUT (*), T. VIGNAL (*), B. LEQUILLEUC (*)

(*) Lycée Maupertuis – St Malo, (**) Lycée La Fontaine les Eaux, Dinan

Contact : Valerie.Leger@ac-rennes.fr

Résumé : Dans le cadre de la réforme des sections de STS Electrotechnique, des baccalauréats STI Génie Electrique et du développement durable, le lycée Maupertuis a développé un enseignement et un équipement spécifiques à l'étude de la production électrique par l'énergie solaire. Nous proposons dans cet article un résumé de cours sur le dimensionnement des installations solaires photovoltaïques, une présentation d'une maquette didactique réalisée en interne au lycée par la section STS Electrotechnique ainsi qu'un des travaux pratiques que nous avons développé sur l'orientation des modules photovoltaïques, préambule nécessaire à toute étude d'installation solaire (électrique comme thermique).

1. Introduction

Dans le cadre de la promotion des Energies renouvelables, et afin de former des techniciens à ces nouvelles énergies, 5 établissements bretons ont été dotés de plates-formes comprenant un système éolien, solaire thermique et solaire photovoltaïque. Ces plates-formes ont été cofinancées par la Région Bretagne, l'EDF et l'ADEME. Après 3 années, le lycée Maupertuis à Saint Malo a décidé de développer plus particulièrement l'enseignement relatif aux installations solaires photovoltaïques.

En effet, ce sont celles qui demandent le moins de compétences pluridisciplinaires tels que les couvreurs (pour le solaire thermique), ou le génie civil pour les systèmes éoliens (installation et maintenance) dont nous ne disposons pas dans nos lycées.

Certains collègues ont donc suivi une formation spécifique proposée par l'ADEME (formation Photon 2005) et dispensée par des professionnels du domaine.

Nous avons ainsi pu faire un cours de dimensionnement et développer des TP très concrets alliant la physique appliquée et la technologie en BTS Electrotechnique. A l'issue de ce module, les étudiants de BTS Electrotechnique sont capables de dimensionner et d'installer une installation photovoltaïque isolée ou raccordée réseau.

Dans le cadre de cet enseignement, nous avons travaillé sur un programme Excel de dimensionnement alliant les notions de Maîtrise de la Demande Energétique (MDE) et d'Efficacité Energétique (EE) au dimensionnement d'installations (choix de la puissance

crête installée, choix des régulateurs et éventuellement accumulateurs électrochimiques, câbles, protections).

Nous avons alors pensé à la conception d'une maquette pédagogique modulable convenant à différents niveaux, de la 2nde au BTS Electrotechnique. Ce prototype a été réalisé, sur la demande de M. Martinat, IPR de STI, par l'équipe enseignante pilotée par M. Dennequin, chef de travaux au lycée Maupertuis (souvent à l'initiative de ce genre de réalisations telle la maquette Risquelec).

Nous allons développer nos deux réalisations après un résumé du cours de façon à exploiter au mieux le programme Excel et la maquette pédagogique. Nous développerons également un TD – TP sur le choix de l'orientation des modules.

Nous précisons que ceci prend place à travers des notions plus générales sur le développement durable. En effet, le développement durable est une notion dont le nom est connu mais pas le fond ni les applications (en France, cela se traduit par les déclinaisons de la Charte de l'Environnement à travers les agendas 21). Notre enseignement se positionne sur l'axe Energie, mais nos élèves travaillent également de manière plus générale sur le sujet.

2. L'énergie lumineuse

2.1. Puissance reçue

Elle est définie par unité de surface et c'est en W/m^2 (bien sur il faudra ensuite moyenner sur la journée pour retrouver tout ça en énergie). Un solarimètre ou un luxmètre permettent de mesurer cette puissance lumineuse.

Quelques ordres de grandeurs :

→ Extérieur

Grand soleil : 1000 W/m^2

Couvert haut : 400 à 500 W/m^2

Pluie : 50 W/m^2

→ Intérieur : en lux typiquement 300 lux (soit 300 lumens/m^2)

Correspondance : $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$ et $100000 \text{ lux} = 1000 \text{ W/m}^2$

2.2. Energie lumineuse

Elle dépend du nombre d'heures d'ensoleillement. On se doute bien ensuite qu'il faudra s'intéresser à l'orientation.

On l'exprimera en kWh/m^2 (et s'il s'agit de l'ensoleillement journalier, ce sera par jour en plus).

On trouve des tableaux ou des cartes d'ensoleillement journalier hiver / été.

Remarque : On parle d'heures équivalentes. En effet, on estime le potentiel à 1000 h équivalentes de plein ensoleillement par an dans le nord de la France (on va jusqu'à 1700 dans le sud est de la France). Donc on peut faire une estimation de la production annuelle par rapport à la puissance crête choisie.

2.3. Élément de conversion

La cellule photovoltaïque assure la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique de type continue. Assemblées en série (et parfois en parallèle), on obtient un module. Plusieurs modules forment un champ.

2.4. Module solaire

Il s'agit ici d'analyser les documents constructeurs sur des exemples. Ces derniers indiquent pour le module SM – 110 – 24 V (Total Energy) :

Dimensions S	0,9 m^2
Pc STC	110 W
Tension	24 V
Tension de circuit ouvert	42 V
Tension à puissance max.	35 V

Les conditions de test STC (Standard Test Conditions) correspondent à 1000 W/m^2 , 25°C en température de jonction. Les tests sont réalisés avec des éclairagements flash, mais concrètement, si la température extérieure est de 25° , sous 1000 W/m^2 , la température de jonction est sans doute de $45 - 50^\circ \text{C}$ en jonction (sous le module)) et les caractéristiques seront modifiées. Il faudra tenir compte de cette évolution dans un coefficient de sureté lors du dimensionnement d'une installation.

On trouve aussi les caractéristiques I (courant débité) en fonction de la tension U aux bornes du module pour différents éclairagements à 25° en température de jonction (Figure 1).

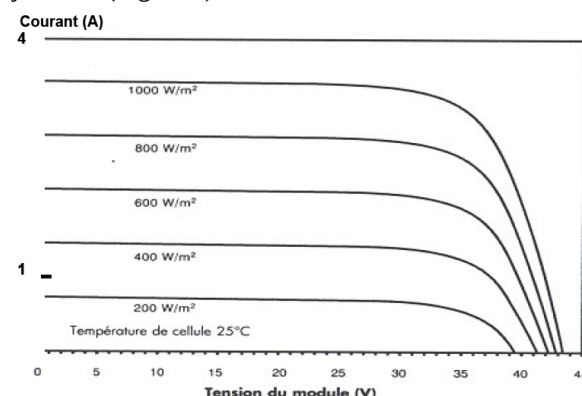


Figure 1 : Caractéristiques constructeurs STC d'un module SM110 – 24 V (multicristallin)

Le module est une source de courant proportionnelle à l'ensoleillement dans la première partie de la caractéristique puis peut être considéré comme une source de tension. On peut donc travailler en circuit ouvert comme en court circuit.

Comme nous tiendrons compte de l'influence de la température dans un coefficient, nous considérerons, comme on peut le voir sur la figure 2 que la puissance fournie est proportionnelle à l'ensoleillement.

La puissance crête de 110 W correspond à un point particulier comme l'indique la figure 2. Sur cette figure sont représentées les caractéristiques $I = f(U)$ et $P = UI = f(U)$ pour l'ensoleillement (E_s) caractéristique de 1000 W/m^2 et une température de jonction T_j de 25°C .

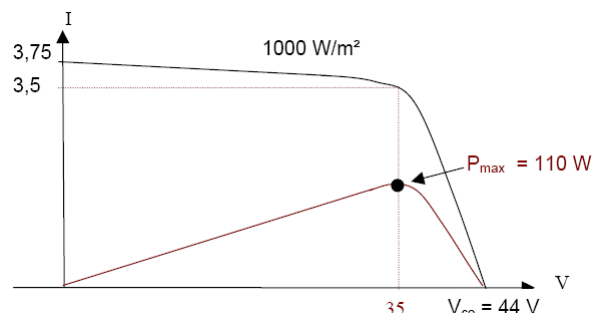


Figure 2 : Caractéristiques $I = f(U)$ et $P = f(U)$ pour $E_s = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_j = 25^\circ \text{C}$.

On constate donc qu'il existe une tension (ici 35 V) pour laquelle la puissance fournie par le PV est maximum. Cette tension varie légèrement en fonction de l'ensoleillement. La variation en fonction de la température est plus nette. Pour pouvoir être au point de puissance maximum, il faudra donc ajuster la tension aux bornes du module. C'est le principe du MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Les régulateurs DC/DC intercalés entre les modules, la charge et les accumulateurs électrochimiques peuvent avoir cette fonction. Les onduleurs réseau l'ont tous.

Le rendement (η) n'est pas indiqué dans les documents constructeurs mais se calcule avec les dimensions et la puissance crête dans les conditions STC :

$$\eta = \frac{P_c}{1000 \times S} \quad (1)$$

Pour le module exploité ici, le calcul du rendement

$$\text{donne : } \eta = \frac{110}{1000 \times 0,9} \text{ soit } 12\%.$$

On trouve 3 technologies de modules, modules au silicium monocristallin, multi (ou poly) cristallin et amorphes (cités dans l'ordre décroissant de prix et de rendement).

Les rendements laboratoires (souvent supérieurs aux rendements réels) sont de 18 à 20% pour le cas des modules monocristallins, 12 – 13 % pour les polycristallins et environ 10 % pour les modules amorphes.

On trouve des modules de 5 W à 200 Wc (et même 280 Wc pour les raccordés réseau, ces derniers sont de la taille d'une porte).

Les champs de modules ont une puissance crête qui peut aller jusqu'à 20 kW. En France, classiquement pour les sites isolés, on trouve 3 kW installés. 1 kW représente environ 10 m².

3 - Dimensionnement

3.1. Les architectures – les différentes étapes

Le dimensionnement est différent suivant les 2 types de configurations (site isolé ou raccordé réseau) représentées sur les figures 3 et 4.

B_j représentent les besoins énergétiques journaliers. Ils sont exprimés en Wh.

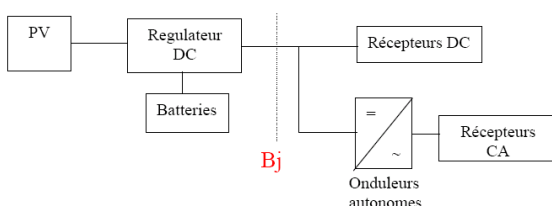


Figure 3 : Architecture site isolé

Dans le cas des sites isolés, le rendement de l'onduleur autonome est pris en compte dans l'estimation des besoins journaliers.

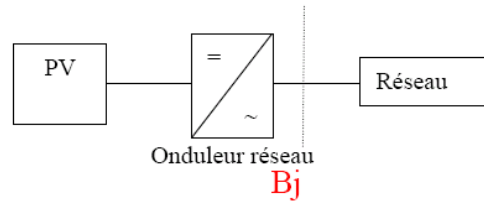


Figure 4 : Architecture raccordée réseau

Les différentes étapes de dimensionnement sont les suivantes :

- Estimation des B_j (Wh).
- Calcul de la puissance crête et de la surface de modules.
- Choix de la tension du bus continu. Le nombre de modules et la tension du bus continue impose les connections (mise en série ou parallèle) des modules.
- Dimensionnement du parc batterie s'il s'agit d'un site isolé.
- Choix des régulateurs DC dans le cas de l'utilisation d'accumulateurs électrochimiques. Remarque : par la suite, nous appellerons ces accumulateurs électrochimiques batteries.
- Choix des onduleurs.
- Calcul de la section des câbles.

3.2. La surface de module : P_c, nombre de modules

Pour calculer la puissance crête nécessaire (P_c), il faut au préalable estimer les besoins énergétiques journaliers dans la pire des configurations. Il faut se positionner en décembre dans l'hémisphère nord s'il s'agit d'une application à l'année. Il faut assurer la continuité des services.

A ce stade, il est bon de faire une étude des économies réalisables, y compris par le changement d'appareils trop « consommateurs ».

La situation géographique va permettre l'estimation de l'ensoleillement journalier (kWh/m²). La figure 5 donne l'ensoleillement (en kWh/m²) au mois de décembre pour une inclinaison à 60°.

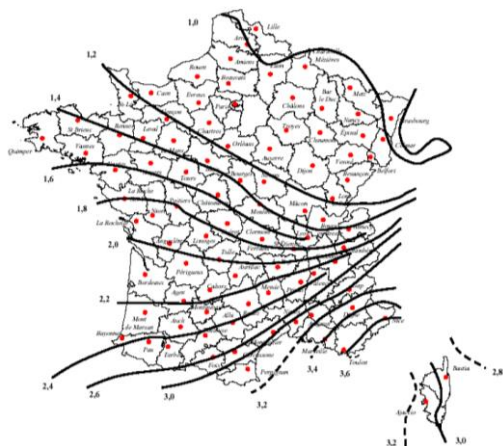


Figure 5 : Ensoleillement (en kWh/m²) au mois de décembre pour un plan incliné à 60°.

La puissance crête se calcule alors par les relations (2) et (3).

En site isolé,

$$P_c = \frac{B_j}{0,6 E_j} \quad (2)$$

Remarque : le 0,6 est un coefficient de sécurité dû :

- aux conditions climatiques par rapport aux STC
- aux pertes dans les câbles
- au rendement des batteries et du régulateur DC/DC

En raccordé réseau

$$P_c = \frac{B_j}{0,7 E_j} \quad (3)$$

On peut aller jusqu'à 0,8 si l'onduleur réseau est bien dimensionné et performant.

Le coefficient de sécurité est plus proche de 1 car il n'y a ni batteries, ni régulateur DC. On aura moins de pertes.

On divise ensuite P_c par la puissance nominale d'un module, cela nous permet alors de calculer la surface nécessaire et le nombre de modules.

3.3. Dimensionnement des batteries

On trouve deux grandes familles de batteries : les batteries plomb-acide et les batteries NiCd. Ces dernières supportent une décharge intégrale, contrairement aux précédentes.

Une batterie se caractérise par :

- sa tension (2 ou 12 V pour le stockage). Si l'on a une grande capacité, on partira sur des éléments de 2V à mettre en série. (de 180 Ah à 1000 Ah, on prendra plutôt des éléments de 2V)
- sa capacité (en Ah)
- sa catégorie C10 ou C100 par exemple.

On va définir le degré de décharge DD d'une batterie comme :

$$DD = \frac{W_{fournie}}{W_{bat}} \quad (4)$$

Où W_{bat} est l'énergie totale que peut stocker la batterie et $W_{fournie}$, l'énergie qui aura été fournie à la charge.

Pour des batteries de type plomb-acide (étanches, gélifiées), on impose :

- D_j (taux de décharge journalier) < 15%
- D_p (taux de décharge profonde) < 70% sans quoi la batterie verra sa durée de vie considérablement diminuée.

Une batterie bien entretenue doit de plus être bien chargée tous les jours (si possible). Bien dimensionnée, c'est quasiment le cas, une à 2 heures d'ensoleillement doivent suffire.

On coupera les récepteurs en cas de décharge profonde (on les aura au préalable délestés)

La formule pour dimensionner la capacité nécessaire d'une batterie plomb-acide est alors :

$$X(A.h) = \frac{N \times B_j}{0,7 \times U} \quad (5)$$

où 0,7 est le degré de décharge profonde, N le nombre de jours d'autonomie et U la tension du bus continu.

Le nombre de jours d'autonomie choisi est associé à un taux de décharge journalier.

Nombre de jours d'autonomie	5	8	15
D_j	14	8,75	4,6

Tableau 1

Le nombre de jours d'autonomie sera donc au minimum de 5.

3.4. Caractéristiques batteries pour le choix des régulateurs DC / DC

Les batteries utilisées sont à 99 % des batteries plomb-acide qui ne supportent pas de décharge profonde (supérieure à 70%), et on a vu (par rapport à leur durée de vie) qu'elles dureront d'autant plus longtemps que l'on les décharge à moins de 15% par jour (15% correspondant à un nombre de jours d'autonomie minimum de 5).

Pour vérifier l'état de charge et décharge des batteries, il faudrait mesurer la quantité de courant qui rentre et celle qui sort et la durée correspondante. De tels systèmes n'existant pas sur le marché, on contrôle la tension batterie.

Nous allons établir un modèle simplifié pour permettre de comprendre l'intérêt des régulateurs DC et le choix du câblage à effectuer.

3.4.1 Modèle de la batterie

On peut considérer qu'il s'agit d'une résistance en série avec une fem liée au % de charge (ou décharge).

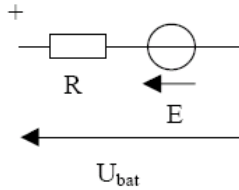


Figure 6 : Modèle de la batterie

La résistance augmente quand la batterie vieillit. En outre, la capacité d'une batterie est proportionnelle à son poids en plomb. Parmi les batteries plomb-acide étanche, on distinguera les batteries liquides des gélifiées.

Nous prendrons en exemple une batterie 12 V, 100Ah, C100, que l'on charge à C10. La résistance interne est estimée à $R = 0,1\Omega$.

3.4.2 Caractéristique à vide

C'est la tension à vide qui permet de connaître le pourcentage de charge ou de décharge de la batterie. Pour une batterie 12 V :

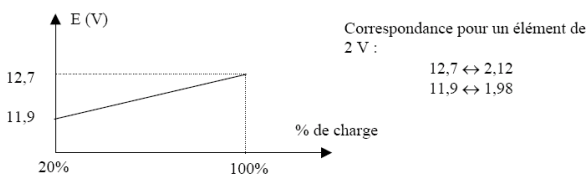


Figure 7 : Tension à vide en fonction de l'état de charge

La tension à vide est une fonction affine du pourcentage de charge (%) : une tension à vide de 12,5 V correspond à 80 % de la pleine charge.

3.4.3 En charge

On voit bien que la tension batterie sera supérieure à E. En charge, sous $I = 10$ A, lorsque la tension U vaut 13,5 V, la fem E vaut 12,5 V ce qui correspond à 80 % de charge.

Lorsque la batterie « vieillit », sa résistance interne augmente et pour une même tension U, la fem E sera plus faible et l'état de charge moins important.

Il faut être très prudent avec le niveau de tension de la batterie. On peut avoir l'impression qu'elle est chargée alors qu'à 0,3 V près c'est loin d'être le cas. Le terme en RI dérange

De même, quand la batterie prend de l'âge, le terme en RI dérange. Il faudrait être très supérieur à 13,7 ($12,7 + 0,1 \times 10$) pour être à la pleine charge.

La solution consistera alors à diminuer l'influence de RI en diminuant la tension en fin de charge, c'est ce que proposent les régulateurs PWM (MLI)

La chute de tension entre le régulateur et la batterie peut induire en erreur par rapport à son taux de charge. La batterie ne sera jamais chargée. Elle se dégradera beaucoup plus vite. Il faudra donc mettre le régulateur au plus près des batteries. Sinon, il faut prendre en compte la chute de tension à travers les câbles pour le réglage des seuils du régulateur.

Remarque : Un module photovoltaïque 12 V fournit sa puissance maximum pour une tension autour de 16 V. Compte tenu des chutes de tension dues aux câbles et de ce qui vient d'être évoqué, cela correspond à une adéquation avec une batterie 12V.

3.4.4 En décharge :

Outre la capacité de la batterie (Nombre d'Ah ou ampères heure, que peut débiter la batterie) vient se greffer une notion de rendement (ou de pertes) Plus la rapidité de la décharge est importante, plus la capacité réelle de la batterie sera faible. C'est la catégorie de la batterie qui indique ceci.

Ainsi une batterie référencée sous la dénomination 68 Ah C/100 aura réellement une capacité théorique de 68 Ah en 100 heures, 55 Ah en 20 heures et seulement 50 Ah en 10 heures.

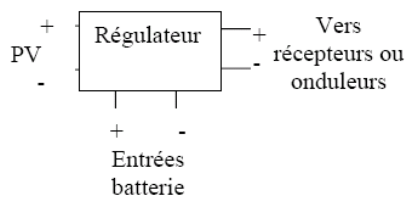
Ce qui veut donc dire que si on décharge cette batterie à la cadence de 5 A la décharge ne durera que 10 heures ($10 \times 5 = 50$) cette même décharge durera 20 heures à la cadence de 2,75 A ($2,75 \times 20 = 55\text{Ah}$) et enfin 100 heures à la cadence de 0,68 A ($0,68 \times 100 = 68$ Ah).

Lors du choix d'une batterie, donc, en plus de sa capacité, il faudra tenir compte du courant instantané qu'elle devra fournir (la nuit pendant la décharge ou le jour, lorsqu'elle apporte le complément).

Par exemple, si l'on veut une capacité de stockage de 130 Ah avec une décharge régulière sous 2A, on choisirait alors une batterie de 200Ah et de catégorie C100. En revanche, si le courant de décharge prenait la valeur de 4A régulièrement, elle ne conviendrait plus.

3.5. Les régulateurs DC

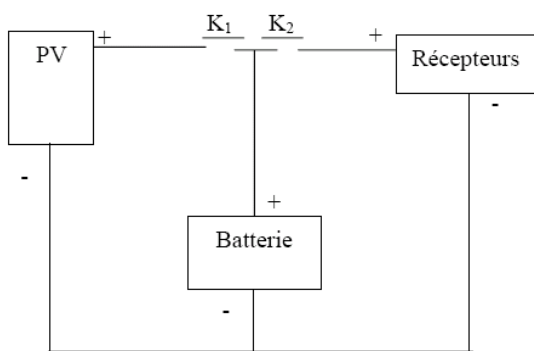
Ils ont 3 groupes de 2 entrées et éventuellement des fils pilotes au niveau batteries pour les courants importants pour éviter d'avoir une chute de tension pénalisante.


Figure 8

On trouve 3 catégories de régulateurs :

- TOR (tout ou rien)
- PWM (pulse width modulation)
- MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Le schéma de principe est donné à la figure 9.


Figure 9

K1 et K2 se ferment et s'ouvrent en fonction de la tension batterie.

Les valeurs caractéristiques sont soit programmées, soit à programmer :

- Vs1 : seuil de déconnexion de la charge
- Vs2 : seuil de reconnexion de la charge
- Vs3 : seuil de déconnexion du module

De manière schématique :

- Si la décharge est trop importante (la tension de la batterie atteint Vs1) la charge est déconnectée. (K2 est ouvert).
- Elle sera reconnectée lorsque le seuil haut Vs2 de la batterie sera atteint (K2 est de nouveau fermé).
- Lorsque la tension batterie atteint Vs3, K1 s'ouvre.

Au niveau des régulateurs :

- Les TOR réalisent ces fonctions. Le problème se pose en fin de charge. Comme le courant de charge est toujours le même, quand la batterie vieillira, pour une même tension U_{bat} , on ne sera plus chargé à 100% (car l'influence de la résistance se fera sentir).
- Les PWM diminuent justement le courant en fin de charge pour limiter l'influence de R.

- Les MPPT ajustent en plus la tension aux bornes des modules pour être au point de puissance maximum
- On choisit le régulateur en fonction de la puissance, de la tension du bus continu et des modules photovoltaïques. Les seuils de régulation sont prééglés. Ils sont calibrés pour des accumulateurs au plomb étanches liquides.

3.6. Les onduleurs

On distingue les onduleurs autonomes des onduleurs réseau. Les onduleurs sont choisis par rapport à la puissance, la tension du bus continu et la tension alternative à produire. Les onduleurs réseau doivent répondre à la norme VDE DYN 126 et possèdent la fonction MPPT intégrée. Ils ont un très bon rendement. Ils ont toutes les protections intégrées.

Les onduleurs autonomes ont un très bon rendement lorsqu'ils fonctionnent autour de la puissance pour laquelle ils ont été choisis. Leur rendement baisse s'ils sont en sous service. Il ne faut donc pas surdimensionner un onduleur.

4 – Orientation des panneaux

C'est la première chose à estimer pour la viabilité d'un projet de type solaire photovoltaïque ou solaire thermique. On va définir des paramètres géométriques à savoir : hauteur du soleil, inclinaison du capteur, incidence, Azimut du soleil et Azimut du capteur (cf. Figure 10).

4.1. Orientation idéale :

L'orientation idéale est perpendiculaire aux rayons du soleil soit $i = 0$, ce qui correspond à une orientation plein sud dans l'hémisphère nord, plein nord dans l'hémisphère sud et l'azimut du capteur est lié à la trajectoire du soleil qui dépend de la latitude et de la saison.

On dispose à l'heure actuelle sur le marché de modules orientables suivant l'année grâce à des trackers mécaniques (est – ouest ou tout azimut).

Cependant, il est alors nécessaire d'éviter la prise au vent, et les contraintes liées à leur installation freinent leur développement.

En général, les modules sont fixes. Il faut donc privilégier une inclinaison qui dépendra de l'application (été – hiver).

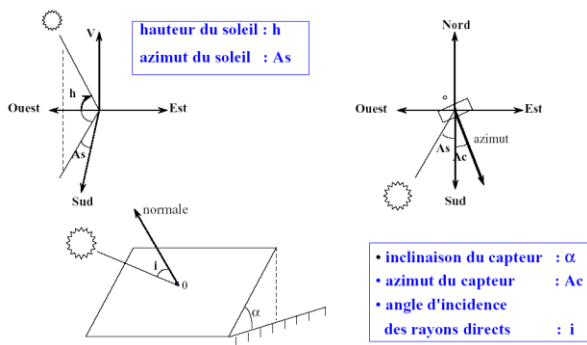


Figure 10

4.2. Trajectoire du soleil suivant l'année et la latitude

Suivant le moment de l'année, la course du soleil change, comme le montre l'image de la figure 11.

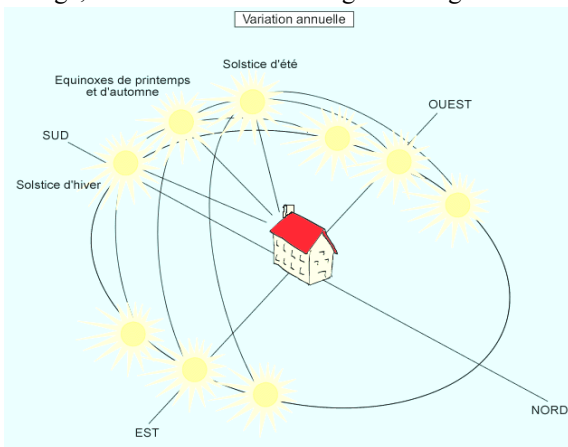


Figure 11 : Variation annuelle de la course du soleil (Source ADEME)

On retrouve les différences face à la latitude dans les diagrammes solaires qui matérialisent le mouvement du soleil dans le ciel pour une latitude donnée.

On en trouve de 2 types :

- le diagramme cylindrique
- le diagramme sphérique

Ils permettent tous les deux de trouver la meilleure orientation et de prévoir les zones d'ombres. Nous avons choisi de travailler avec le second.

4.3. Diagramme sphérique :

Prenons comme exemple le diagramme sphérique de la latitude 48° nord (Rennes est à la latitude 48°) (figure 12).

Le point le plus bas de l'installation solaire photovoltaïque se situe au centre du diagramme. Pour l'exploiter et le comprendre, il faut donc se placer au centre. Les différents rayons indiquent les angles par rapport au nord qui se situe à la verticale (angle 0). Les cercles concentriques indiquent les inclinaisons par rapport au centre. Prenons les cercles 20° et 80° . Nous avons une autre représentation sur la figure 13.

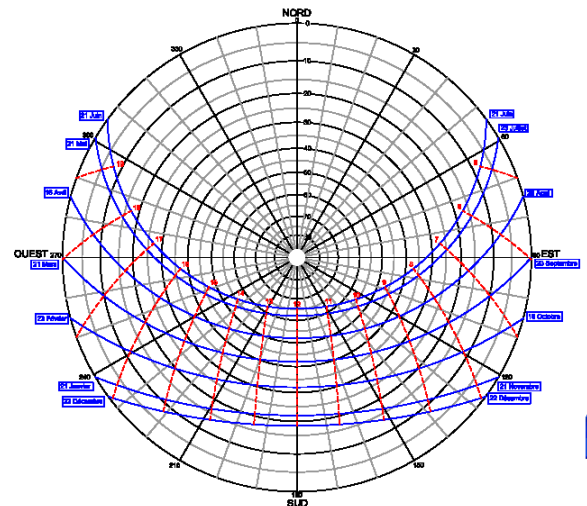
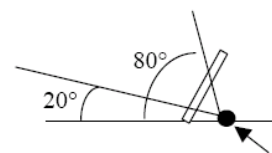


Figure 12 : Diagramme circulaire 48° de latitude nord. (Source SERT)



Tout ce qui se situe sur le cercle 20° est incliné de 20° par rapport au centre du diagramme

Figure 13

On peut établir la durée du jour selon le mois de l'année et l'ensoleillement quotidien moyen.

Ces diagrammes permettent de déterminer l'orientation des capteurs et de faire le relevé du diagramme des ombres du site (pour vérifier que le site est bien adapté ou, s'il n'y a pas d'autres possibilités, d'évaluer l'impact des ombres).

4.4. Orientation des modules

C'est le résumé de l'analyse des diagrammes circulaires ou cylindriques.

Si le site est isolé, l'angle d'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale sera de 15° de plus que la latitude si l'on dimensionne par rapport aux mois d'hiver donc en France 60° , 15° de moins si l'on dimensionne par rapport aux mois d'été (gîtes de montagnes)

Raccordé réseau, l'inclinaison la plus rentable correspond aux mois d'été, donc plutôt 30° sous nos latitudes, mais comme il y a une obligation d'intégration au bâti, on trouve plutôt 45° chez les particuliers, voire des capteurs verticaux !

Remarque : sous la latitude 0° , on prendra quand même un minimum de 10° plein sud ou plein nord suivant l'hémisphère pour l'auto nettoyage des modules (afin d'éviter les ombres)

4.5. Choix du site : les zones d'ombres

Un champ photovoltaïque est grandement affecté par une ombre passant sur l'un des modules, il faut donc veiller à mettre le champ hors de portée de l'ombre que peut fournir la végétation ou des reliefs !

5. Outils et applications pédagogiques

L'outil principal de dimensionnement développé se présente sous la forme d'un fichier Excel. Il a été réalisé en essais de systèmes 1ère année de STS Electrotechnique.

Comme nous l'avons vu précédemment, le cahier des charges comprend plusieurs éléments capitaux :

- De quel type d'installation s'agit-il ? Isolée ou raccordée réseau ?
- Quels sont les besoins énergétiques journaliers ?
- Où se situe la future installation ? A quel type de fonctionnement correspond-elle, annuelle ou saisonnière ?
- Dans le cas d'une installation isolée, combien prévoit-on de jours d'autonomie ?
- Quelle valeur prend-on pour la tension du bus continu ?

Le logiciel va donc comprendre plusieurs feuilles de calcul :

- ➔ Feuille 1 : Estimation des besoins journaliers Bj (figure 14).
- ➔ Feuille 2 : Dimensionnement en site isolé (figure 15).
- ➔ Feuille 3 : Dimensionnement d'une installation raccordée au réseau (figure 16).
- ➔ Feuille 4 : Liste de matériel et prix associé HT.
- ➔ Feuille 5 : Liste de l'ensoleillement associé à différentes villes été et hiver et nombre de jours d'autonomie comptabilisés en décembre par site.

5.1. Présentation des différentes feuilles de calcul.

5.1.1 Présentation de la feuille 1 : Estimation des besoins journaliers

Comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente, la formule de dimensionnement dépend de la structure de l'installation et des besoins journaliers. Il s'agit donc d'estimer en Wh ces besoins. Dans le cas d'appareils classiques tels que la télévision ou HIFI, la puissance et le nombre d'heures d'utilisation par jour suffisent. On suppose que les appareils non utilisés sont hors tension et ne consomment pas d'énergie.

Dans le cas des appareils comme les réfrigérateurs ou les machines à laver, la consommation est donnée en kWh par cycle. Il s'agit alors de ramener le tout à une consommation journalière. Ceci donne un bilan moyen et les formules de dimensionnement prennent une certaine marge.

Un listing non exhaustif des appareils est proposé. Il suffit ensuite de remplir le nombre d'heures de fonctionnement et / ou le nombre de cycles d'utilisation, voire la consommation annuelle (ce qui est souvent le cas pour l'électroménager « froid »)

Le bilan énergétique s'affiche en bas de feuille dans les deux configurations (on rappelle qu'il faut tenir compte du rendement de l'onduleur en site isolé).

Appareils fonctionnant en alternatif				
Appareils à fonctionnement permanent				
Congélation (-30°C)	Conso annuelle (Wh)	nb d'appareil	conso par jour Wh	
Coffre 50 litres				0,0
Coffre 140 litres				0,0
Coffre 200 litres Classe1	202 000	1		553,4
Coffre 200 litres Classe2				0,0
Coffre 300 litres Classe1				0,0
Coffre 300 litres Classe2				0,0
Appareils à fonctionnement par cycle				
Appareils électroménager	conso par cycle (Wh)	nb cycle / semaine	conso par jour Wh	
Lave-linge 5kg (complet)	1 000	3		428,6
Lave-linge 5kg (sans chauff.)				0,0
Lave-vaisselle (complet)	800	3		342,9
Lave-vaisselle (sans chauff.)				0,0
				0,0
Total (Wh)				771,4
Appareils à fonctionnement quotidien ou occasionnel				
Appareils électroménager	Puissance (W)	H/jour	jour/semaine	conso par jour Wh
Aspirateur	1 000	0,5	4	285,7
Bouilloire	1 000	0,15	5	107,1
Cafetière expresso	1 350	0,1	6	115,7
Climatiseur	910	2	5	1300,0
Couteau électrique	150			0,0
Fer à repasser	800	1,5	1	171,4
Bilan énergétique de l'installation / site isolé				
Rendement de l'onduleur				85%
Besoin journalier - alternatif (Wh)				1 783,2
Besoin journalier - continu (Wh)				60,0
Total de tous les besoins journaliers (Wh)				1843,2
Bilan énergétique de l'installation / raccordé réseau				
Besoin journalier - alternatif (Wh)				1 515,7
Besoin journalier - continu (Wh)				60,0
Total de tous les besoins journaliers (Wh)				1575,7

Figure 14 : Feuille 1 - Estimation des besoins journaliers

5.1.2 Présentation de la feuille 2 : Installation en site isolé

Les besoins journaliers étant pré-calculés en feuille 1, il reste à définir la localité et l'utilisation (sur l'année ou une partie de l'année, par exemple l'été pour certains gîtes) (fig15 - 1) ¹.

La situation géographique va également intégrer le nombre de jours d'autonomie et l'ensoleillement journalier correspondant (fig15 - 2) par le lien avec les informations de la feuille 5.

Le rendement de l'onduleur est donné (fig15 - 3) et renvoyé en feuille 2 pour le calcul des besoins journaliers.

¹ La numérotation (fig. x - y) correspond à la ligne indiquée (y) de la figure x.

A partir de là, l'application de la formule (F1 du §3.2) donne la puissance crête (fig15 - 4).

Il reste ensuite à choisir un module (fig15 - 5) et l'on voit apparaître le nombre de modules nécessaires (fig15 - 6) ainsi que la surface qui sera couverte (fig15 - 7).

L'application de la formule F3 (§ 3.3) donne les Ampères heures batteries (fig2 - 8) ainsi que le nombre de batteries (fig15 – 9).

En site isolé

Besoins journaliers (Bj)	→	1843 Wh
Ville	→	Angoulême
Période (hiver ou été)	→	été
Nbres de jours d'autonomie (n)	→	5,5 jours
Ensoleillement journalier (Ej)	→	5,35 kWh/m ²
Rendement de l'onduleur	→	85% %
Calcul de la puissance crête (Pc) des PV		
Pc= Bj/(0,6*Ej*rend)		→ 676 W (4)
Choix des modules photovoltaïques		
Technologie de module	→	multicristallin (5)
Référence N°	→	25
Tension en sortie du panneau	→	24 V
Puissance du panneau (W)	→	170 W
Surface du module	→	0,826 m ²
Angle d'inclinaison du PV	→	45 °
Puissance équivalente	→	120,3 W
Nombre de PV	→	6 (6)
Surface totale des PV	→	5,0 m ²
Calcul de la capacité des batteries (Ah)		
Tension batteries (V)	→	24 V (7)
Ah=(Bj*n*rend)/(0,7*U)	→	710 Ah (8)
Choix de la batterie		
référence batterie N°	→	14
Tension (U)	→	2 V
Nombre de batteries	→	12 Batteries (9)
Taux de décharge	→	12,8 %

Figure 15 : Feuille de dimensionnement des installations en site isolé.

5.1.3 Présentation de la feuille 3 : Installation en raccordé réseau

La feuille 3 repose sur le même principe que la feuille 2, en plus simple dans la mesure où les systèmes raccordés réseau ne nécessitent pas de batteries (cf. figure 16).

Dans ce cas, on ne tient pas compte non plus du rendement de l'onduleur.

Les feuilles 4 et 5 quant à elles ne nécessitent pas de commentaires particuliers.

Ces sont des feuilles de données qui sont utilisées via des références pour les applications des différentes formules.

En raccordé réseau

Besoins journaliers (Bj)	→	1576 Wh (1)
Ville	→	rennes
Période (hiver ou été)	→	été
Nbres de jours d'autonomie (n)	→	5,9 jours
Ensoleillement journalier (Ej)	→	5,5 kWh/m ²
Calcul de la puissance crête (Pc)		
Pc= Bj/(0,75*Ej)		→ 356,1 W (4)
Choix des modules photovoltaïques		
Technologie de module	→	multicristallin 2
Référence N°	→	25
Tension en sortie du panneau	→	24 V
Puissance du panneau (W)	→	170 W
Surface du module	→	0,826 m ²
Angle d'inclinaison du PV	→	45 °
Puissance équivalente d'un PV	→	120,3 W
Nombre de PV	→	3 (6)
Surface totale	→	2,5 m ² (7)

Figure 16 : Feuille 3 - dimensionnement d'une installation connectée réseau

5.1.4 Perspectives d'évolution

Ces feuilles de calcul ne sont pas figées et sont mêmes évolutives.

Elles permettent néanmoins, dans un premier temps, associées à un tracé du diagramme des ombres d'évaluer la viabilité d'un projet d'installation solaire photovoltaïque.

Nous n'avons pas encore intégré le calcul de la section et longueur de câbles suivant l'installation, ni les différentes protections.

Nous avons déjà pris en compte l'éloignement angulaire par rapport à l'inclinaison idéale, mais cette fonction n'est pas présentée ici.

Il faut également faire un bilan financier qui permettrait de chiffrer le coût de l'installation en utilisant la feuille 4.

5.2. La maquette didactique

Nous avons commencé la réalisation d'une maquette didactique (cf. figure 17 et 18) en projet de STS Electrotechnique avec la société *Quénea*. Le cahier des charges a été établi par l'équipe enseignante sur la demande de Monsieur Martinat - IPR de STI, académie de Rennes- dans le cadre de la réforme des STS Electrotechnique et des baccalauréats STI Electrotechnique. Nous avons également travaillé avec Monsieur Kerivin, IPR de Sciences Physiques fondamentales et appliquées. Nous en ferons une présentation succincte.

Ce projet permet d'aborder un ensemble de thèmes liés à la production et gestion d'énergie :

- Le fonctionnement et la caractéristique électrique d'un module PV (Photovoltaïque), les différentes associations (série et parallèle) et la protection des modules ;

- La gestion de l'énergie pour la charge de la batterie (stockage de l'énergie) et aussi pour sa décharge ;
- La mise en place de système de mesurage de la tension et de l'intensité au niveau des panneaux et de la batterie ;
- La mise en place d'un système de conversion continu alternatif (onduleur) de type autonome et couplé au réseau ;
- Système de mise en charge (lampes ...) ;
- Système de mesurage pour la tension et l'intensité au niveau des récepteurs ;
- Intégration des protections (disjoncteurs) et commande pour permettre les différentes fonctions ;
- Procédure de mise en œuvre, et proposition de travaux pratiques.

Cette maquette doit permettre de se placer dans les configurations de sites isolés ou raccordés réseau, mais aussi d'étudier séparément les différents éléments de la chaîne de conversion.

Elle comprend de plus un solarimètre pour évaluer le potentiel solaire.

Nous avons donc séparé la maquette en 4 platines indépendantes reliées entre elles par des fils volants suivant la configuration désirée.



Figure 17 : Vues d'ensemble de la maquette. 3 platines (1, 2 et 3) sont représentées, le plan de charge est mobile.

La maquette est destinée à un public assez large, de la 2nd aux sections de techniciens supérieurs. Le synoptique est représenté sur la figure 18.

Nous avons opté pour le matériel suivant :

- 2 PV 12 V, 50 W soit 100 Wc
- 1 rhéostat de charge de 10 A
- 2 batteries 12 V C 100, plomb étanche 45 Ah
- 1 plan de charge de 150 W en 24 V DC et en 230 V AC avec possibilité d'alimenter les deux types de charges simultanément.
- 1 régulateur DC de type PWM
- 1 onduleur autonome 24 V DC/230 V AC avec P = 120 W
- un onduleur réseau 120 V, 24 VDC / 230 V AC
- un solarimètre.

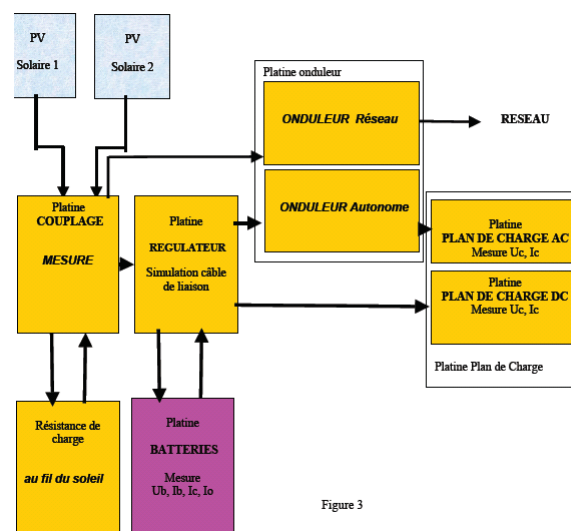


Figure 3

Figure 18

La platine 1 est destinée à l'étude des capteurs photovoltaïques avec possibilité de les mettre en série ou en parallèle et de les incliner suivant 3 orientations particulières : 30, 45 et 60° (cf. figure 19).

On peut alimenter directement un rhéostat pour le tracé des caractéristiques, ou connecter les capteurs au régulateur DC ou à l'onduleur réseau.

Nous avons installé deux capteurs de deux technologies différentes (monocristalline et polycristalline) de 50 Wc chacun, 12V.

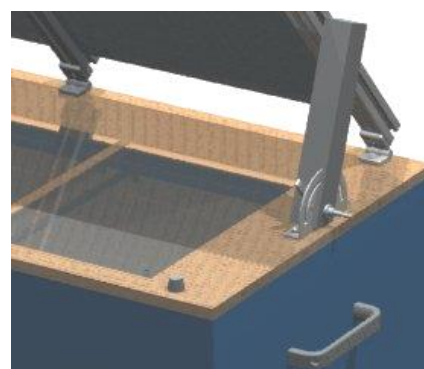


Figure 19 : Système d'inclinaison des capteurs

Nous avons choisi de travailler avec un bus continu de 24 V, ce qui correspond à la mise en série des deux capteurs PV.

La platine 2 correspond au régulateur DC et l'accès batteries.

La platine 3 permet de travailler soit avec l'onduleur réseau soit l'onduleur autonome.

La platine 4 est le plan de charge. Nous nous sommes orientés vers de l'éclairage. Le choix des lampes a été retenu pour :

- la facilité d'utilisation (allumée ou éteinte) et la sécurité (charge statique aucune partie en rotation)

- pouvoir comparer les différents types de composition (incandescence, halogène, led, fluo compacte, induction) par leur ratio efficacité lumineuse (en lumens)/ puissance consommée.

Les différentes parties électriques de cette maquette ont été réalisées par des élèves de STS Electrotechnique. Ils ont également travaillé, par des tests sur la maquette, à l'élaboration des TPs qu'elle permet de réaliser.

Nous présentons le 1er d'entre eux. Il ne nécessite pas forcément la présence du matériel, mais est un préambule à une étude d'installation photovoltaïque.

5.3. Exemple de TD – TP : Choix de l'implantation d'un module photovoltaïque

Nous avons choisi de présenter ce TD – TP car il nécessite très peu de matériel et peut également s'adapter aux installations solaires thermiques.

5.3.1 Objectif :

Calculer l'angle d'orientation optimum du module.

On prendra en compte les paramètres suivants : l'époque de l'année, la latitude, et la situation du site dans son contexte (présence d'obstacles).

5.3.2 Pré-requis :

Cette étude nécessite trois informations :

- pour récupérer le maximum de puissance, la surface du module (S) doit être perpendiculaire aux rayons du soleil.
- Suivant la latitude, le jour de l'année et l'heure de la journée, l'angle d'inclinaison des rayons change.
- Si le module est couvert sur une partie de sa surface, la production est considérablement atténuée.

5.3.3 Matériel nécessaire :

- Diagramme solaire adapté à la latitude
- Boussole clignomètre (boussole capable de déterminer l'azimut et l'inclinaison).

5.3.4 Notations :

On utilisera les notations de la figure 10, § 4.1 :
 h : angle qui caractérise la hauteur du soleil, i : angle d'incidence des rayons par rapport à la surface du capteur solaire, α : l'angle d'inclinaison du capteur par rapport au sol, A_s l'azimut du soleil.

5.3.5 Etude théorique :

- A partir du diagramme circulaire 48° de latitude nord, quelle orientation du module choisiriez vous pour une utilisation sur toute l'année (il faut privilégier le dimensionnement sur les mois d'hiver) ?
- Même question pour une utilisation estivale.

Réponse : l'hiver, on va prendre la course du soleil de décembre. On voit qu'à midi, il est environ à $25^\circ - 30^\circ$. Or les rayons doivent être perpendiculaire au module.

- Pathologie des systèmes : analyser des installations et proposer une ou des solutions : (Il s'agit d'insérer quelques photos judicieusement choisies)

5.3.6 Etude pratique :

- Au cours du TP, relever la hauteur et l'azimut du soleil à différents moments et le reporter sur le diagramme circulaire.

Remarque : il est intéressant de mutualiser les résultats en fin de cycle de TPs s'il s'agit de TP tournants. Il est également intéressant de refaire ces mesures à différents moments de l'année.

- Faire le relevé du masque des ombres. Il s'agit de mesurer à l'aide de la boussole clignomètre l'azimut et la hauteur des reliefs sur 360° (les obstacles plein nord présentent peu d'intérêt dans le cadre de l'hémisphère nord) et de les reporter sur le diagramme circulaire.

Il faut également penser que le relevé doit se faire au plus bas de la position du capteur.

- Analyser la viabilité du projet. Il est préférable de travailler avec un masque réalisé par les élèves eux-mêmes. Supposons que le module soit incliné d'un angle $\alpha = 45^\circ$. Il faut vérifier que les modules ne seront pas à l'ombre au cours de la journée tout au long de l'année.

Un exemple de masque est donné à la figure 20. Les croix plein-sud correspondent à une série d'arbres. Pour une utilisation l'été, ces obstacles ne dérangeront pas. En revanche pour toutes les courses du soleil situées à l'extérieur de ces croix, le système photovoltaïque ne pourra pas fonctionner correctement.

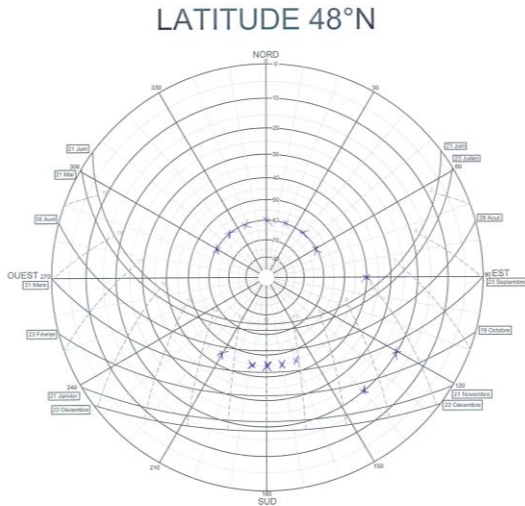


Figure 20 : Masque d'ombre

- Une des solutions pour éviter les obstacles est de surélever les capteurs. Soit alors l'exercice suivant :

Un arbre, situé à $L = 20\text{m}$ de l'implantation, fait de l'ombre sur un module orienté plein sud à 60° . C'est lorsque les rayons sont le plus bas que se pose le problème (les rayons sont à $h = 25^\circ$ environ) (cf. Figure 21). Déterminer la hauteur à laquelle il faudra élever le capteur.

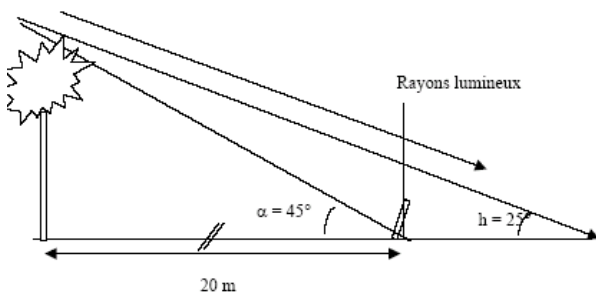


Figure 21

Solution (figure 22): l'angle des rayons est rebaptisé α' , et vaut 25° il faut relever le capteur de la hauteur $h = h_1 - h_2$ avec $h_1 = L \times \tan \alpha$ et $h_2 = L \tan \alpha'$ donc $h = L(\tan \alpha - \tan \alpha')$. AN : $h = 20 \times (\tan 45 - \tan 25) = 10 \text{ m}$.

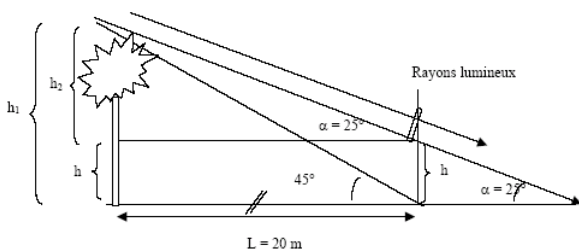


Figure 22

6. Bibliographie

- [1] Emmanuel Goy, SERT (bureau d'étude électrification en milieu rural décentralisé), 17 Chemin du petit Bois, 69130 Ecully.
- [2] Guide d'installation du toit solaire photovoltaïque – association HESPUL, www.hespul.org
- [3] Stage Photon : stage organisé par l'ADEME à Sophia Antipolis, www.ademe.fr/htdocs/actualite/manifestations/forumation/photon/photon.htm
- [4] Anne Labouret, Michel Villos : « Energie solaire photovoltaïque », Editions « Le Moniteur », Dunod
- [5] Jean Paul Louineau : « Guide de dimensionnement, d'installation et de maintenance des petits systèmes d'installation photovoltaïques », fondation Energies pour le Monde.

Centrale de production hybride

R. NAEL, G. COZIAN, L. CADIOU, P. DRILLET

Lycée Vauban, Brest

Contact : richard.nael@ac-rennes.fr

Résumé : Dans la perspective de la formation d'étudiants de différentes sections de Lycées aux enjeux du développement durable et aux nouvelles pistes envisageables pour la production d'énergie au niveau local, il semble intéressant de disposer dans les établissements scolaires d'outils de formation adaptés.

Du fait du montant des investissements à envisager, Le Lycée Vauban s'est doté d'une unité de production permettant de mutualiser en réseau les données recueillies ainsi que les exploitations pédagogiques menées autour du système.

1. Historique du projet

Au début de l'année scolaire 2002/2003, le conseil régional de Bretagne, associé à l'EDF et à l'ADEME a lancé un appel à projet pour implanter dans cinq lycées de Bretagne une centrale d'énergies renouvelable à usage didactique.

Le cahier des charges du projet stipulait que :

- Les installations devaient comporter trois types de production d'énergie :

- Solaire photovoltaïque
- Solaire thermique (eau chaude sanitaire)
- Production d'énergie électrique par éolienne

- Le système devait permettre une exploitation distante par publication des données sur le web.

- Un « club énergies renouvelables » composé des acteurs du projet et de représentants du rectorat (aspects pédagogiques) et des « institutionnels » devrait se constituer à fin d'échange entre les différents sites lors de la réalisation du projet et lors des exploitations pédagogiques mises en place.

Le Lycée Vauban de Brest s'est porté candidat et a été sélectionné. L'installation de la centrale a été prise en charge par six étudiants durant l'année scolaire 2003/2004 dans le cadre du projet de BTS Electrotechnique, puis finalisé l'année suivante. Les exploitations pédagogiques ont commencé durant l'année 2004/2005, principalement en STS Electrotechnique (essais de système), en Bac S SI, et en CPGE PT (TIPE).

De nouvelles exploitations pédagogiques sont à présent envisagées en bac STI Génie Electrotechnique, et en direction des collèves.

Ce système est en perpétuelle évolution afin de permettre une utilisation la plus large possible.

2. Description du système

2.1. Centrale des Glénans

Le type d'installation choisi est celui d'une production en site isolé ; c'est à dire sans réinjection réseau. Elle se veut homothétique de l'installation de l'île Saint Nicolas dans l'archipel de Glénan dans le sud finistère. L'installation réelle alimente un réseau de 21 clients (c'est à dire la totalité de l'île) essentiellement pour des besoins de pompage, d'éclairage, de fabrication de froid et de petit outillage :

- Panneaux solaires : Puissance crête 9 kW
- Eolienne : 10 kW pour une vitesse de vent de 12m/s (soit 24 nœuds).
- Groupe électrogène : 32 kW
- Batteries d'accumulateurs : tension 240 V
Capacité 1500 AH.

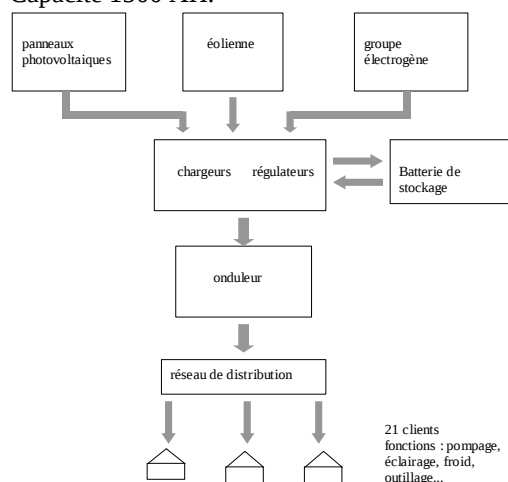


Figure 1 : Installation des Glénans

2.2. Système Homothétique Vauban

La centrale du lycée Vauban est évidemment plus modeste ; le synoptique de l'installation (figure ci-dessous) est le même hormis le fait que l'énergie d'appoint est fournie par le réseau EDF. En effet l'onduleur transformant la tension continue en tension alternative permet en cas de tension trop basse de basculer l'alimentation sur le réseau EDF. Afin de respecter au maximum l'identification avec l'installation des îles de Glénan cette onduleur ne permet pas de réinjection réseau. Le client est cette fois-ci une salle informatique de quatre ordinateurs (extensible à huit).

- Panneaux solaires : Puissance crête 1 kW
- Eolienne : 1,5 kW pour une vitesse de vent de 12m/s (soit 24 nœuds)
- Batteries d'accumulateurs : tension 48 V Capacité 400 AH.

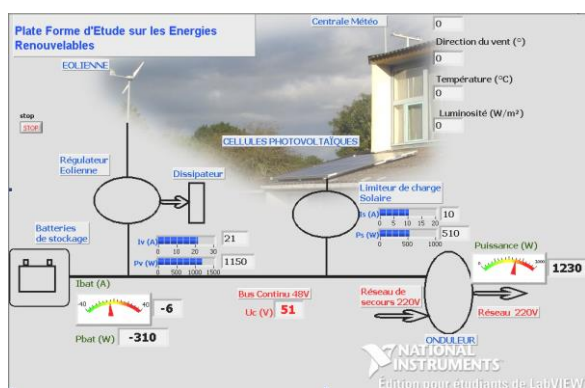


Figure 2 : Synoptique de l'installation Vauban

2.3. Constituants

Le schéma de câblage de l'installation est donné à la figure 3a. Les différentes arrivées électriques ainsi que le système d'acquisition et de pilotage sont visibles sur la photo de la figure 3b.

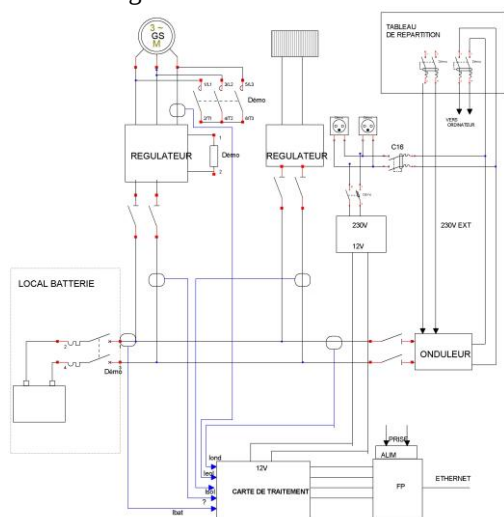


Figure 3a : Schéma de câblage

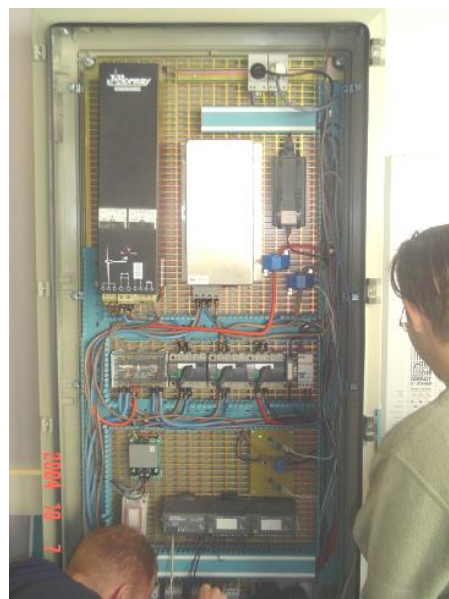


Figure 3b

2.3.1 Eolienne

Il s'agit d'une éolienne bipales à vitesse variable de marque Inclin 1500 construite en Espagne. Le transducteur d'énergie mécanique en énergie électrique est un alternateur triphasé à aimants permanents ; un redresseur transforme cette tension triphasée en tension continue.

A forte vitesse de vent la tête pivote verticalement (pâles alors horizontales). Elle démarre pour une vitesse de vent de 3 m/s ; à 12 m/s elle tourne à 750 tr/min et fournit une puissance de 1500 W.

Un régulateur de marque Borna permet d'évacuer l'énergie produite dans un rhéostat de dissipation lorsque la batterie est totalement chargée.



Figure 4 : Eolienne bi-pales installée

2.3.2 Panneaux photovoltaïques

Il s'agit de cellules photovoltaïques de type polycristallin de type Kyocera KC-120 ; la surface est de 7 m² (8 panneaux) ; la tension de sortie est d'environ 90 V et la puissance crête de 1000 W. Entre les cellules et la batterie est disposé un régulateur MPPT (Maximum power point tracking) qui permet de faire fonctionner les cellules à leur puissance maximale quel que soit l'état de charge de la batterie et la puissance lumineuse reçue.



Figure 5 : Panneaux photovoltaïques installés (7 m²)

2.3.3 Stockage de l'énergie

Il est constitué de batteries sèches au plomb ; tension 48 V et capacité de 400 Ah. Ces éléments sont dans un local extérieur au bâtiment.

2.3.4 Onduleur

Cet élément transforme la tension continue issue du système en une tension alternative 230 V - 50 Hz utilisable par le parc informatique. Il s'agit d'un onduleur autonome et la réinjection d'énergie sur le réseau n'est donc pas possible. On reste donc ici dans la modélisation d'un fonctionnement en site isolé. Toutefois afin d'assurer une continuité de service cet élément permet de connecter directement la charge sur le réseau EDF. Il remplit ainsi la fonction du groupe électrogène.
(il est prévu à terme d'installer un groupe électrogène permettant des essais de systèmes en BTS électrotechnique).



Figure 6 : Onduleur 230 V – 50 Hz installé

2.3.5 Centrale météo

Une centrale météorologique donne la direction et la force du vent, la luminosité et la température.



Figure 7 : Centrale météo

2.3.6 Module d'acquisition

Il s'agit d'un système développé par National Instruments de type Field Point. C'est un système d'entrées distribuées. Il permet de récupérer les valeurs de différentes grandeurs issues de capteurs, de les numériser et de les transmettre à un ordinateur distant via le réseau ethernet.



Figure 8 : Module d'acquisition

Les grandeurs ainsi mesurées sont : tension du bus continu, intensités issues de l'éolienne (sortie du redresseur) et des panneaux photovoltaïques (en aval du régulateur MPPT), intensité du courant absorbé par l'onduleur autonome.

Ces différentes mesures permettent alors de calculer simplement grâce au logiciel Labview, les puissances fournies par la batterie d'accumulateurs, le module éolien, les panneaux photovoltaïques et celle absorbée par l'onduleur.

Le logiciel d'acquisition est écrit avec le langage graphique de National instruments Labview; il vient scruter les entrées du module Fieldpoint, acquérir les différentes intensités et tensions, calculer les différentes puissances ; l'intervalle entre deux scrutations est de 500 ms. Les données sont ensuite « graphées » en fonction du temps et enregistrées dans des fichiers au format texte. Une campagne d'acquisition dure une semaine. Afin de limiter le nombre de points enregistrés, une période de 30 secondes est affectée à l'enregistrement. A la fin de cette campagne les fichiers sont fermés et une autre campagne de mesure commence.

2.3.7 Architecture du réseau de mesure et de pilotage

L'architecture est présentée à la figure 9. Les données électriques et météo sont recueillies par le système d'acquisition situé dans l'armoire de gestion. Le système actuel permet uniquement de récupérer des données à faible temps d'évolution (scrutation à 500ms). Des données électrique « temps réel » 50 Hz pourront prochainement être recueillies grâce à une seconde carte d'acquisition plus rapide.

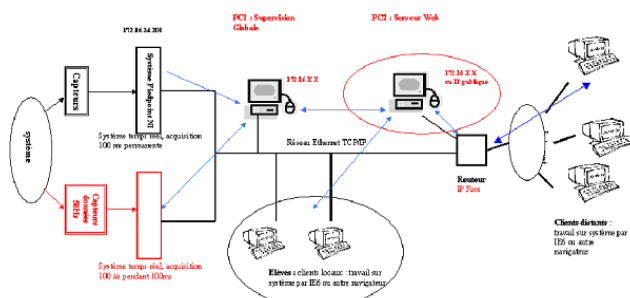


Figure 9 : Architecture du réseau de mesure et de pilotage

Un PC distant reçoit un programme de supervision globale sous Labview qui affiche en permanence les données de fonctionnement. Il embarque également divers programmes permettant :

- De stocker automatiquement les données dans des fichiers horodatés en format tableur (un fichier par semaine, récurrence 30s)
- De grapher les données recueillies.
- De simuler le fonctionnement de sous ensembles (actuellement les panneaux photovoltaïques).

Tous ces écrans sont exportés en « temps réel » sous forme de pages HTML.



Figure 10 : Exemple de page graphique de données recueillies

Un deuxième PC embarque un site Web qui recueille les pages publiées par le PC de supervision et met à disposition de la documentation sur le système et des activités pédagogiques en ligne (actuellement en développement).

Ce site et les données qu'il contient est accessible en interne directement grâce à tout explorateur. L'accès externe se fait grâce à un routeur qui redirige l'IP fixe à laquelle le lycée s'est abonné vers le PC serveur.

L'équipe réfléchit à présent aux procédures à adopter pour assurer la sécurisation du système, et pour gérer des accès externes multiples qui ne manqueront pas de se produire dès que le système sera suffisamment connu (ce qui peut poser des problèmes, principalement en pilotage).

3. Possibilités d'exploitation

3.1. Exploitations temps réel

La face avant de la supervision permet aux étudiants de :

- Valider les performances de l'éolienne et des panneaux photovoltaïques en croisant les données météorologiques avec les productions constatées.
- Valider le bilan de puissance du système (somme des productions = somme des consommations).
- Comprendre les sens de transfert de l'énergie.

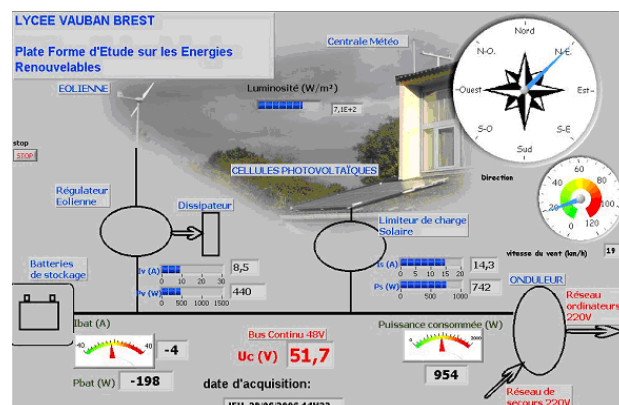


Figure 11

3.2. Graphes sur une semaine

Les données d'exploitation sont stockées automatiquement dans des fichiers au format « tableur » (*.txt) constitués sur sept jours. Ils peuvent être exploités (calculs de puissance moyenne, maxi, mini, calculs d'énergie...) soit directement sous Labview grâce à des programmes spécifiques accessibles via ethernet, soit en traitant les données brutes sous excel.

Ils peuvent alors se présenter sous la forme graphique de la figure 12 (exemple d'acquisition sur 12 jours)

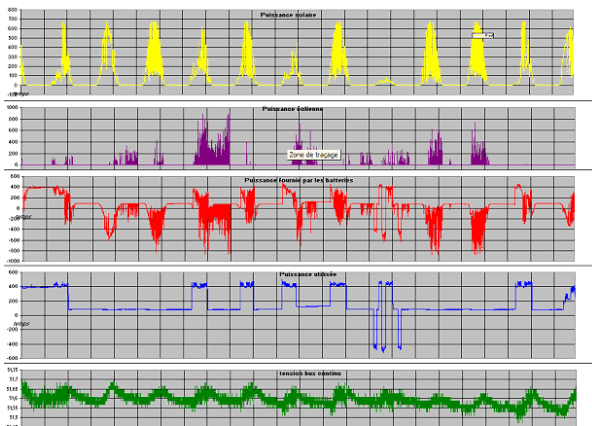


Figure 12

Ces courbes permettent aux étudiants de bien appréhender les notions de puissances et d'énergie. Il est en effet possible de faire un bilan énergétique sur la semaine voire sur une période plus grande en concaténant les données de plusieurs périodes. Ils peuvent alors présenter les données énergétiques dont la figure 13 en donne un exemple.

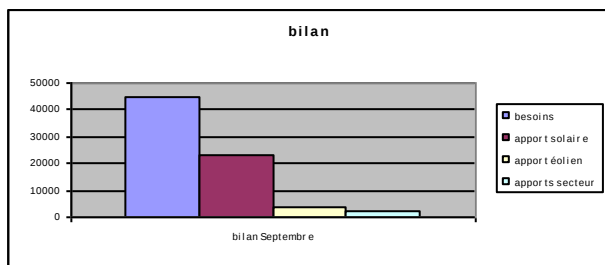


Figure 13

3.3. Etude des modèles numériques

Afin de palier à des conditions météorologiques ne permettant pas une exploitation satisfaisante des données temps réel un modèle numérique des panneaux photovoltaïques a été établi. Celui-ci permet d'autre part de faire varier les conditions météorologiques et les conditions de charge.

La simulation a été établie à partir des caractéristiques « constructeur » Courant-Tension des panneaux pour diverses valeurs de l'ensoleillement. Ces caractéristiques sont rentrées point par point dans un tableau (fichier « .txt » réalisé à part) et extraites par le logiciel Labview qui détermine le point de fonctionnement.

Le courant fourni dépend donc de l'ensoleillement et de la tension du bus continu.

La tension dépend de l'état de charge des batteries, et du courant d'utilisation. Ces données sont également stockées dans un tableau exploité par le logiciel.

Pour le modèle avec MPPT il a été supposé un fonctionnement idéal du MPPT c'est à dire que la tension en amont de ce dernier ne dépendait que de l'ensoleillement permettant ainsi un fonctionnement à

puissance optimale des panneaux. Cette tension de fonctionnement optimal a été fixée d'après les caractéristiques « constructeur » des panneaux.

Il est prévu d'améliorer le modèle numérique en modifiant progressivement les modèles utilisés (les différents tableaux de valeurs pour la batterie, les panneaux solaires et le MPPT) en fonction des résultats d'observation, mais l'ensemble donne actuellement des résultats cohérents.

L'organigramme décrivant le principe de fonctionnement du modèle numérique sera prochainement disponible sur le site web de la plateforme.

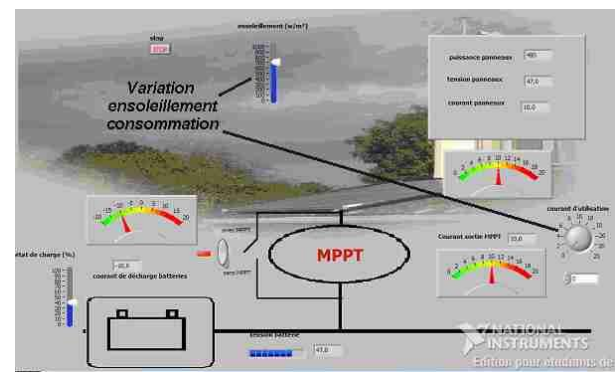


Figure 14

De plus il est aussi possible d'activer ou de désactiver la fonction MPPT du régulateur, permettant ainsi d'évaluer le gain apporté par cette dernière fonction.

4. Exploitations pédagogiques

Public concerné : Terminale S-SI; Terminale STI Génie Electrotechnique

Activité : TD/TP

4.1. Analyse fonctionnelle du système et rôle des constituants

Les étudiants disposent du dossier technique de la centrale ENR, et d'un diaporama de présentation. Ils doivent apprendre à se repérer sur les diagrammes FAST qui leurs sont fournis, afin d'identifier les fonctions remplies par chaque sous-ensemble constituant le système.

Cette activité de type d'approche inductive est pour ces étudiants la première prise en main de système.

4.2. Vérification du niveau d'autonomie

A partir des relevés énergétiques hebdomadaires de consommation et de production disponibles sur le site de gestion de la centrale, les étudiants doivent mener une étude permettant de conclure quant au seuil d'autonomie du système installé en fonction de la période de l'année.

Ils peuvent alors valider le dimensionnement du système de stockage de l'énergie, et envisager les modifications à apporter en cas d'augmentation des besoins en énergie.

4.3. Exploitation des données énergétique pour le dimensionnement d'une installation électrique domestique

A partir des relevés énergétiques hebdomadaires de production disponibles sur le site de gestion de la centrale, et, en présence d'un cahier des charges émanant d'un particulier souhaitant installer un système de production photovoltaïque, les étudiants doivent mener une étude permettant de dimensionner au mieux le système à installer. Il leur est également demandé de chiffrer le coût de l'installation (matériels et main d'œuvre), d'envisager les aides possibles, et d'évaluer un temps de retour sur investissement.

4.4. Etude et justification de l'architecture réseau

Après avoir analysé l'architecture réseau du système de mesure, et la nature des différents concentrateurs rencontrés entre l'armoire de mesure et le lieu d'exploitation, les étudiants peuvent paramétrer sur un nouveau poste la communication distante nécessaire pour réaliser un nouveau programme d'acquisition ou de supervision en utilisant le logiciel « Labview » (adressage tcp/ip, configuration logiciel, calibrage des mesures...)

4.5. Etude des modèles des constituants, Influences sur le câblage du système et ses protections

A partir de données numériques « tension, courant » des panneaux solaires et de l'éolienne pour différentes conditions météorologiques il est demandé de modéliser ces éléments et d'en déduire un protocole de protection. Ceci donnera lieu à la justification du schéma de câblage.

5. Développements futurs

5.1. Installation de la centrale de production d'eau chaude

Durant l'année 2006/2007, le système sera doté d'une centrale de production d'eau chaude solaire, équipée de capteurs de température et de débit permettant d'analyser son fonctionnement énergétique.

5.2. Pilotage distant de la charge

L'examen des premières données d'exploitation font apparaître un problème non pris en compte dans la définition initiale du cahier des charges : la consommation d'énergie dépend du taux d'utilisation de la salle, et on observe des périodes longues pendant lesquelles les batteries sont insuffisamment déchargées.

Les régulateurs éoliens et solaires bloquent alors les apports d'énergie indépendamment des conditions météo.

Il est prévu de mettre en place un système permettant :

- D'assurer une consommation minimale de l'ordre de 400W
- De pouvoir à distance modifier la consommation d'énergie en commutant des charges supplémentaires.

5.3. Sécurisation du bus continu et signalisation des défauts par GSM

Le système actuellement implanté n'est pas parfaitement sécurisé, paradoxalement à cause des protections mises en place.

En effet, un disjoncteur est logiquement implanté dans le local batterie afin de protéger celles-ci. En cas de déclenchement, le bus continu se retrouve libre de potentiel et l'éolienne déchargée, ce qui peut l'emmener en survitesse ; la surtension provoquée peut endommager son régulateur (phénomène observé par erreur.).

Il convient donc de protéger le système en court-circuitant automatiquement l'éolienne en cas de rupture du bus continu.

Un système de ce type sera mis au point et implanté durant l'année 2006/2007.

De plus, il est prévu de prévenir l'agent de maintenance du lycée par SMS en cas de défaillance du système (liste des défauts à prendre en compte non encore établie).

Ces nouveaux éléments fournissant aux étudiants des zones d'étude supplémentaires.

6. Conclusion

L'équipe enseignante a constaté un vif intérêt des élèves et des étudiants pour les travaux effectués sur ce système d'énergie renouvelable ; et ce, même si les recherches ne portent pas sur l'énergie elle-même (exemple : étude du réseau de communication).

Le sentiment de travailler sur un système innovant et d'appréhender une politique énergétique d'avenir y est sans doute pour quelque chose.

Les données temps réels et loguées de la centrale sont disponibles sur le site du Lycée Vauban de Brest : <http://217.128.100.5>.

Le transtockeur : du génie électrique à la mécatronique

J.J. OLIVIERO, H. JANNEAU

Lycée Colbert, Lorient

Contact : Jean.Oliviero@ac-rennes.fr

Résumé : Le transtockeur de la section BTS Electrotechnique du lycée était équipé de matériels obsolètes (automate TSX 17-20 ...), de plus, nous avions de gros aléas de fonctionnement. Pour la mise en place des essais de systèmes, dans le cadre de la réforme du BTS Electrotechnique, nous avons pris la décision de le restructurer en le faisant évoluer et en ajoutant des fonctions nouvelles. Nous avons mis la priorité sur l'utilisation d'un automate «Prémium» de Schneider, avec un coupleur de réseau Ethernet. L'aspect programmation (automate, réseau, supervision et écran tactile), fût un challenge difficile à relever pour les étudiants.

1. Introduction

Le transtockeur est un magasin automatique de classement et de stockage automatisé de 34 boîtes, contenant des produits. Le rangement des boîtes s'effectuent sur 5 rangées. La masse transportée est inférieure à 10 kg.

Il est composé (cf. figures 1 et 2) d'un poste de commande opérateur et de trois axes :

AXE X : Un moteur asynchrone triphasé :

$P=0,12 \text{ kW}$; $n=1380 \text{ tr/min}$; $230/400\text{V}$

Course utile de 1510 mm

Vitesse chariot 0,7 m/s.

Un codeur incrémental(pignon $m=2$;

$Z=27$).

Précision de positionnement 1,5 mm.

AXE Y : Un bras pneumatique :

Course de 400 mm

AXE Z : Un moteur synchrone autopiloté :

$T= 1,43 \text{ Nm}$; $n=3000 \text{ tr/min}$; $U=241\text{V}$.

Course utile de 1150 mm

Vitesse chariot 0,5 m/s.

Un codeur absolu (pignon $m=2$; $Z=27$)

Précision de positionnement 4 mm.

Le mouvement linéaire des axes X et Z est obtenu par pignon crémaillère.



Figure 1 : Photo du transtockeur réalisé

Pour restructurer le transtockeur et élaborer un cahier des charges cohérent avec la réalité industrielle, nous nous sommes appuyés sur la société SAMOVIE, basé à LORIENT. Cette société fabrique des magasins automatiques de grandes et petites dimensions.

2. Expression du besoin

Le stockage ou le déstockage des boîtes sera commandé par un opérateur. Cet opérateur disposera comme outil de dialogue, soit d'un écran tactile, soit d'un PC avec une supervision.

L'opérateur effectuera l'entrée ou la sortie des boîtes en fonction de leur numéro.

La gestion du stock et la gestion des défauts seront assurées par le système de supervision ou par un poste de surveillance à distance relié par un réseau de communication de type Ethernet.

Par l'intermédiaire du réseau Ethernet, l'opérateur aura la possibilité d'obtenir un diagnostic à distance, et de pouvoir configurer, programmer API.

Sécurité : Une mise en conformité et en sécurité du transtockeur a été spécifiée.

3. Cahier des charges

3.1. Détails matériels

L'étude de la programmation doit être effectuée de façon à ce que le programme automate puisse fonctionner sur des transtockeurs de tailles différentes, afin que le client puisse disposer du choix de plusieurs capacités de stockage, sans pour autant faire une nouvelle étude.

Ainsi le programme doit permettre à l'opérateur de saisir les paramètres du transtockeur, tel que la longueur et la hauteur lors de l'installation de l'équipement.

L'automate programmable industriel utilisé est un TSX Premium de chez Schneider Electric.

Le programme automate sera effectué sur le logiciel PL7 pro de Schneider Electric.

Le coupleur TCP/IP permettra de transmettre et recevoir des informations de la supervision à partir du logiciel de supervision "Vijéo look" de chez Schneider Electric.

Le moteur synchrone autopiloté sera commandé par une liaison analogique via l'automate.

Le variateur du moteur asynchrone triphasé sera commandé par l'automate via une sortie de type réseau CANopen.

Le programme devra être capable de recevoir des consignes de fonctionnement (entrée / sortie de boîtes) provenant de l'écran tactile, de transmettre des informations de fonctionnement et de défauts.

3.2. Mode automatique

En mode automatique, l'entrée ou la sortie d'une boîte se fera en saisissant le numéro de la boîte. Une entrée où une sortie de boîte devra se faire de la supervision ou de l'écran tactile. L'écran tactile devra obligatoirement être prioritaire sur la plupart des actions car il se trouve plus proche de l'équipement et permettra une réaction plus rapide en cas de dysfonctionnement.

3.3. Mode manuel

Le fonctionnement manuel ne pourra s'effectuer que par l'intermédiaire de l'écran tactile associé à l'activation d'un commutateur à clé. Ce mode permettra à l'opérateur de commander le bras manuellement afin d'améliorer et d'aider dans le diagnostic d'un dysfonctionnement. Sur certains défauts, le passage en mode manuel sera nécessaire pour passer en mode automatique.

3.4. Gestion du stock

L'automate devra mémoriser les boîtes présentes dans le transtockeur, afin d'éviter à l'opérateur d'effectuer des commandes erronées. L'automate devra également gérer le nombre de pièces dans les boîtes. Il fera office de base de données. Les quantités pourront être modifiées, soit de l'écran tactile, soit de la supervision.

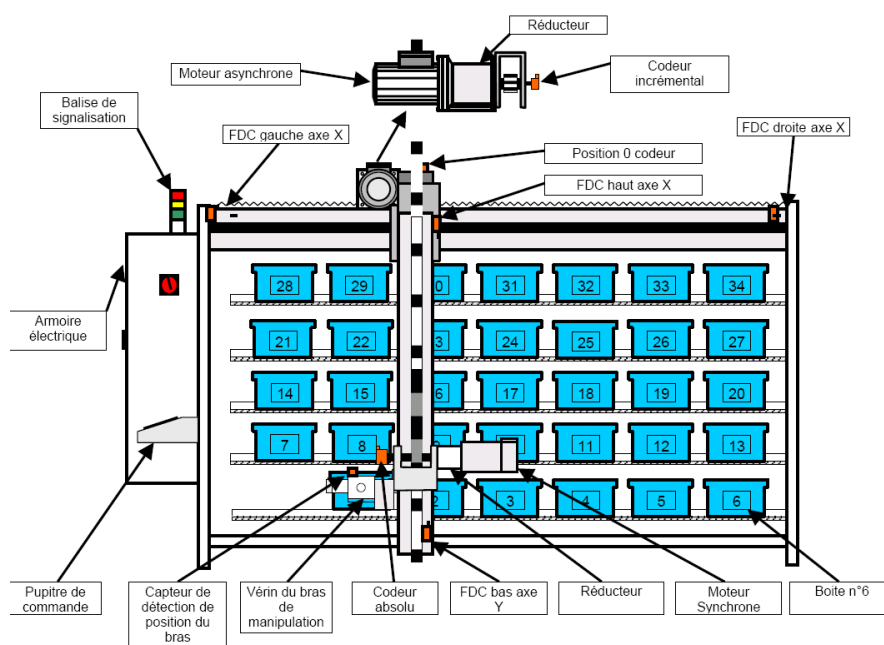


Figure 2 : Vue schématique du transtockeur

4. Configuration de l'automatisme

4.1. Configuration matérielle

Le choix de l'automate programmable s'est concrétisé sur un *TSX P57 103M* de la gamme *Prémium*. Le TSX 57 est un automate modulaire qui comprend (cf. figure 3) un rack, un module d'alimentation, une embase processeur, puis diverses cartes qui sont à définir en fonction de la configuration souhaitée et des éléments matériels à commander.

Après analyse du système, la configuration souhaitable serait, entre 16 à 32 entrées TOR, moins de 16 sorties TOR, des sorties analogiques, une sortie CANOpen, un coupleur de réseau Ethernet TCP/IP et des entrées de comptage rapide.

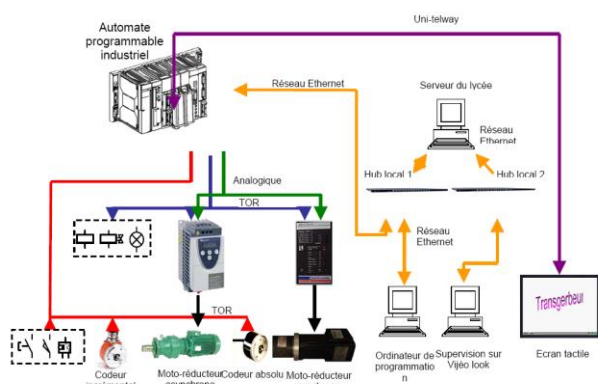


Figure 3 : L'automate programme utilisé

Il aurait été intéressant d'utiliser un processeur de type *TSX P57 2623*, car celui-ci possède une liaison Ethernet intégrée et capacité de 48 kmots internes qui aurait facilité la gestion du stock par automate. Pour des raisons pédagogiques, nous avons préféré prendre une carte coupleur Ethernet séparée.

4.1.1 Processeur *TSX P57 103M*

Capacité entrées/sorties :

512 E/S TOR

8 voies métier

Capacité de coupleurs :

1 Réseau

2 bus AS-i

Capacité mémoire :

32 K mots et jusqu'à 96 K mots avec extension PCMIA.

Ce processeur peut gérer jusqu'à 4 racks maximum.

4.1.2 Module Entrées TOR

Le système transtockeur requiert entre 16 et 32 entrées TOR et une tension d'alimentation 24 CC en logique positive. Nous avons donc choisi le Module *TSX DEY 32D2K* qui correspond au besoin. Celui-ci nécessite un raccordement par connecteur HE 10. Nous

avons donc ajouté un câble de HE10 et une embase de raccordement de chez Phoenix contact.

4.1.3 Module Sorties TOR

Pour le transtockeur moins de 16 sorties sont nécessaires, elles sont destinées à alimenter des relais et des contacteurs de puissance sans intermédiaire. Il est donc préférable d'opter pour des sorties à relais qui autorisent un courant supérieur et bidirectionnel contrairement aux sorties statiques.

Le module choisit est le *TSX DSY 16R5*.

4.1.4 Module de Sorties Analogiques

Les modules de sorties analogiques transmettent une consigne de tension ou de courant à un équipement tel que variateur de vitesse, gradateur etc. Les modules de sorties analogiques possèdent 4 caractéristiques principales, le type de sortie (+/-10V, 0...20mA, 4...20mA), la résolution, le nombre de sorties et le raccordement.

Le transtockeur nécessite 2 sorties analogiques (2 variateurs), le variateur du moteur synchrone autopiloté oblige une commande du sens de rotation par le signe de la consigne analogique. Le module choisit est alors le *TSX ASY 410* qui possède 4 sorties analogiques avec une résolution de 11 bits + signe. Soit 2048 valeurs (pour +/-10V : 4,8 mV près).

4.1.5 Carte coupleur réseau Ethernet

Les coupleurs réseau Ethernet permettent de faire communiquer plusieurs appareils distants en utilisant 2 profils de communications Ethway et TCP/IP sur le réseau Ethernet 10 M bit/s.

Le module choisit est le *Module réseau Ethernet TCP/IP TSX ETY 110 WS*.

Aujourd'hui, notre choix aurait été un module réseau Ethernet à partir duquel nous aurions pu développer des pages au format HTML, grâce à l'option serveur web actif. Il aurait offert une plus grande exploitation de la gestion des défauts, un scanning des I/O.

4.1.6 Module de comptage

Le temps de scrutation de l'automate n'est pas assez suffisant pour compter les impulsions fournies par le codeur incrémental de l'axe X. Il est donc nécessaire d'utiliser un module de comptage destiné à cette tâche. Ainsi le comptage des impulsions est indépendant du temps de cycle du programme.

Le module choisit est le *TSX CTY 2A*, il possède deux voies de comptage rapide. Ce module permet une fréquence maximale sur les entrées de comptage de 40 kHz.

Le codeur installé est du type *GHMS/06551R/168*. Il est alimenté en 11-30 V DC. Ce codeur incrémente de 128 pts/tr et pour effectuer le trajet entre deux boîtes, il incrémente de 247 pts.

Nous calculons la fréquence, en appliquant $F=1/60*N*R$; ainsi nous obtenons une fréquence de 192 Hz.

La carte d'entrées choisie incrémente à une fréquence de 143 Hz, valeur inférieure à la fréquence du codeur.

4.1.7 Module d'alimentation et rack

Chaque rack doit posséder une alimentation qui doit être sur la position PS du rack. Le module doit être choisi en fonction de la consommation des modules présents sur le rack.

Remarque :

L'alimentation 24Vcc du module d'entrées TOR TSX DEY 32D2K ne doit pas être comptabilisée car le module et les capteurs sont alimentés par une alimentation externe. L'alimentation externe est nécessaire à cause d'une consommation importante de certains capteurs.

On remarque que le module d'alimentation TSX PSY 2600 imposés par le cahier des charges convient à la configuration matérielle de l'automate et autorise une évolution future de la station.

Le rack permet de faire communiquer les divers modules ensemble. Chaque rack permet un nombre maximum de modules. Certains racks peuvent communiquer entre eux. Pour l'automate du transtockeur, nous avons besoin de 7 positions de module, donc nous choisissons le rack TSX RKY 8 de 8 positions non extensible.

4.2. Configuration de l'automate assemblé

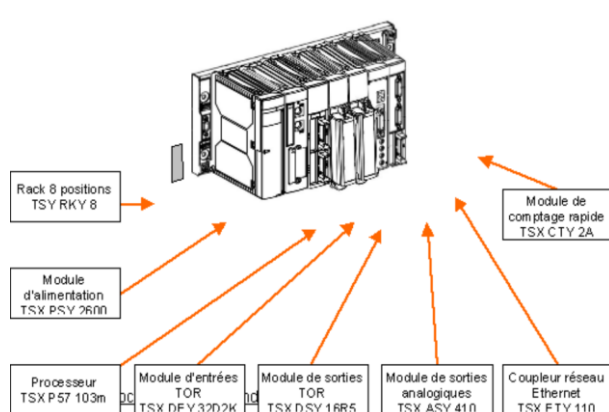


Figure 4 :

4.2.1 Configuration réseau

Pour obtenir à chaque instant, l'état du transtockeur avec la supervision et avoir la possibilité de contrôler le programme de l'automate, il faut configurer la communication entre l'automate et la supervision ou bien l'automate et un PC. Le lycée utilise un réseau Ethernet TCP/IP. Nous allons d'abord définir

rapidement ce qu'est le protocole TCP/IP puis nous expliquerons les étapes pour mettre en place la communication.

4.2.2 Le protocole TCP/IP

Définition : Transmission Control Protocol / Internet Protocol soit TCP/IP, cette appellation vient de deux protocoles utilisés dans ce type de communication. Afin de pouvoir faire communiquer deux équipements on utilise plusieurs protocoles. Ces protocoles peuvent être différenciés en couche. Ces couches permettent de séparer les problèmes car chaque protocole à sa fonction.

Pour le TCP/IP on peut simplifier le modèle ISO qui comporte 7 couches en un modèle à 4 couches (cf. figure 5).

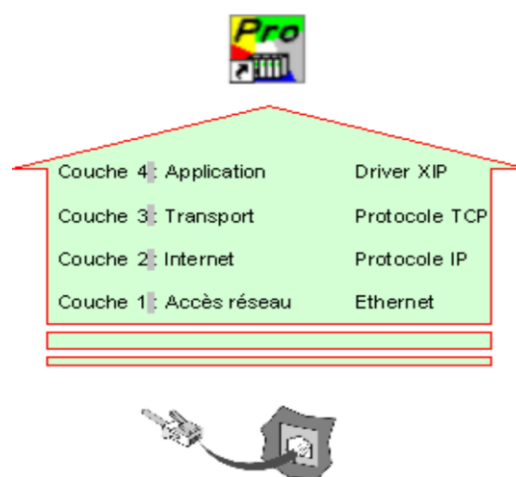


Figure 5 : Le modèle TCP/IP

Couche 1 : physique

Elle définit le type liaison. exemple paire torsadée, fibre optique, Wifi etc...

Couche 2 : réseau

Elle est chargée de transmettre les paquets de donnée au destinataire en gérant l'adressage et le routage. Cette couche contient d'autres protocoles.

Couche 3 : transport

Elle assure l'acheminement des données à la bonne application, elle utilise la notion de port qui est un numéro propre à chaque application, XIP : port 402. Elle permet également de contrôler la bonne communication.

Couche 4 : application

Elle fait l'interface avec le driver et l'application. exemple: Internet explorer.

4.2. Mise en place du réseau automate/supervision (cf. figure 6)

Afin de pouvoir mettre en oeuvre rapidement la mise en réseau de l'automate, voici les différentes étapes de cette procédure.

La première étape est la configuration de l'automate et plus particulièrement du coupleur Ethernet TCP/IP. Pour cela il est impératif d'effectuer la configuration en reliant le PC et l'automate via le câble de liaison traditionnel. Il sera possible par la suite d'effectuer les transferts de programme via le coupleur Ethernet (plus rapide).

Remarque :

Si le transfert des programmes est effectué par le coupleur, il faut vérifier que la configuration du coupleur est identique (IP et sous réseau) à la configuration d'origine. Sinon le transfert sera interrompu et il sera alors nécessaire de reconfigurer l'automate via le câble de liaison.

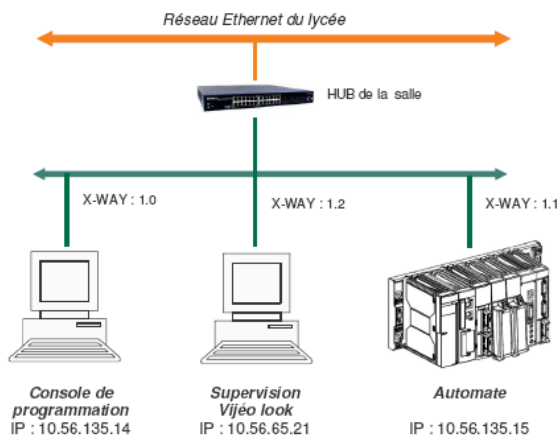


Figure 6 : Réseau automate/superviseur

5. Présentation du programme

Les différentes parties du programme de l'automate ne seront pas toutes détaillées, mais, le principe de programmation spécifique est expliqué dans les paragraphes suivants. Les premiers éléments englobent le noyau du programme qui est commun aux différents modes de fonctionnement.

Le programme a été écrit en langage Littéral Structuré (ST).

On a tout d'abord réalisé le noyau du programme qui définit la partie gestion du déplacement du bras ainsi que les différentes vitesses. Une fois cette partie validée, on a réalisé la partie conversion et le mode automatique.

Etant donné que la supervision et l'écran tactile n'étaient pas opérationnels, on a effectué les tests via une table d'animation et un écran d'exploitation disponible sur logiciel *PL7 Pro*. Ensuite on a réalisé le

mode manuel, partie la plus difficile à mettre en oeuvre, car le déplacement doit être semi-automatique. A chaque impulsion, le bras doit se positionner en face de la boîte, puis il ne doit pas pouvoir se déplacer dans les limites physiques, des capacités de stockage du transgerbeur. Il a fallu gérer la présence des boîtes à l'intérieur du transgerbeur ainsi que la quantité de pièces par boîtes.

Une partie du programme automatique est séquentiel, mais on n'a pas souhaité la réaliser en grafset car ce type de langage est très gourmand en mémoire, et la configuration matériel (carte métier) a diminué énormément la capacité de la mémoire nous obligeant à simplifier au maximum le programme. On aurait pu réaliser certaines parties de programme avec des DFB (Blocs de Fonctions Prédéfinis) et des DFB de diagnostic mais ce type de langage demande également une mémoire importante. Ces DFB de diagnostic permettent d'afficher sur un écran d'exploitation, une fenêtre intitulée "VIEWER". Le VIEWER affiche les messages de défaut, permettant de diagnostiquer l'installation lorsque les DFB de diagnostic ont été programmés.

Le synoptique représenté à la figure 7 présente les différentes parties du programme automate. L'élaboration du synoptique permet de séparer chaque partie du programme, afin de les rendre indépendantes et fiables.

Les différentes parties :

- 1- La partie conversion, qui permet de déterminer la position d'une boîte.
- 2- La partie commande de l'axe X.
- 3- La partie commande de l'axe Y.
- 4- La partie qui fait le lien entre la conversion et la commande des axes.
- 5- La partie automatique, elle gère le déplacement automatique en fonction de l'action demandé.
- 6- La partie manuelle, elle gère le déplacement manuel en fonction de l'action demandé.
- 7- La partie gestion interface, elle transmet les informations de l'opérateur.
- 8- La partie commande vérin.
- 9- La partie gestion du stock, elle gère le nombre de pièces et la présence des boîtes.

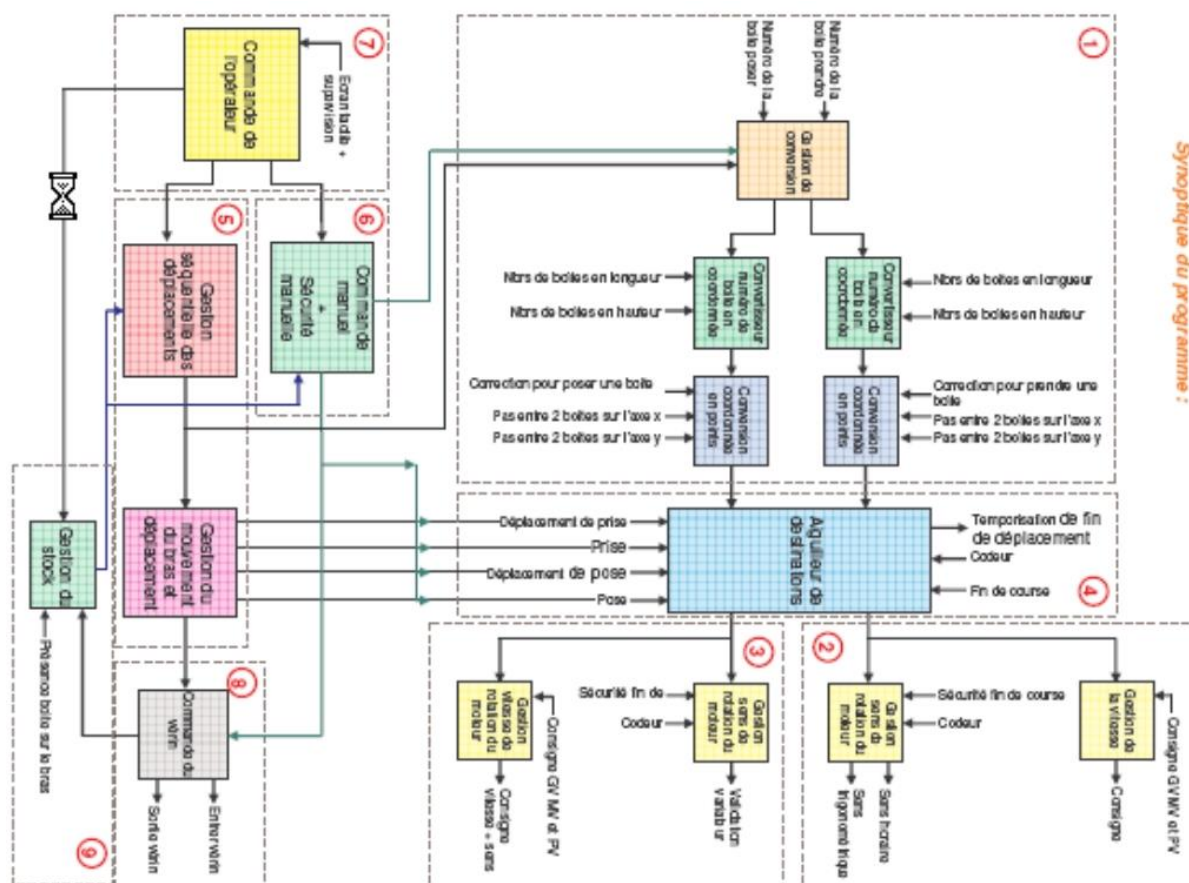


Figure 7 : Synoptique du programme

On peut identifier une partie commune au mode automatique et manuel. Ces parties communes sont 1, 2, 3, 4. Cette approche permet de simplifier la programmation.

6. Procédure de commande

6.1. Procédure de commande des moteurs des axes

Le principe de commande des moteurs des axes X et Z sont identiques :

- Consigne de vitesse et sens de rotation par sortie analogique +/- 10v.
- Alimentation du variateur par contacteur de ligne commandé par automate.
- Sélection du sens de rotation et validation du déplacement par relais commandé par automate.
- Les moteurs possédant un frein à manque de courant, commandé par automate.

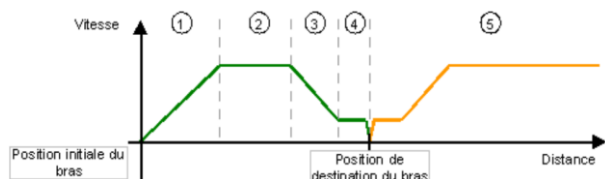


Figure 8 : Vitesse en fonction de la position à atteindre

Tel que montré à la figure 8, les phases de déplacements sont :

- ① Accélération définie par la configuration du variateur.
- ② Vitesse constante (grande vitesse).
- ③ Décélération contrôlée par l'automate.
- ④ Vitesse constante (petite vitesse).
- ⑤ Arrêt, puis positionnement du bras.

6.2. Procédé de commande du vérin.

Le vérin est commandé par une électrovanne 5/3. Deux sorties de l'automate commandent cette électrovanne. Deux capteurs contrôlent la position du vérin.

6.3. Procédé de communication avec l'écran tactile.

La communication entre l'automate et l'écran tactile s'effectue via la prise auxiliaire, se situant sur le processeur de l'automate. Le protocole de communication est de type UNI-TELWAY avec une vitesse de transmission de 19200 bits/s.

7. Développement du programme.

Nous développerons deux sections du programme pour illustrer la démarche qui a été adoptée pour résoudre l'automatisme.

7.1. Conversion : N°boîte/position

(Partie 1 du synoptique du programme, cf. figure 7)

Le cahier des charges stipule que le programme automate doit être compatible avec les configurations de transgerbeurs différents (capacité). Ainsi, il faudra prendre en compte différents paramètres qui devront être utilisés tout au long de la programmation. Nous allons aborder la partie du programme qui détermine la position d'une boîte en fonction de son numéro et des paramètres du transgerbeur.

On a déterminé la position d'une boîte à partir de différents paramètres, et en prenant la démarche suivante :

- Une première conversion permet de déterminer les coordonnées x et y, à partir du N° de la boîte, de la longueur et de la hauteur du transtockeur.
- Les coordonnées sont multipliées par un pas correspondant au nombre points "codeur" entre deux boîtes en x et y. Un facteur de correction leur sera ajouté ou soustrait pour avoir une position de prise ou de dépose de boîte.

Pour connaître la coordonnée en x, il faut diviser le numéro de boîte par la longueur du transgerbeur et récupérer le reste de cette division ou alors diviser le numéro de boîte par la hauteur du transgerbeur et récupérer le multiplicateur.

Pour connaître la coordonnée en y, il faut diviser le numéro de boîte par la hauteur du transgerbeur et récupérer le reste de cette division ou alors diviser le numéro de boîte par la longueur du transgerbeur et récupérer le multiplicateur.

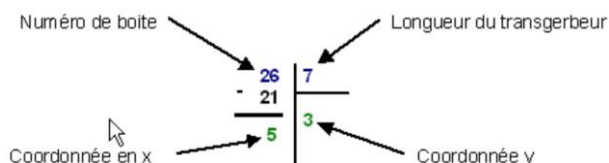


Figure 9 : Exemple de conversion (paramètres : longueur = 7, hauteur = 5, numéro de boîte = 26)

On peut constater que la hauteur n'est pas nécessaire pour la conversion, mais elle serait utilisée pour vérifier si le numéro de boîte à convertir ne dépasse pas la capacité de stockage du transgerbeur.

7.2. Conversion des coordonnées en points

Afin de déterminer la position en point, il suffit de multiplier les coordonnées x et y par le pas correspondant au pas entre deux boîtes (cf. Figure 10).

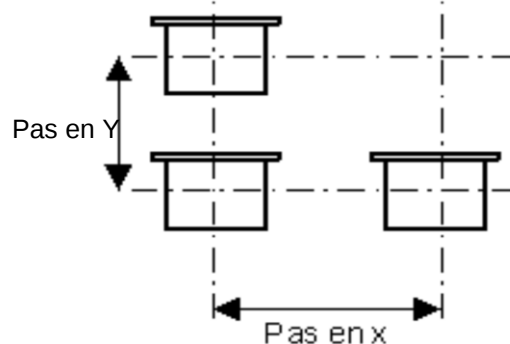


Figure 10

Ainsi on peut connaître la distance en points que doit parcourir le bras par rapport à l'état initial. Mais cette conversion n'est pas encore exploitable car le bras doit être positionné soit légèrement au dessous de la boîte afin de la prendre ou au dessus de la boîte afin de la déposer. Pour cela il faut ajouter une correction pour prendre ou déposer une boîte (cf. figure 11).

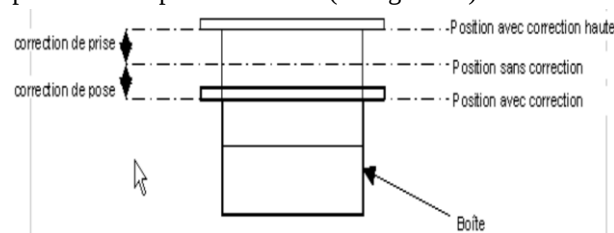


Figure 11

Au préalable, la distance en point entre deux boîtes sur l'axe x et y a été calculée et nous avons calculé également les distances corrections pour prendre et déposer une boîte :

- Distance en x : 247 pts.
- Distance en y : 81 pts.
- Correction de prise : 9 pts.
- Correction de pose : 9 pts.

Pour faciliter la compréhension, Il y a deux sections de programme de conversion, une pour la prise de boîte et l'autre pour la dépose de boîte, car lors d'une entrée ou d'une sortie de boîte, il y a une phase de prise de boîte correspondant à la boîte à prendre et une phase de pose de boîte correspondant à la boîte à déposer.

Le programme est donné à la figure 12.

- ① Tout d'abord une instruction IF ... THEN autorise la conversion si le numéro de boîte correspond à la capacité de stockage et qu'elle soit positive.
- ② L'instruction arithmétique "REM" permet de calculer le reste d'une division et l'instruction "/" permet de faire la division. La valeur de ces deux instructions sont misent dans des mots intermédiaires

(Pas_y_1 et Pas_x_1) et ces valeurs permettent de récupérer que la valeur entière.

③ Ensuite les deux mots intermédiaires sont multipliés par le nombre de points entre deux boîtes sur l'axe x et y, puis ils sont stockés dans les mots "coord_x1" et "coord_y1" qui correspondent à la position de la boîte.

④ "Coord_y1" est la seule valeur qui doit être corrigée. Ceci est réalisé en ajoutant une correction pour la prise de boîte et une autre pour soulever la boîte. Les résultats de ces deux corrections sont mis dans les mots "Coord_y1_correct_p" et "Coord_y1_correct_m". "Coord_y1_correct_m" correspond alors à l'emplacement où doit se positionner le bras avant de sortir le vérin et "Coord_y1_correct_p" correspond à la position du bras lorsque le vérin est sorti.

⑤ Si l'instruction IF... THEN est fautive la conversion n'est pas faite et le bit "Dep1" est mis à 1, afin de prévenir d'une mauvaise saisie de l'opérateur.

```
IF(Boîte_a_prendre<(Para_trans_long*Para_trans_large))AND
(Boîte_a_prendre>=1)THEN ①

(*conversion numéro de boîte à prendre en coordonnées*)
Pas_y_1:=(Boîte_a_prendre/Para_trans_large); ②
Pas_x_1:=(Boîte_a_prendre REM Para_trans_large);

(*coordonnées de destination de la boîte à prendre*)
Coord_x1:=(Pas_x_1*Para_trans_boîte_x); ③
Coord_y1:=(Pas_y_1*Para_trans_boîte_y); ④

(*correction de déplacement*)
Coord_y1_correct_p:=(Coord_y1+Para_trans_boîte_in);
Coord_y1_correct_m:=(Coord_y1+Para_trans_boîte_out); ⑤

Dep1:=FALSE;
ELSE
Dep1:=TRUE;(*indique le dépassement du numéros de boîte*)
END_IF;
```

Figure 12 : Conversion boîte 1

Exemple de variables déclarées :

Para_trans_boîte_in : mot constant contenant la correction pour prendre une boîte.
Para_trans_boîte_out : mot constant contenant la correction pour poser une boîte.
Pas_y_1 : mot intermédiaire contenant la coordonnée en Y de la boîte à prendre.
Pas_x_1 : mot intermédiaire contenant la coordonnée en X de la boîte à prendre.
Coord_y1 : mot contenant la position sur l'axe Y en point de la boîte à prendre.
Coord_x1 : mot contenant la position sur l'axe X en point de la boîte à poser

La section intitulée « Conversion boîte 2 » est identique à la section précédente mais correspond au numéro de boîte à déposer, seuls les noms des variables changent. Les mots constants qui correspondent aux paramètres du transgerbeur sont réutilisés, assurant

ainsi une compatibilité du programme avec d'autres configurations de transgerbeur.

7.3. Détermination des vitesses d'approche

(Parties 2 et 3 du synoptique de la figure 7)

Principe : A l'approche de la boîte, la vitesse du bras doit progressivement diminuer.

```
(*vitesse en mode auto*)
IF Mode_auto THEN
IF(Avant_x OR Arriere_x)AND Autorisation_d THEN
(*passage en grande vit*)
IF (ABS(Coord_x-Courant_x)>Para_gv_coord_x)AND(Courant_x>=1)THEN
%QW3.0:=Para_cons_gv_x;
END_IF;
(*passage en moyenne vit*)
IF (ABS(Coord_x-Courant_x)<=(Para_gv_coord_x)AND(ABS(Coord_x-Courant_x)>=(Para_pv_coord_x)AND(Courant_x>=1)THEN
%QW3.0:=(Para_cons_gv_x-Para_cons_pv_x)/(Para_gv_coord_x-Para_pv_coord_x)*(ABS(Coord_x-Courant_x)-Para_pv_coord_x)+Para_cons_pv_x;
END_IF;
(*passage en petite vit*)
IF (ABS(Coord_x-Courant_x)<Para_pv_coord_x)OR(Courant_x<0)THEN
%QW3.0:=Para_cons_pv_x;
END_IF;
ELSE
%QW3.0:=0;
END_IF;
END_IF;
```

Figure 13

Pour ne pas avoir une variation importante de la vitesse entre le passage de grande vitesse à petite vitesse, une rampe a été élaborée. La rampe est proportionnelle à la distance d'approche restante. Soit, la fonction "Y= aX + b". "a" est égale à la variation de la vitesse en fonction de la distance. "b" est l'image de la petite vitesse. "X" est la variable correspondant à la distance restante.

8. Conclusion

L'article, vous a proposé qu'une partie de la réalisation du projet. Nous travaillons actuellement, dans le cadre de la mise en place du référentiel du BTS Electrotechnique, à l'élaboration de thèmes d'étude dans l'enseignement des "Essais de systèmes" et de "Génie électrique".

Plusieurs domaines d'étude sont concernés :

- Comportement des charges mécaniques.
- La sécurité machine et la mise en conformité.
- Les équipements communicants.

Ce projet a permis de sensibiliser les étudiants à différents domaines de l'Electrotechnique. Ce travail a demandé de leur part beaucoup d'abnégation et de rigueur pour aboutir à un produit qui fonctionne. Nous aurions souhaité utiliser des outils de programmation récents tel que l'atelier logiciel "UNITY", mais le coût de ce logiciel pour l'enseignement a été dissuasif.

Banc de tarage de disjoncteur

P. DRILLET

Lycée Vauban, Brest

Contact : Pascal.Drillet@ac-rennes.fr

Résumé : La société Schneider electric dispose d'un banc de tarage pour disjoncteur, ce banc consiste à mesurer le temps de déclenchement des disjoncteurs en fonction du courant injecté dans les pole. Les disjoncteurs à testés sont situés dans des bâtiments de la marine nationale ou de la marine marchande. Les organismes de sécurités (Apave, Socotec...) imposent une vérification tous les 2 ans. Ce banc de tarage a été jugé obsolète. En effet, il ne peut injecter du courant que jusqu'à une valeur de 10000 A. L'injection doit pouvoir se faire jusqu'à 20000 A vu les nouveaux disjoncteurs présents dans les bâtiments. Pour pouvoir atteindre de telle valeur de courant, on fait un essai en court-circuit d'un transformateur associé à un autotransformateur. Le court-circuit est réalisé par les pôles du disjoncteur à tester. La commande de l'autotransformateur est manuelle. L'idée est d'utiliser un autotransformateur motorisé. La commande est réalisée par une commande 0/10 V via une sortie analogique de l'automate. La consigne de courant à injecter et le temps de déclenchement du thermique sont affichés sur le magélis. Le temps de déclenchement du magnétique sera visible à l'oscilloscope.

1. Historique

La division marine de la société *Schneider electric* basée à BREST a sollicité le lycée Vauban afin de réaliser un banc de tarage de disjoncteur. Ce projet a été réalisé par un groupe de quatre étudiants de 2ème année de B.T.S. électrotechnique dans le cadre de leur thème d'étude. Comme le prévoit le référentiel examen, ce projet comportait une phase d'étude, de réalisation et de mise au point. Les étudiants ont du également prévoir une sous-traitance de la partie mécanique. Celle ci a été réalisée par les secteurs de mécanique (BEP usinage) et chaudronnerie (BTS Chaudronnerie). L'intervention mécanique comportait l'usinage des jeux de barre. La partie chaudronnerie comprenait la fabrication des supports de jeux de barre, les armoires électriques comprenant l'autotransformateur et le transformateur.

2. Description du projet :

Les disjoncteurs à tester se trouvent dans des bâtiments soit de la marine nationale, soit de la marine marchande. Les organismes de sécurité (Apave, Veritas...) exigent des contrôles périodiques de ceux-ci, tous les 2 ans. Les tests portent sur les temps de déclenchement de l'appareil de protection en fonction du courant injecté dans les pôles. L'intensité des

courants injectés peuvent atteindre 20.000 A. La valeur de la consigne courant est affichée par l'intermédiaire un terminal de dialogue type *MAGELIS*. Un programme automate gère les différents cycles de fonctionnement. Le temps de déclenchement du déclencheur thermique est lisible sur le *magelis*. Pour le déclencheur magnétique, on utilise un oscilloscope numérique. L'automate édite un rapport via le *magelis* pour préciser le bon ou mauvais fonctionnement du disjoncteur. Les différents disjoncteurs sont du type *SELPACK 630/1000/1600/2000/2500 A*, *DMG 1250/2500/3200 A*.... les pannes sont souvent d'ordre mécanique (réglage des ressorts, nettoyage des pôles....). Le budget assigné avoisine 15.000 €.



Figure 1 : Banc de tarage de disjoncteur

Sur les figures 2 et 3 sont illustrées la partie puissance et al partie commande du banc de tarage réalisé.

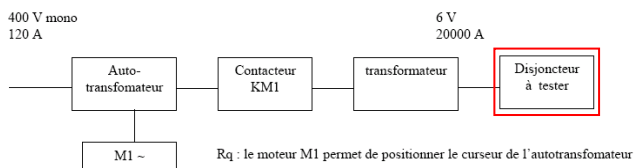


Figure 2 : Synoptique de la partie puissance

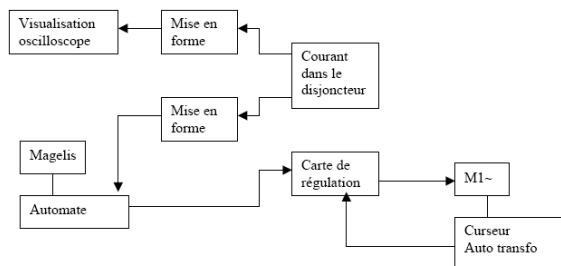


Figure 3 : Synoptique de la partie commande

3. Réalisation de la partie puissance

3.1. Le banc d'essai :

Le banc d'essai a été réalisé entièrement au lycée Vauban par les sections de BEP Usinage et de BTS Chaudronnerie (cf. figure 4). Pour faire des essais sur le déclencheur magnétique, il faudra placer 2 pôles en série ceci afin d'éviter l'interaction des circuits magnétiques ; pour le déclencheur thermique on utilisera un seul pôle. D'où un emplacement différent pour tester les différents déclencheurs.

La liaison jeux de barres- secondaire transformateur se fera par 12 câbles de 240 mm² tel que montré par la figure 5.

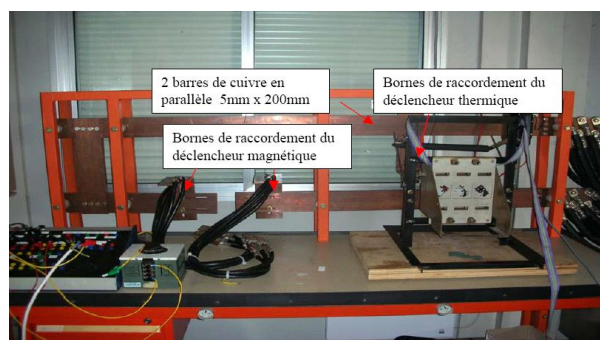


Figure 4 : Banc de charge



Figure 5 : Connexions jeux de barres au secondaire du transformateur

3.2. Le transformateur

Le cahier des charges impose de pouvoir injecter 10000 A pendant 3 minutes pour tester le déclencheur magnétique dans le cas le plus défavorable (coude de la courbe). BCV technologie (fournisseur du transformateur), a donc imposé un transformateur 380/6,8 V avec un courant secondaire nominal de 7500 A et un courant impulsionnel de 12500 A (puissance nominale 45 KVA). Ce qui donne un rapport de transformation $m = 6,8 / 380 = 0,0179$.

Le courant primaire maximal sera de $10000 \times 0,0179 = 179$ A, le courant primaire nominal de $7500 \times 0,0179 = 130$ A.



bc TRANSFORMATEURS	
FONTENAY LE COMTE 85200 FRANCE	
TRANSFORMATEUR	MONO PHASE
PROJET: 153591	OF: 305767 / 001
NORME: CEI 726-82	FS: 50/60HZ
P: 50 KVA	COUPLAGE: 110
UP: 380 V	IP: 132 A
US: 6.8 V	IS: 7500 A
Ucc: 13 % CI: H	N: 1: 1.1 KV
DATE: 0350	POIDS: 360 KG

Figure 6 : Photo du transformateur et plaque signalétique

Le choix de notre autotransformateur dépend de la valeur du courant I_{max} .

3.3. L'autotransformateur

L'autotransformateur devra fournir un courant de 179 A max pendant 3 minutes (qui est le temps maximum de déclenchement des plus gros disjoncteurs) et 130 A en nominal.

D'après la courbe de coefficient de surcharge donnée à la figure 7, et étant donnés les temps relativement courts d'injection de courant il est possible de sous-dimensionner l'autotransformateur, le coefficient de surcharge de l'autotransformateur pendant 3 minutes obtenu est de 2. Donc $179/2 = 89.5$ A.

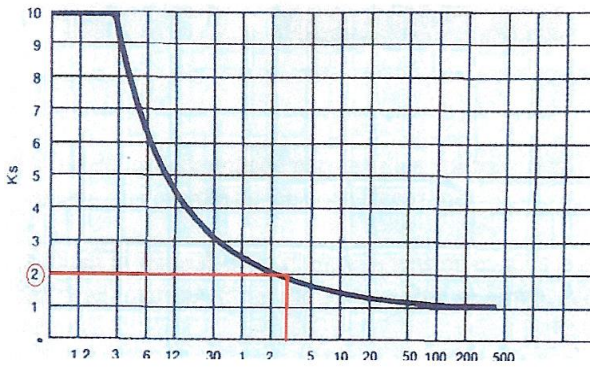


Figure 7 : Coefficient de surcharge de l'autotransformateur

On choisit un autotransformateur monophasé de 84 A de ADB technologie.

L'autotransformateur est motorisé, le moteur est commandé par un relais voltétrique TBD qui est une carte analogique destinée au contrôle de tension électrique. Son principe de fonctionnement est le suivant : suivant le signe de l'écart entre la tension contrôlée et la tension de consigne l'un ou l'autre des deux interrupteurs statiques de sortie se ferme. A égalité, les deux interrupteurs sont ouverts.

Le choix s'est porté alors sur l'autotransformateur de type 6SRT 40/40 MN, US 0 – 400 v, In = 84 A.

Ue : 400 V monophasé 50-60 Hz

Type	Us V	In A	Pn VA	Imax A	Pmax VA	Plan N°
1 SRT 30/40 N	0-400	8	3040	9	3400	111
1 SRT 40/40 N	0-400	14	5320	16	6080	111
2 SRT 40/40 MN	0-400	28	10640	32	12160	112
3 SRT 40/40 MN	0-400	42	15960	48	18240	113
4 SRT 40/40 MN	0-400	56	21280	64	24320	114
5 SRT 40/40 MN	0-400	70	26600	80	30400	115
6 SRT 40/40 MN	0-400	84	31920	96	36480	116

Figure 8 : Caractéristiques nominales de l'autotransformateur choisi

C'est un appareil multiple constitué de six autotransformateurs montés en colonne sur un même axe. Ces six autotransformateurs sont assemblés en parallèle ; un transformateur de compensation ou self d'équilibrage a pour effet de limiter le courant de circulation du aux éventuelles différences de tensions entre les curseurs.

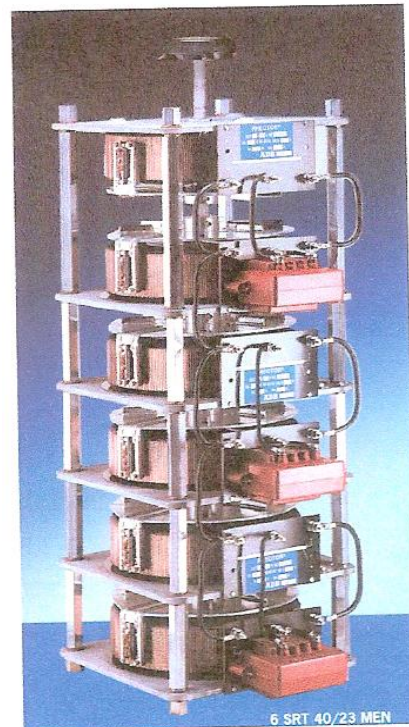


Figure 9 : Autotransformateur choisi

Comme le montre la figure 10, la tension de sortie de l'autotransformateur est proportionnelle à la tension de consigne quelque soit la charge appliquée (donnée constructeur). Cette remarque est très importante pour la partie automatisme qui suit car l'automate (via une sortie analogique) va commander la position du curseur et donc la valeur du courant lorsque le disjoncteur sera fermé (essai en court circuit du transformateur).

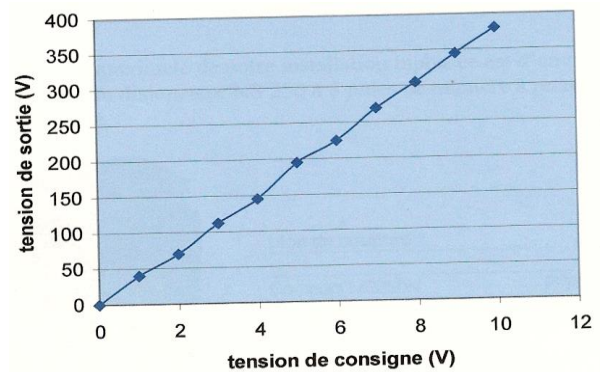


Figure 10

4. Partie automatisme

4.1. Fonctionnement

Le principe de fonctionnement est illustré par l'organigramme de la figure ci-dessous.

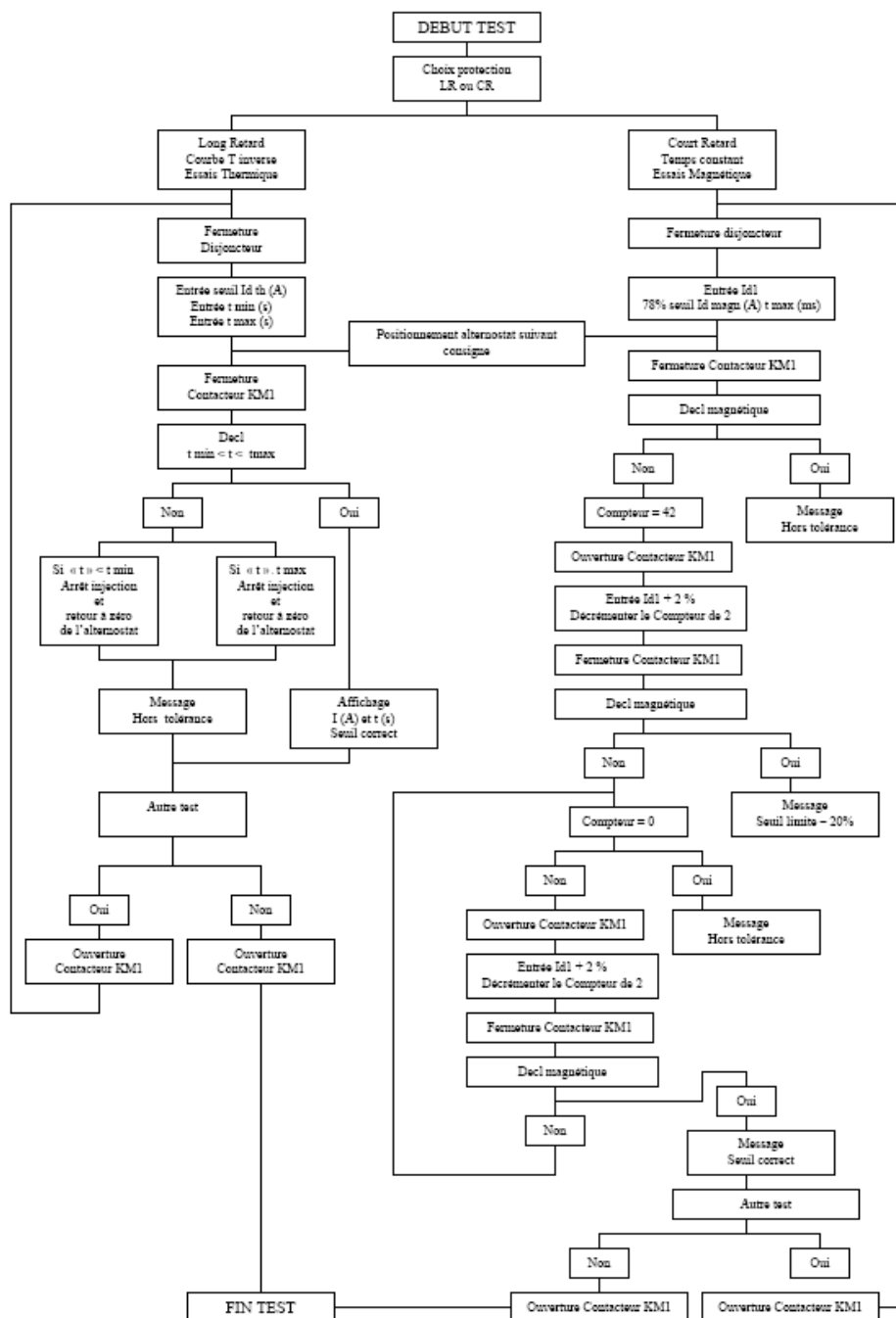


Figure 11 : Organigramme de fonctionnement

L'automate utilisé est un *TSX37 22*, on utilisera une carte E/S *TOR DMZ28DR*, et une carte de sortie analogique *ASZ 200*. La supervision se fera par un *maqelis XBT-P022010*.

L'essai en long retard a pour but de mesurer le temps de déclenchement du thermique à tester pour un courant donné et de comparer cette valeur à des valeurs minimale et maximale données par le constructeur du disjoncteur. Si l'appareil de protection déclenche au delà de ces limites, il est dit hors tolérance.

L'essai en court retard à pour but de mesurer le temps de déclenchement du magnétique à tester. Cette valeur doit être comprise entre + et - 20 % de la valeur théorique de déclenchement ce qui définit le seuil attendu. On débute l'essai à 78 % de la valeur théorique et on augmente progressivement la valeur du courant d'injection par palier de 2%. Si le disjoncteur déclenche au delà de la limite des + ou - 20%, il est dit hors tolérance.

4.2. Mise en forme des signaux

Le schéma général de la mise en forme des signaux est donné à la figure 12.

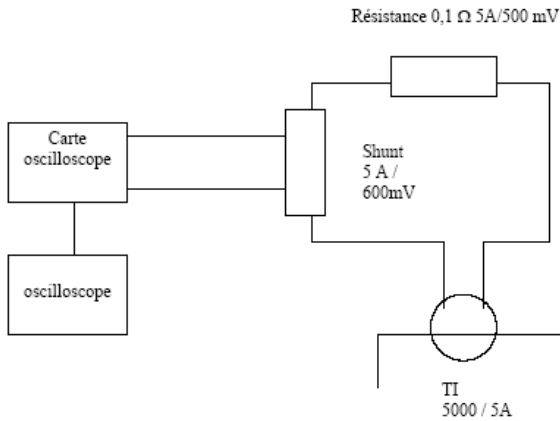


Figure 12 : Synoptique de la partie puissance

Le rôle de la carte oscilloscope (cf. figure 13) permet d'amplifier le signal issu du shunt pour pouvoir mesurer le temps de déclenchement à l'oscilloscope.

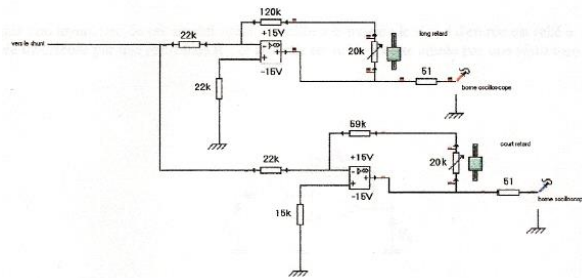


Figure 13 : Schéma de la carte oscilloscope

5. Procédure d'essai

Quelque soit la manipulation à réaliser, il est nécessaire de débiter par un essai préliminaire afin de déterminer le coefficient d'impédance K , qui varie selon le type de disjoncteur et influe sur la valeur réelle du courant injecté. On rappelle que le constructeur de l'autotransformateur précise que la tension de sortie 0 / 400 V ~ est proportionnelle à la tension de consigne 0 / 10 V.

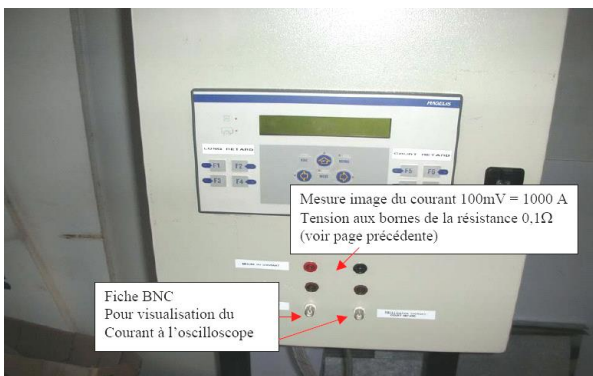


Figure 14 : Armoire automate + Magelis

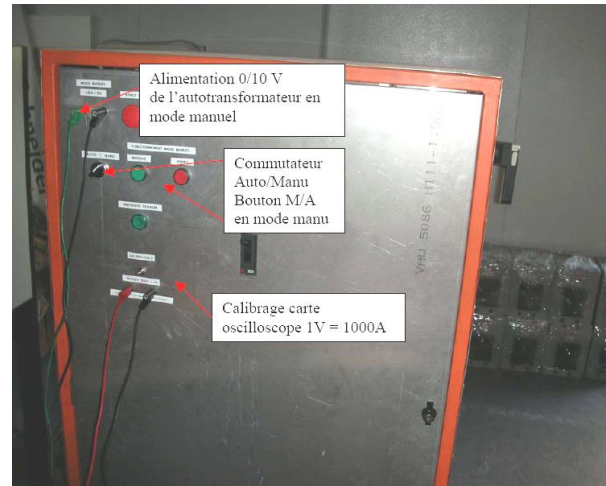


Figure 15 : Armoire autotransformateur

5.1. Mode manuel.

On branche l'alimentation 0/10 V sur les bornes prévues (cette alimentation remplace la sortie analogique de l'automate).

On place le commutateur auto/manu sur la position manuelle :

1- On réalise une première injection afin de déterminer la tension de consigne pour un courant donné (calcul du coefficient K_{manu}). On règle la tension de commande à une valeur fixe par le biais de l'alimentation 0/10 V. On injecte le courant par un appui sur le bouton marche. On fait une lecture directe du courant sur le voltmètre (100 mV - 1000A).

On arrête l'injection par un appui sur un bouton poussoir arrêt.

2- On effectue le rapport $K = \text{tension de consigne alternateur} / \text{courant réel dans le disjoncteur}$ (tension aux bornes de la résistance 0,1 Ω au secondaire du TI).

3- Pour injecter une autre valeur de courant on utilise une règle de proportionnalité.

5.2. Mode automatique.

L'essai préliminaire se fait en mode manuel, de même que précédemment.

Une fois le courant mesuré pour une tension de commande donnée, on calcule le coefficient K de la manière suivante :

La sortie analogique de l'automate a une résolution de 1 mV, c'est à dire que 1 V correspond à un mot 1000 dans l'automate. K_{auto} sera donc égal au rapport : mot automate / courant mesuré.

- Essai long retard

On se place tout d'abord en mode automatique (commutateur auto/manu). On sélectionne l'essai long retard par la touche F1 du *Magelis*. On accède alors à la page de réglage des paramètres, à savoir :

I_{dth} : valeur du courant d'injection

T_{min} : temps minimum de déclenchement du disjoncteur

T_{max} : temps maximum de déclenchement du disjoncteur

Coefficient K : coefficient d'impédance

Ces paramètres sont modifiables par une impulsion sur la touche MOD et par action sur les touches flèches (la validation se faisant par la touche entrée).

Les paramètres étant validés, on peut débiter le test par appui sur la touche F2 (on accède à la page des résultats).

Une fois l'essai terminé, une impulsion sur la touche F3 permet la remise à zéro des paramètres, ce qui autorise un nouvel essai.

- Essai court retard

On détermine de la même manière que précédemment le coefficient K_{auto} . On se place toujours en mode automatique. On sélectionne l'essai court retard par la touche F5.

La page de réglage affiche :

I_{d1} : valeur de la première injection (78%)

I_{dmin} : valeur du courant minimum de déclenchement du disjoncteur (80%)

I_{dmax} : valeur maximum du courant de déclenchement (120%)

Coefficient K : coefficient d'impédance

Une fois les paramètres validés, on débute le test par la touche F6. De même que pour le long retard, il faut réinitialiser les paramètres, ici par la touche F7.

6. Conclusion

Ce thème a été très enrichissant pour les étudiants, tant par son originalité, que par son contenu. Ce thème a été amélioré lors de la session suivante, notamment en y incluant une commande de la motorisation lors du ré-enclenchement du disjoncteur, une visualisation de l'état des contacts. Ce thème qui aura finalement duré deux ans donne entière satisfaction.

L'ascenseur funiculaire de STREPY-THIEU : visite guidée

Y. MOUDIC

Lycée Joliot-Curie, Rennes

Contact : yvon.moudic@ac-rennes.fr

Résumé : Depuis le début du mois d'octobre 2002, les péniches au gabarit de 1950 tonnes et plus, peuvent emprunter l'ascenseur funiculaire de Trépy-Thieu en Belgique. Cet ouvrage a été réalisé dans le cadre de la mise au gabarit du canal du Centre, permettant ainsi aux grandes péniches de 1350 tonnes et plus de traverser l'Europe du nord de Hambourg à Paris en un minimum de temps...

Les élèves de STS Electrotechnique, encadrés par leurs professeurs ont visité ces installations techniques à l'occasion d'un voyage réalisé en avril 2003. Cette expérience est renouvelée en octobre 2006 et une reconduite bisannuelle est envisagée.

Le descriptif technique ainsi qu'un exemple d'exploitations pédagogiques possibles sont décrits dans cet article.

1. Introduction

Le transport des marchandises à travers l'Europe fait l'objet de beaucoup de discussions surtout lorsque l'on aborde les problèmes de développement durable, de pollution...

Le transport fluvial a donc des chances de redevenir une alternative intéressante au transport routier – pour les denrées non périssables et à faible valeur ajoutée, charbon, minerais, céréales, gravier, sable...) – si on accepte de mettre les moyens pour améliorer les infrastructures (élargissement des canaux et/ou fleuves, construction d'écluses modernes etc.). C'est dans cette perspective que le canal du centre (en Belgique) a été modernisé et que l'ascenseur funiculaire de Strépy Thieu a été construit.



Figure 1 : L'ascenseur

Depuis le début du mois d'octobre 2002, les péniches au gabarit de 1950 tonnes et plus, peuvent emprunter l'ascenseur funiculaire de Strépy-Thieu en Belgique.

Cet ouvrage a été réalisé dans le cadre de la mise au gabarit du canal du Centre, permettant ainsi aux grandes péniches de 1350 tonnes et plus de traverser l'Europe du nord de Hambourg à Paris en un minimum de temps.

La décision de réaliser l'ascenseur de Strépy-Thieu a été prise en 1977.

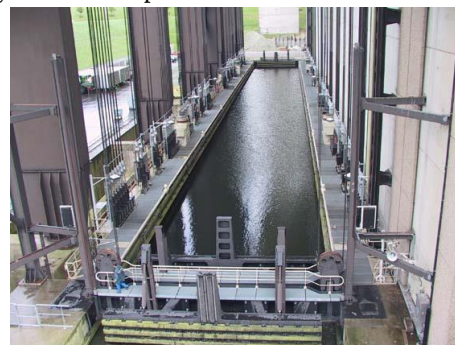


Figure 2 : Le bac, au premier plan le pare choc

25 années d'études et de travaux auront été nécessaires pour mener à bien la construction de cet ascenseur funiculaire - et du nouveau canal - dont les dimensions sont impressionnantes :

- la salle des machines (140 m de long sur 85 m de large), perchée à une centaine de mètres, a une superficie supérieure à celle d'un terrain de football.
- 8000 tonnes (masse du bac, de l'eau, et de la charge utile) sont déplacées sur un dénivelé de 73 m en moins de 7 minutes à la vitesse de 0,2 m/s.
- Le franchissement de l'écluse se fait en 40 minutes.

Un début de normalisation européenne a été mis en place à la fin du XIXe siècle, fixant les dimensions des écluses à 40 m de long et 5,20 m de large.

Les dimensions des péniches se sont adaptées à ce gabarit. Elles ont pris le nom de péniches Freycinet, leurs mensurations ont été établies pour épouser au mieux des dimensions des écluses (longueur = 38,50 m ; largeur = 5 m ; charge = 400 tonnes).

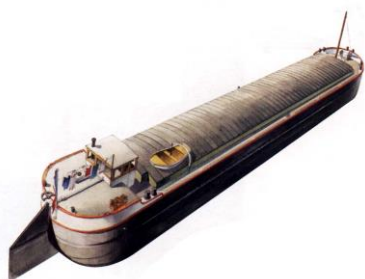


Figure 3 : Péniche Freycinet © Géo n°279

Pour dynamiser le trafic fluvial et harmoniser le réseau européen de voies navigables, un plan d'aménagement a été mis en place pour porter à 1350 tonnes le gabarit des voies navigables transeuropéennes.

En 1954, la Conférence Européenne des Ministres des transports fixait les normes minimales de la classe IV des voies d'eau d'intérêt international. Pour parvenir à un réseau européen de voies navigables cohérent, le gabarit des péniches a été porté 1350 tonnes.

C'est dans ce contexte que la modernisation du Canal du Centre été décidée. Elle a débuté en 1963, elle se termine donc en octobre 2002 avec la mise en service de l'ascenseur de Strépy-Thieu.

2. Choix du type d'ouvrage

Pour racheter une dénivellation de plus de 70 mètres entre La Louvière et Thieu, l'ancien profil du canal du centre ne compte pas moins de 2 écluses et 4 ascenseurs hydrauliques compensant chacun un dénivelé de 16 mètres. Le plus ancien de ces ascenseurs fonctionne depuis plus d'un siècle et vient d'être classé comme monument au patrimoine mondial de l'UNESCO. Cet ouvrage fonctionne toujours pour le plus grand plaisir des touristes.

Strépy se situe sur la crête de partage des eaux entre les bassins de la Meuse à l'ouest et ceux de l'Escaut à l'est.

L'absence d'alimentation en eau significative exclut donc la construction de nouvelles écluses.

Cinq projets ont alors été étudiés, incluant soit :

- 2 ascenseurs rattrapant chacun une dénivellation de 36,5 m,
- 1 ascenseur rattrapant une dénivellation de 73 m,
- 1 plan incliné longitudinal à 5%,
- 1 plan incliné longitudinal à 10 %,
- 1 pente d'eau à 3,5 %.

Le comparatif de ces différentes solutions est donné aux figures suivantes où il y apparaît que la solution « 1 ascenseur » est la plus optimale.

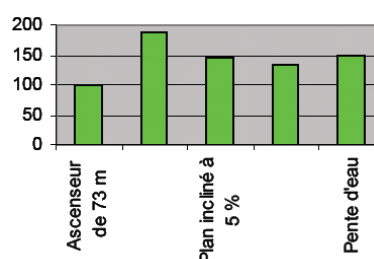


Figure 4 : Frais d'investissement et d'exploitation (%)

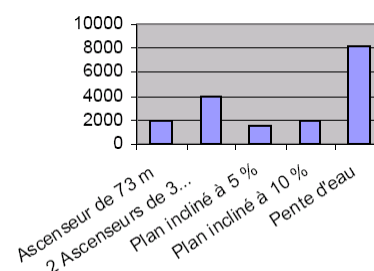


Figure 5 : Puissance installée en kW

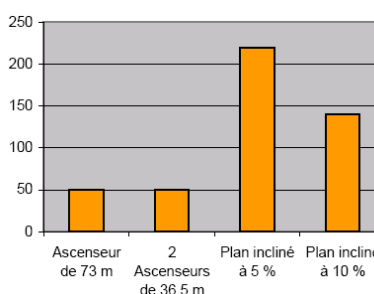


Figure 6 : Energie par translation en kWh

3. L'ascenseur

En réalité cette écluse est constituée de 2 bacs, c'est à dire de deux ascenseurs indépendants situés de chaque coté de la tour.

3.1. Le bac

Les bacs sont réalisés en construction soudée. Chaque bac est constitué de 2 poutres formant caisson de section 8m x 2 m lui assurant une grande rigidité longitudinale. Les caissons sont reliés par des

entretoises distantes d'environ 3 m. Leur forme en T a été conçue pour assurer au bac une certaine souplesse transversale.

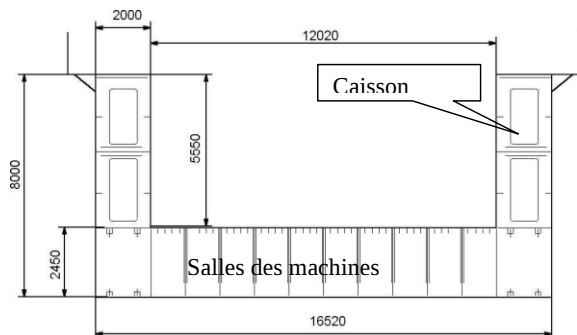


Figure 7 : Structure du bac

3.2. L'équipement

Deux salles ont été aménagées entre les entretoises, sous le bassin, pour abriter l'appareillage nécessaire à l'alimentation et à la commande des équipements électriques (moteurs, pompes...) et oléohydrauliques (vérins...).

Chaque bac est équipé de 2 stations de lutte contre les incendies susceptibles de se déclarer à bord des péniches.

3.3. Les contrepoids

Ils sont de 2 types :

- Les **contrepooids de suspension** en béton sont au nombre de 8 et pèsent 790,50 tonnes chacun. Ils sont guidés le long des colonnes métalliques par 8 galets. Chaque contrepooids est suspendu par 2 nappes de 7 câbles comme le montre la figure ci-contre.
- Les **contrepooids de commande** sont également au nombre de 8. Chaque contrepooids de commande coulisse dans la lumière du contrepooids de suspension. Il est également fabriqué en béton. Sa masse est de 178,25 tonnes. Pour éviter le contact entre les 2 contrepooids, la lumière est tapissée d'une plaque de caoutchouc.

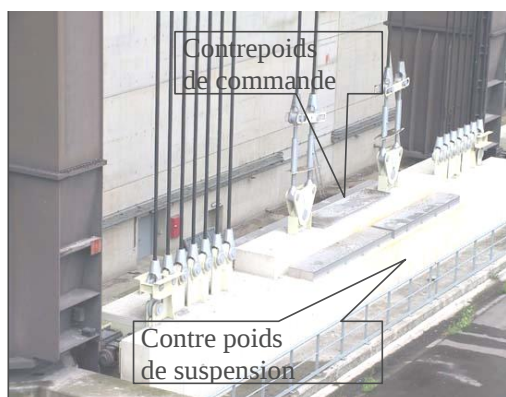


Figure 8 : Contrepoids, vue plongeante



Figure 9 : Contrepoids vue de dessous

3.4. Les câbles de suspension

Les **câbles de suspension** ont un diamètre nominal de 85 mm.



Figure 10 : Tendeurs des câbles de suspension (a), tendeurs des câbles de commande (b)

Chaque bac est suspendu à 8 groupes de 7 câbles chacun. Accroché au bac et au contrepooids le câble s'enroule autour d'une poulie de diamètre nominal de 4800 mm. Les câbles doivent tous supporter la même tension. Aussi, pour minimiser les problèmes d'hyperstatisme, ils sont arrimés au bac par des tendeurs. Ce sont des vérins oléohydrauliques. L'équirépartition des charges entre les câbles est obtenue par l'interconnection des vérins par groupe de 7. Pendant la translation du bac la circulation de l'huile entre les vérins est bloquée. Cette technique permet ainsi de réaliser un palonnier oléohydraulique. La première photo montre le groupe des 7 tendeurs ; la photo de droite donne une idée de leurs dimensions (la personne apparaissant sur la photo mesure plus de 1,80 m).



Figure 11 : Train de poulies des câbles de suspension (a), et treuil d'enroulement des câbles de commande

3.5. Les câbles de commande

Les **câbles de commande** sont groupés par paire (voir figure 4) et sont arrimés au tambour du treuil d'enroulement sur lequel ils s'enroulent en hélice. Chaque treuil entraîne 2 tambours dont le pas d'hélice est inverse. Les câbles de commande traversent le plancher de la salle des machines par une lumière. Cette lumière est obstruée par un joint d'étanchéité à plaques coulissantes dont le mouvement est imposé par position des câbles. Pour cela 2 galets roulent le long des câbles.

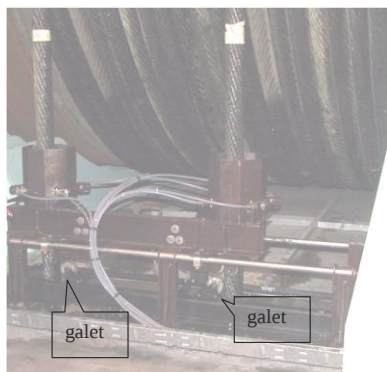


Figure 12 : Joint de la lumière de passage des câbles de commande

3.6. Les moteurs



Figure 13 : Vue du réducteur grande vitesse et du moteur



Figure 14 : Le moteur, le générateur d'impulsion, le ventilateur

Les photos ci-dessus montrent le moteur (bleu), le réducteur grande vitesse en (bleu cyan) séparés par le frein à disque. A droite du moteur on voit le générateur d'impulsions. Le ventilateur surmonte le moteur. Chacun des 4 moteurs asynchrones à cage d'écureuil développe une puissance de 550 kW.

La loi de mouvement des bacs impose des contraintes sévères aux convertisseurs, notamment les inversions de couples en cours de manœuvre, la nécessité de maintenir le bac à l'arrêt tout en développant le plein couple au moteur, l'approche du bief à très faible vitesse et le freinage sur le réseau.

La mise au point des variateurs de fréquence à largeur d'impulsions variable de type M.L.I a permis de maîtriser les vitesses inférieures à 5 Hz. La robustesse du moteur asynchrone à cage d'écureuil, son entretien réduit et son plus faible coût ont été des arguments suffisants qui ont supplanté ceux qui soutenaient une solution à courant continu.

Les conditions de fonctionnement des moteurs choisis pour la translation des bacs ont conduit à définir pour leurs grandeurs nominales :

- $U_N = 670 \text{ V}$
- $I_N = 511 \text{ A}$
- $n_s = 985 \text{ tr.min}^{-1}$
- $P_N = 510 \text{ kW}$
- $T_N = 5200 \text{ N.m}$

Les conditions de fonctionnement imposent les cas de figure suivants :

- alimentation par le réseau avec quatre moteurs et translation achevée possible sur trois moteurs
- idem avec alimentation par groupe de secours.

L'achèvement d'une manœuvre sur trois moteurs impliquerait une majoration de la puissance de chacun d'eux, ainsi qu'un surdimensionnement des changeurs de fréquence.

Pour éviter cette dépense, le constructeur a utilisé le principe de travailler à fréquence réduite de 33,5 Hz, lorsque la translation s'opère sur trois moteurs.

De 0 à 33,5 Hz, le convertisseur travaille à flux constant : la tension, la puissance et la fréquence augmentent linéairement, tandis que le couple reste constant. Le coefficient U/f reste donc constant et est égal à $1000/50 = 670/33,5 = 20$.

De 33,5 Hz à 50 Hz, le convertisseur fonctionne à puissance constante. La tension et l'intensité restent constantes, le moment du couple décroît et la fréquence augmente. Le coefficient V/f et donc le flux diminuent. Voir graphique ci-dessous :

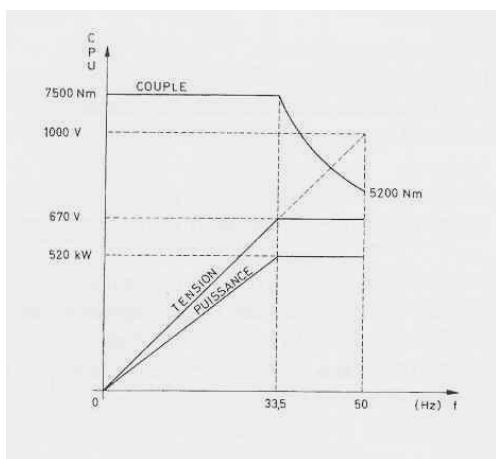


Figure 15 : Couple, tension et puissance en fonction de la fréquence d'alimentation

Ce graphique montre que ce mode de fonctionnement impose l'utilisation d'un moteur sous tension $U_N = 1000V$. Cette visite permet à nos étudiants de mettre à profit leurs connaissances acquises en TP sur un cas bien concret et de dimension plus que gigantesque.

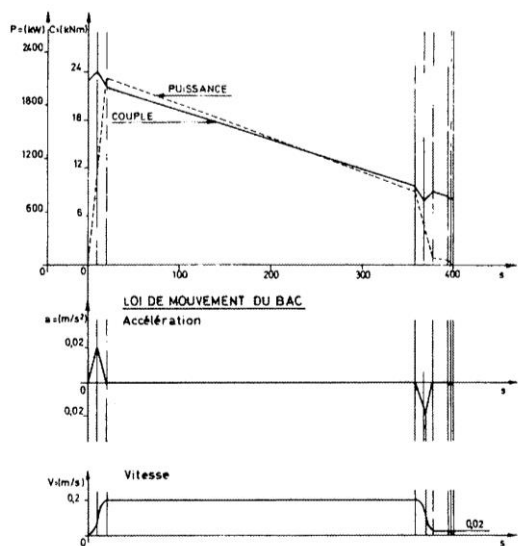


Figure 16 : Couple, puissance aux moteurs, accélération et vitesse du bac

Les courbes cinématiques ci-dessus nous changent de la traditionnelle loi trapézoïdale du mouvement. La loi de vitesse en régime transitoire est ici parabolique. Pendant l'ascension du bac à vitesse nominale la puissance et le couple diminuent linéairement. Ceci est dû à la quantité de câbles de suspension évoluant de masse de résistante en masse motrice.

4. Mise en mouvement d'un bac

4.1. Le principe

Le bac est rempli d'eau sur une hauteur moyenne de 3,75 m. Sa masse est M . Il est accroché au câble de suspension à l'autre extrémité duquel est fixé le

contrepoids de suspension, de masse M . L'équilibre entre les charges est donc assuré. Pour mouvoir ces charges, on déséquilibre l'ensemble {poulie - treuil}. C'est le rôle du contrepoids de commande. La masse m de ce contrepoids a été calculée pour que la tension dans chaque câble ne descende pas sous la barre des 100 kN.

La puissance du moteur ne sert plus ici qu'à compenser la masse du contre poids de commande, la masse du câble, les inerties des pièces tournantes et les frottements.

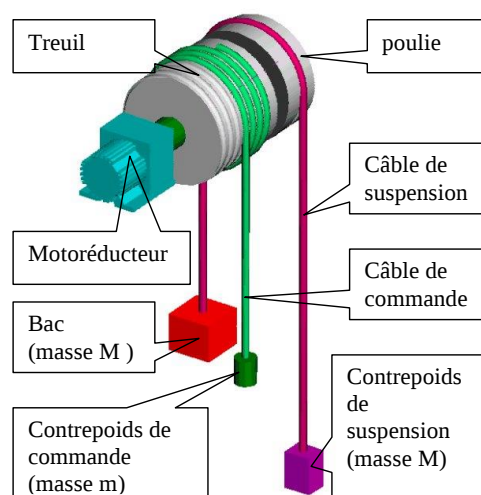


Figure 17 : Schéma de principe

L'architecture du système n'est pas ici complètement respectée. En réalité le moteur entraîne un premier réducteur (Grande Vitesse), lequel distribue la puissance à 2 autres réducteurs (Petite Vitesse) montés en parallèles. Chaque réducteur entraîne un tambour autour duquel s'enroulent 2 câbles de commande, et les groupes de poulies.

Les 4 moteurs meuvent environ 16000 tonnes en translation verticale

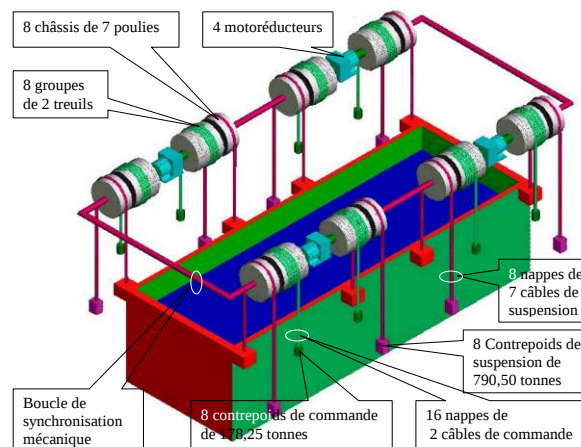


Figure 18 : Schéma général de la transmission d'énergie

4.2. La transmission de puissance

4.2.1 Premier niveau de réduction de vitesse

Le dessin ci dessous indique les caractéristiques dimensionnelles des roues dentées du réducteur grande vitesse « GV » dont l'arbre de sortie sert aussi d'arbre de synchronisation.

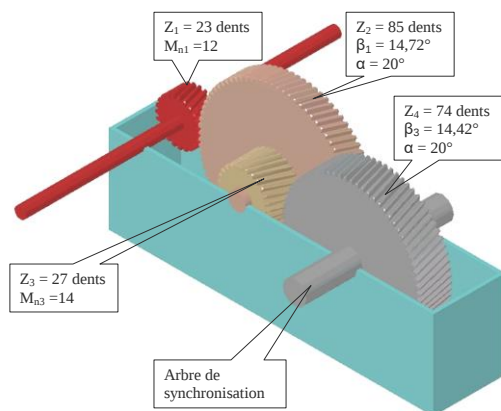


Figure 19 : Détails du réducteur grande vitesse (GV)

4.2.2 Deuxième niveau de réduction de vitesse

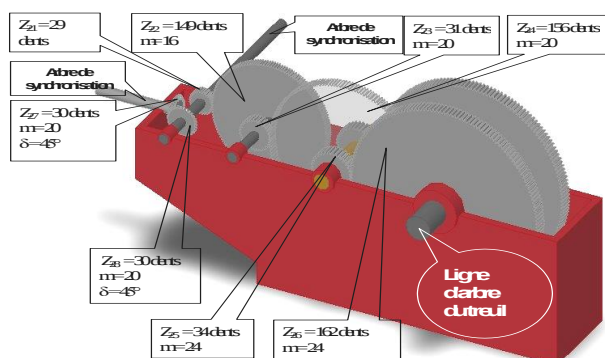


Figure 20 : Détails du réducteur petite vitesse (PV)

La figure 20 donne les principales caractéristiques des roues dentées du réducteur « Petite Vitesse ». Les dimensions de ce réducteur sont conséquentes puisque sa longueur avoisine les 8 mètres pour une hauteur d'environ 4 mètres. Une translation dure environ 6 minutes. La phase d'arrêt se déroule en 3 temps :

- ralentissement : 20 s,
- rampe : 16 s,
- Ralentissement jusqu'à l'arrêt : 6 secondes.

L'indice de transmission total est $i = 1248$.

La photo de ci-contre montre en partie le réducteur petite vitesse et une partie du frein à sabots.



Figure 21 : Vue partielle du réducteur « Petite Vitesse »

4.2.3 La synchronisation

Lors de la translation, le bac doit subir le moins d'à coups possible car on transporte ici un liquide. Toute formation de vagues aurait pour conséquence sa déstabilisation...

La synchronisation de la fréquence de rotation des moteurs est gérée électroniquement. Cette synchronisation n'est pourtant pas suffisante. Il suffit en effet que pour quelque raison que ce soit un des moteurs soit victime d'une panne, les deux treuils entraînés par ce moteur arrêtent d'enrouler les câbles, le bac est alors déséquilibré.



Figure 22 : Arbre de synchronisation

Pour parer à cette éventualité, on a ajouté une synchronisation mécanique. Il s'agit d'un arbre de transmission de puissance qui relie tous les réducteurs. Il oblige ainsi les quatre mécanismes à tourner à la même fréquence. Les quatre coins du bac se déplacent donc à la même vitesse. Le bac peut cependant être déplacé avec seulement trois moteurs, dans cette situation le déplacement se fait à demi vitesse.

4.3. Immobilisation du bac

4.3.1 Ancrage du bac dans la fosse (niveau bief aval)

Pour assurer le maximum de sécurité, le bac doit être immobilisé pendant les manœuvres d'entrée et sortie des péniches. Il doit également rester immobile en cas d'avarie sur la porte du bief.

L'encrage se fait sous la forme d'un « montage en chape » comme le montrent les photos suivantes.



Figure 23 : Photo de la fosse et emplacement des chapes d'arrimage



Figure 24 : Chape d'arrimage

4.3.2 Accostage du bac sous la salle des machines (niveau bief amont)

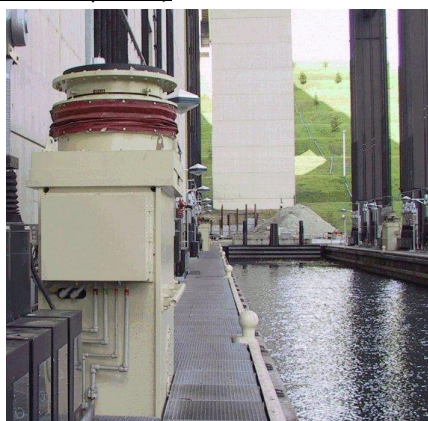


Figure 25 : Vérin d'accostage

La technique d'immobilisation du bac est ici différente. Le bac s'appuie au plafond sur 4 patins alors que les câbles de commande restent tendus (100 kN par câble).

- Pendant la montée les vérins sont « tige rentrée » (fig. A).
- En phase d'approche, une pompe alimente les 2 vérins situés de chaque côté du bac, en diagonale (fig. B) (on voit le vérin au premier plan sur la photo). Les tiges de vérins sortent au maximum de leur course. On arrête alors la pompe et on isole les circuits

oléohydrauliques des vérins, les mettant ainsi en communication 2 à 2 (en diagonale).

- Lorsque les tampons des têtes de vérins sont en contact avec les patins fixés au plafond de la tour, les tiges de vérins rentrent. L'huile en excédent est laminée et va alimenter les 2 autres vérins situés en diagonale. Lorsque les 4 tampons sont en contact, le bac est immobilisé (fig. C). La tension dans les câbles de commande est entretenue par des freins à mâchoires (appelés encore freins à sabots).

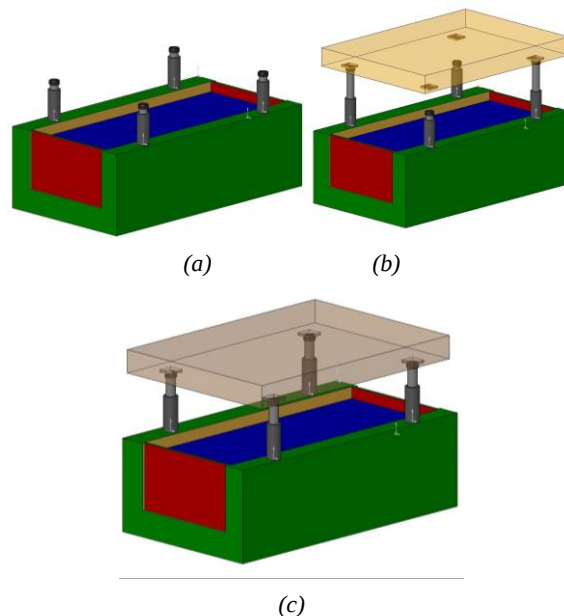


Figure 26 : Procédure d'accostage

4.3.3 Le freinage, l'immobilisation en accostage

En fin de translation les freins entrent en action.

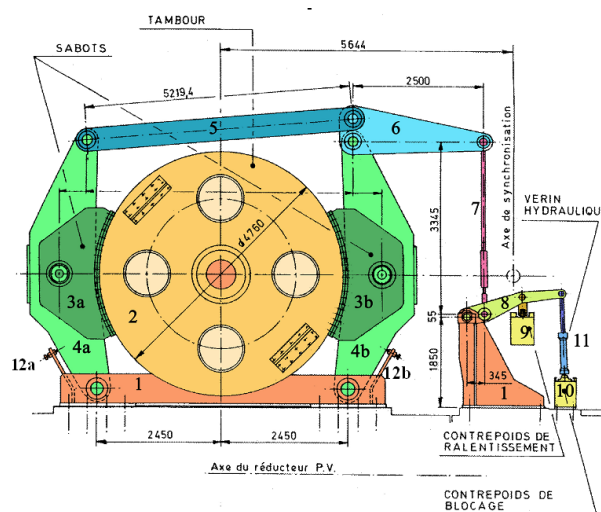


Figure 27 : Représentation plane du frein à sabots

La pression entretenue dans le vérin **11** (tige de vérin sortie, cf. figure 27) est relâchée. Le contre-poids de ralentissement **9**, de par son poids, entraîne la descente

du levier **8**, articulée sur le bâti **1** et la rentrée de tige du vérin sur une faible course. Dans son mouvement, le levier **8** entraîne le tirant **7**, la rotation l'équerre **6** articulée sur le levier de freinage **4b** lui-même en liaison pivot par rapport au bâti **1**. La bielle **5**, entraînée par l'équerre provoque la rotation du levier **3a**. Cet enchaînement de déplacements provoque le contact entre les sabots **3a** et **3b** et le tambour **2**.

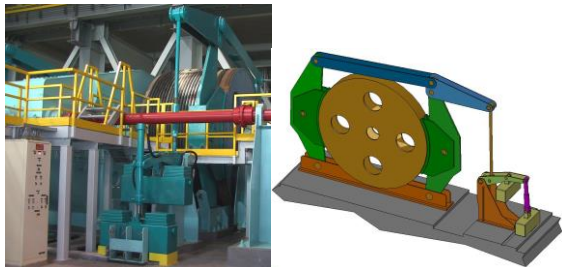


Figure 28 : Vue d'ensemble du frein à sabots (a), représentation 3D du frein (b)

A l'arrêt, alors que le moteur entretient toujours un couple pour assurer la tension des câbles, on alimente le vérin **11** en rentrée de tige. Le contrepoids de blocage **10** est alors soulevé, augmentant encore l'intensité des actions contact entre les sabots et le tambour du treuil **2**. L'immobilisation du bac en position haute est alors assurée. Le moteur est arrêté. **12a** et **12b** sont des butées contre lesquelles s'adosent les leviers de freinage.

On reconnaît ici l'arbre de synchronisation de couleur rouge.

4.3.4 Manipulation des portes

Étanchéité

Les portes du bac ne sont maintenues en place que par la poussée de l'eau (aux alentours de 130 tonnes).

L'étanchéité entre les portes **3** et la carcasse du bac **1** est réalisée par un joint plat. La seule poussée de l'eau sur les portes assure l'immobilité de ces dernières, l'écrasement des joints et par là même l'étanchéité du bac. Il en est de même pour l'étanchéité des portes des biefs.

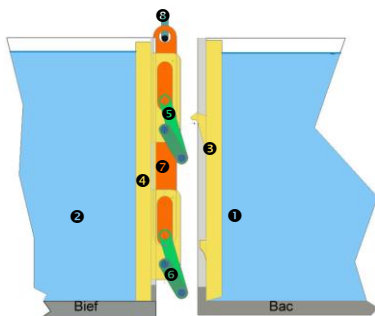


Figure 29 : Système d'ouverture des portes aux repos

Mise en continuité bac-canal

Cette opération se fait en plusieurs étapes :

• Réalisation du sas :

le sas permet d'assurer la continuité matérielle entre le bac et le canal. Il est réalisé par un manchon gonflable **9** en forme de U fixé sur la structure du bief. Son gonflage va lui permettre de venir en appui sur le bac, réalisant ainsi le sas.

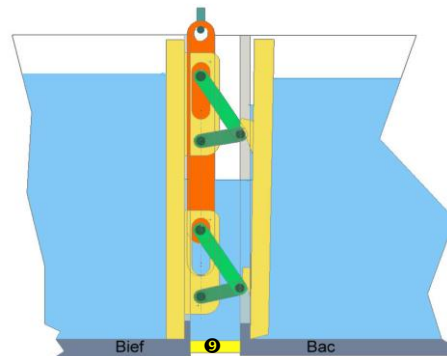


Figure 30 : Système d'ouverture des portes en phase d'ouverture

• Remplissage du bac :

la mise en marche des moteurs entraîne, par l'intermédiaire de câbles **8** et de mouflages la montée des biellettes **7** en liaison glissière avec la porte **4** côté bief. Dans leur mouvement ils entraînent la rotation du système d'embellage à genouillère **[5+6]**. L'axe du « genou » supérieur pousse sur la rampe de la patte d'accrochage de la porte **3**, la faisant ainsi basculer. L'eau du bac coule alors dans le sas et le remplit.

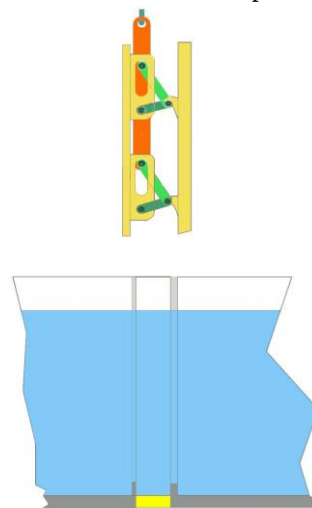


Figure 31 : Système d'ouverture portes levées

• Translation verticale des portes :

L'axe du genou de l'embellage supérieur vient en contact avec le crochet de la patte.

Les deux portes sont maintenant soulevées simultanément.

Le procédé de translation s'effectue comme suit :

La continuité des eaux du bac 2 et du bief aval 5 est assurée par l'eau du sas 7. Les portes 4 du bief et 6 du bac sont levées. La péniche P peut entrer dans le bac (cf. figure 32a).

Les portes 4 et 6 sont descendues. Les pompes vident l'eau du sas 7 (cf. figure 32b).

Le joint 8 du sas est dégonflé (il n'est plus en contact avec le bac). Les goupilles d'arrimage du montage en chape 3 sont escamotées. La translation peut commencer (cf. figure 32c).

Pendant la translation, le bac est guidé par 2 rails pour éviter les éventuels balancements dus à l'action du vent (cf. figure 32d).

Le bac monte jusqu'à ce que les quatre vérins soient en contact avec les plots d'accostage. Les moteurs continuent à tirer jusqu'à ce que la tension dans chaque câble de traction soit supérieure ou égale à 100 kN. Le bac est alors immobilisé par quatre freins à mâchoires. Les moteurs sont arrêtés (cf. figure 32e).

Le joint d'étanchéité 16 est gonflé de manière à réaliser le sas 14 (cf. figure 32f).

La manœuvre d'ouverture des portes est amorcée et l'étanchéité entre le bac et le sas est rompu. L'eau s'écoule donc dans le sas (cf. figure 32g).

Les portes sont montées. La continuité entre les eaux du bief amont et du bac est assurée. La péniche peut quitter le bac et poursuivre son chemin (cf. figure 32h). Le cycle reprend par la fermeture de portes, l'assèchement du sas, le retrait du joint...

Le bac peut redescendre...

La porte de garde 15 reste toujours levée.

La première partie de l'opération se fait à vitesse réduite $0,05 \text{ m.s}^{-1}$, la deuxième partie de l'opération se fait à vitesse normale $0,2 \text{ m.s}^{-1}$.

L'édifice est équipé de 2 ascenseurs fonctionnant indépendamment l'un de l'autre. Cela permet d'assurer le trafic même en cas de maintenance sur l'un d'entre eux.

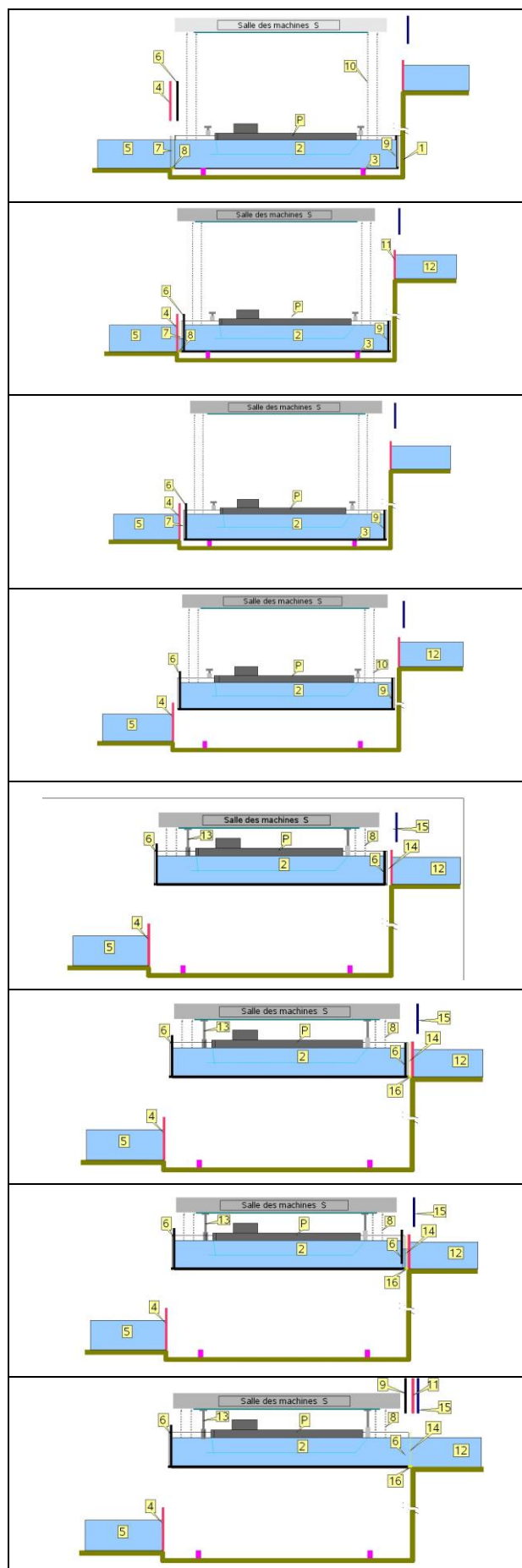


Figure 32 : Etapes d'une translation verticale

5. Gestion des ressources énergétiques

5.1. Les puissances installées

La distribution comporte 15 transformateurs de type sec, répartis comme suit :

- un transformateur de 250 kVA -- 10500 V, pour l'alimentation du bâtiment de service ;
- un transformateur de 2000 kVA -- 4500/10 500 V, pour le fonctionnement du groupe de secours ;
- quatre transformateurs de 630 kVA -- 10500/380 V, pour l'alimentation des équipements auxiliaires des 2 bacs et des communs ;
- un transformateur de 800 kVA, pour les commandes dédiées au tourisme et aux bureaux de la tour ;
- huit transformateurs de 630 kVA -- 10 500/880 V, pour la commande des moteurs de levage des treuils des bacs et des portes.

Le circuit de puissance de chaque bac est constitué de quatre ensembles monoblocs, comprenant chacun un transformateur, un convertisseur de fréquence et un moteur asynchrone. Par bac, deux de ces ensembles transformateur-changeur de fréquence servent à alimenter les trois moteurs de levage des portes : les portes bac-bief amont et bac-bief aval, et la porte de garde.

5.2. Groupe hydroélectrique de secours et Appoint d'énergie

La production électrique de secours est assurée par une station hydroélectrique.

La dénivellation entre les biefs amont et aval a été mise à profit pour réaliser une centrale hydroélectrique. Celle-ci est alimentée par une conduite forcée de 480 m de long et d'un diamètre de 900 mm.

La turbine est de type Francis à axe horizontal et produit une puissance électrique de 1060 kW minimum pour une chute d'eau de 72,2 m avec un débit de 1.92 m³/s.

Cette station est aussi utilisée pour écrêter les pointes de puissance quart horaire très pénalisantes pour la facturation de l'énergie électrique.

Son fonctionnement est géré automatiquement par deux automates centraux.

6. Gestion du proces et des sécurités

6.1. Les commandes

Une même information logique est transmise par trois capteurs en parallèle (voir figure) à trois automates. Les informations sont analysées par un

voteur. Si deux automates sur trois communiquent au voteur la même information, celle-ci est considérée juste.

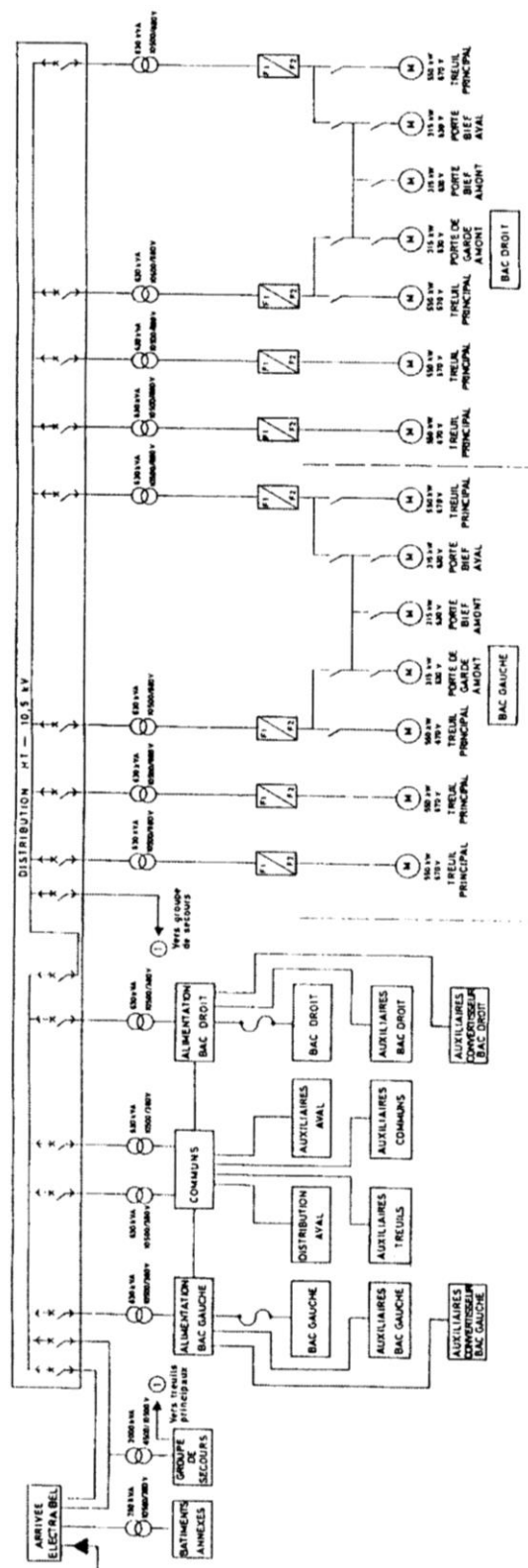


Figure 33 : Installation électrique de puissance

Avec ce système de 2/3 les situations de dysfonctionnement ne sont avérées que lorsque deux automates sur trois indiquent un défaut.

Des tests quotidiens permettent de s'assurer du bon état des installations.

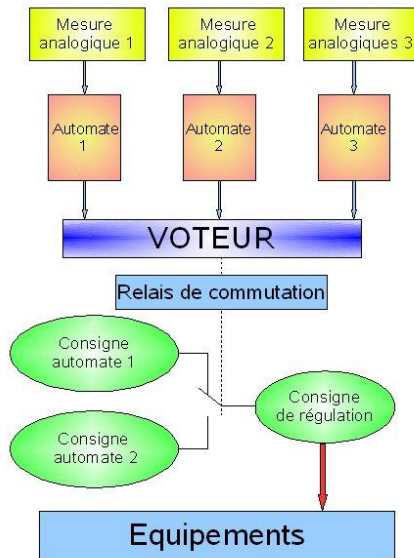


Figure 34 : Synoptique du mode de commande

6.2. Un système communiquant

Une salle de contrôle permet la supervision de l'état de marche du système. Deux ordinateurs couplés, type VAX, permettent la visualisation de l'état du processus sur écran.

- Le fond d'écran représente l'image du procédé.



Figure 35 : Supervision

- Les informations ou mesures apparaissent à l'écran en temps réel sous forme de texte de barographes, les courbes de tendances.

Les commandes sont gérées par des boutons sur écran activées à la souris (trackball ici) comme le montre l'illustration de la figure 35.

8. Application pédagogique : commande d'un moteur asynchrone par variateur à fréquence variable

8.1. Introduction

En travaux pratiques de Physique appliquée de BTS électrotechnique, on fait tracer puis étudier par nos étudiants les courbes $T = f(n)$ (moment du couple utile en fonction de la fréquence de rotation) pour un moteur asynchrone alimenté par un variateur, ceci dans les cas des deux fonctionnements suivants :

- à $T \leq T_N = \text{constante}$ pour $f \leq f_N$ et $U \leq U_N$ cas où le variateur travaille à $U/f = \text{constante}$;
- à $P \leq P_N = \text{constante}$ pour $f > f_N$ et $U = U_N$.

Ce deuxième cas permet l'utilisation en survitesse d'un moteur asynchrone sans avoir besoin d'un moteur plus puissant.

Lors de la visite de l'ascenseur funiculaire de Strépy-Thieu en Belgique, nous avons retrouvé des similitudes de commande utilisée pour un fonctionnement en mode dégradé en cas de panne d'un des moteurs de translation des bacs.

8.2. Rappel du principe physique de base utilisé dans les ascenseurs hydrauliques

Un ascenseur hydraulique fonctionne comme une gigantesque balance. Les deux bacs mobiles sont supportés par un piston couissant dans un cylindre rempli d'eau, chaque cylindre étant relié par une vanne. L'équilibre des bacs est effectif à mi-hauteur. Pour rompre cet équilibre, on introduit une surcharge d'eau dans le bac supérieur par rapport au bac inférieur. Cette différence permet la descente du bac supérieur et la montée du bac inférieur.

Contrairement aux ascenseurs hydrauliques du canal historique, l'ouvrage de Strépy-Thieu fonctionne en utilisant des contrepoids et des câbles pour réaliser l'équilibrage et ainsi rendre le fonctionnement des bacs indépendant.

8.3. Exemple de commande d'un équipement électrique rencontré dans l'ascenseur similaire à celle utilisée dans notre TP

Les équipements de puissance sont destinés à l'entraînement des bacs et des portes bac-bief.

La loi de mouvement des bacs impose des contraintes sévères aux convertisseurs, notamment les inversions de couples en cours de manœuvre, la nécessité de maintenir le bac à l'arrêt tout en développant le plein couple au moteur, l'approche du bief à très faible vitesse et le freinage sur le réseau.

La mise au point des variateurs de fréquence à largeur d'impulsions variable de type M.L.I a permis de maîtriser les vitesses inférieures à 5 Hz. La robustesse du moteur asynchrone à cage d'écureuil, son entretien réduit et son plus faible coût ont été des arguments suffisants qui ont supplanté ceux qui soutenaient une solution à courant continu.

Le circuit de puissance de chaque bac est constitué de quatre ensembles monoblocs, comprenant chacun un transformateur, un convertisseur de fréquence et un moteur asynchrone. Par bac, deux de ces ensembles transformateur-changeur de fréquence servent à alimenter les trois moteurs de levage des portes : les portes bac-bief amont et bac-bief aval, et la porte de garde.

Les conditions de fonctionnement des moteurs choisis pour la translation des bacs ont conduit à définir pour leurs grandeurs nominales :

- $U_N = 670 \text{ V}$
- $I_N = 511 \text{ A}$
- $n_s = 985 \text{ tr.min}^{-1}$
- $P_N = 510 \text{ kW}$
- $T_N = 5200 \text{ N.m}$

Les conditions de fonctionnement imposent les cas de figure suivants :

- alimentation par le réseau avec quatre moteurs et translation achevée possible sur trois moteurs
- idem avec alimentation par groupe de secours.

L'achèvement d'une manœuvre sur trois moteurs impliquerait une majoration de la puissance de chacun d'eux, ainsi qu'un surdimensionnement des changeurs de fréquence.

Pour éviter cette dépense, le constructeur a utilisé le principe de travailler à fréquence réduite de 33,5 Hz, lorsque la translation s'opère sur trois moteurs.

De 0 à 33,5 Hz, le convertisseur travaille à flux constant : la tension, la puissance et la fréquence augmente linéairement, tandis que le couple reste constant. Le coefficient U/f reste donc constant et est égal à $1000/50 = 670/33,5 = 20$.

De 33,5 Hz à 50 Hz, le convertisseur fonctionne à puissance constante. La tension et l'intensité restent constantes, le moment du couple décroît et la fréquence

augmente. Le coefficient V/f et donc le flux diminuent. Voir graphique ci-dessous :

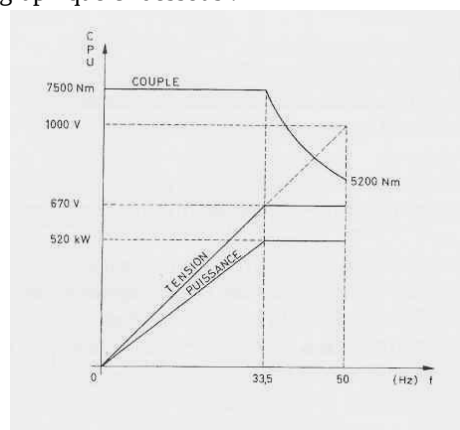


Figure 42 : Couple, puissance et tension en fonction de la fréquence d'alimentation

Ce graphique montre que ce mode de fonctionnement impose l'utilisation d'un moteur sous tension $U_N = 1000 \text{ V}$. Cette visite permet à nos étudiants de mettre à profit leurs connaissances acquises en TP sur un cas bien concret et de dimension plus que gigantesque.

Cet article prend appui, entre autres, sur la brochure n° 20 des cahiers du Met éditée par le Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports en Belgique dont il reprend quelques illustrations (courbes, tableaux dimensionnels, ...)

Cette brochure technique de plus de 250 pages est disponible, pour 2,50 euros, à l'adresse suivante :

Direction de la Communication (D 002), Rue des Pieds d'Alouettes 28, B-5100 Nannine. Pour tout renseignement :

Adresse Internet : chermans@met.wallonie.be

Téléphone : 081 40 84 80, Télécopieur : 081 40 84 88.



Figure 41 : Brochure N°20 des cahiers du Met éditée par le Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports en Belgique

SCS Automation & Control

PARIS 2006

systèmes - composants - solutions

du 5 au 8 décembre 2006 Paris-Nord Villepinte • France • Hall 5a

Le Salon Puissance 5



Automation
Optimation



Elec Industrie
Energie



Mecanelem
Mecatronic



Mesucora



Solutions Vision

TOUTES LES SOLUTIONS AU SERVICE DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE

Batch – Continu – Manufacturier – Infrastructure

Automatisme industriel • Production d'énergie • Equipements de distribution électrique
Composants mécaniques, hydrauliques, pneumatiques • Systèmes d'entraînement
Motion control • Mesure, contrôle, instrumentation et régulation • Maintenance

Retrouvez toute
l'actualité du salon sur
www.scs-automation.com

SCS Automation & Control

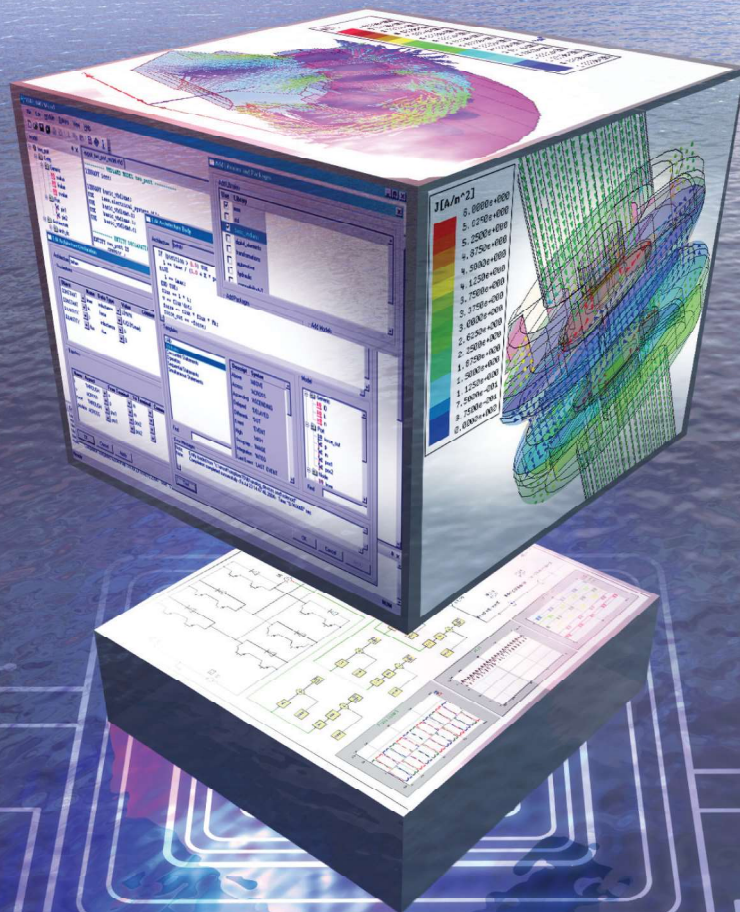
1, rue du parc - 92593 Levallois - Perret Cedex

Tél. : +33 (0)1 49 68 51 00 - Fax : +33 (0)1 49 68 54 66



SCS Automation & Control,
un salon organisé par Expositum
www.expositum.fr

HIGH-PERFORMANCE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS DESIGN SOFTWARE



MAXWELL®

Simulation de champs électromagnétiques 3D et extraction de paramètres pour la conception et l'optimisation de composants

SIMPLORER®

Simulation système/circuit, analyse statistique pour la conception de technologies mixtes et multi-domaines, VHDL-AMS

ePHYSICS™

Analyse thermique et d'effort mécanique pour composants électromagnétiques

OPTIMETRICS™

Analyses paramétriques, d'optimisation et de sensibilité



ANSOFT.COM

Informations

Email: contactfrance@ansoft.com

Tel: +33 1 39 56 67 99