

## Article 18. L'électronique pour le développement de l'industrie et de l'énergie

Maharo RAKOTOARIMANANA<sup>1</sup>, Fanjanirina RAZAFISON<sup>1</sup>, Harlin ANDRIATSIHOARANA<sup>2</sup>, Mirantsoa Volana RANDIAMANDIMBISOA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ecole du Génie Industriel, Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo

<sup>2</sup> Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo

[rakotoarimananamaharo@gmail.com](mailto:rakotoarimananamaharo@gmail.com)

**Mots clés :** électronique, commande, puissance, systèmes de production industrielle, énergie.

### Résumé :

Dans le contexte actuel de mondialisation et de besoin de durabilité environnementale, l'industrie et l'énergie se sont classées parmi les outils essentiels à bâtir et à maîtriser pour le développement d'un pays. L'électronique industrielle, à travers l'automatisation, est l'un des leviers de l'évolution de ces outils. L'évolution très rapide des technologies de l'électronique a une influence directe sur les systèmes de production des nations. Leurs exploitations ont également des impacts sur la productivité et la compétitivité dans la concurrence mondiale. C'est pour cette raison que l'enseignement de l'électronique tient une place très importante dans l'école du génie industriel de l'Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo et que des mises à jour du programme doivent être entamées annuellement pour assurer la qualité de la formation.

En 2013, l'enseignement comportait trois modules à savoir l'électronique de commande et de réglage utilisant les méthodes câblées, digitales et analogiques, l'électronique programmée portant sur les Automates Programmables Industriels, ainsi que les montages classiques de l'électronique de puissance. Le projet consiste à des travaux de recherche, d'études et de mises en applications industrielles des nouvelles technologies de l'électronique. Il a pour objectif la maîtrise et l'enseignement, à des fins de développements industriels et énergétiques, des circuits programmés (à microprocesseur) et semi-programmés (FPGA), la transmission de donnée série, ainsi que les nouveaux modèles de montage de l'électronique de puissance.

Ces cinq dernières années, la réalisation de travaux de recherche portant sur ces thèmes, par les porteurs du projet, a permis l'accumulation de savoirs et savoir-faire ; l'insertion qualitative de leur enseignement dans le programme universitaire a développé les potentiels de ces savoirs ; leurs études, utilisations et mises en application industrielles par les apprenants, à travers les travaux pratiques, mini-projets et mémoires de fin d'études, contribuent à la maîtrise de ces technologies ainsi qu'à l'amélioration continue de leur enseignement ; cette maîtrise contribuera à long terme au développement des systèmes de production, de l'industrie et de l'énergie à Madagascar.

### I. Introduction

Les travaux ici présentés sont effectués dans le contexte actuel de la mondialisation et le cadre des Objectifs de Développement Durable (ODD).

Il est prouvé que l'Industrie et l'Energie sont des leviers de développement indispensable à bâtir et à maîtriser. En effet, les pays qui ont su exploiter leurs ressources, par et pour leurs peuples, à travers leurs systèmes de production se sont classés parmi les pays les plus riches, ceux dits développés.

Madagascar, à travers la mondialisation se trouve dans une situation où l'énergie est difficilement accessible, les meilleures des Matières premières et ressources naturelles sont exportées, et énormément de produits finis sont importés, tout ceci avec très peu de création de valeur ajoutée dans le pays. C'est une des causes les plus importantes de la pauvreté du pays.

L'électronique est la partie de la physique qui traite des signaux électriques à partir de sources vers des destinataires à travers des semi-conducteurs.

L'automatisation qui constitue l'un des piliers actuels des systèmes de production industriels est essentiellement basée sur l'électronique. L'électronique de commande pour la commande délicate des actionneurs et l'électronique de commande pour la maîtrise de l'alimentation en énergie électrique des machines.

Par ailleurs, en énergie, les sources d'énergie électrique, comme le réseau, les piles électriques, les alternateurs et les panneaux solaires fournissent une énergie de forme aléatoire et difficilement utilisable, surtout avec l'avènement des énergies renouvelables. D'un autre côté, les charges utiles, comme les lampes électriques, les matériels de bureau et les moteurs électriques, pour bien fonctionner ont besoin d'alimentation en énergie électrique de forme maîtrisée. Pour solutionner ce problème de maîtrise de forme de l'énergie électrique, on a recours aux dispositifs appelés « convertisseurs électroniques » tels que les gradateurs, les onduleurs, les hacheurs et les redresseurs.

Dû à ces besoins et toutes les applications y afférentes, des évolutions très rapides des technologies et techniques de l'électronique sont observées : l'apparition des technologies programmées (comme les microcontrôleurs) et semi-programmées (comme les FPGA) ainsi que des techniques de transmission de données (comme le WIFI, le Bluetooth...) pour l'électronique de commande et l'apparition de nouveaux composants et modèles de montage pour l'électronique de puissance.

L'énergie et l'industrie sont donc à la traîne à Madagascar, la technologie évolue si vite que les techniciens ont du mal à les appliquer qualitativement. Des lacunes énormes sont alors observées dans nos outils de production. De plus, la technologie est très mal estimée dans le pays, d'un côté ceux qui y ont accès la sous-estiment gravement en ne l'employant qu'à des fins de distractions dérivatives, et de l'autre, ceux qui n'y ont pas encore accès pensent que c'est un luxe qu'ils ne pourront jamais se permettre, comprendre, encore moins maîtriser. Et finalement, le pays est entièrement dépendant des systèmes importés dits « clés en main ». Les coûts d'acquisition et d'exploitation sont trop élevés pour les systèmes de bonne qualité et les autres produits sont certes relativement abordables, mais absolument pas fiables.

Les objectifs des travaux sont donc la démystification et la maîtrise des techniques et des nouvelles technologies de l'électronique ainsi que la maîtrise de la conception et de la réalisation de systèmes électroniques à applications industrielles et énergétiques. Ceci pour le développement des outils de production, de l'industrie et de l'énergie et partant, du pays.

La méthodologie consiste en la recherche, à des études théoriques, des expérimentations en laboratoire, des mises en applications pratiques en énergie et industrie, et à l'enseignement à travers le partage des savoirs accumulés.

Comme résultats sont attendus des systèmes électroniques efficaces conçus et/ou réalisés ainsi que des techniciens compétents pour appliquer cette science dans leurs milieux socioprofessionnels. Sur le long terme est attendu qu'au niveau national, l'électronique soit maîtrisée à travers ses applications énergétiques et industrielles par les Malgaches, pour les Malgaches.

La réalisation de cet ouvrage suit le plan de l'IMMRED, c'est-à-dire, l'Introduction, les Matériels et Méthodes, les Résultats, les Discussions et se terminera par la conclusion.

## II. Matériels et Méthodes

### Matériels

Les travaux sont essentiellement effectués dans le laboratoire de physique de l'Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo (IST-T).

Des documents matériels et logiciels recommandés par les constructeurs et surtout les retours d'expériences des utilisateurs à travers le monde sont utilisés.

### Méthodes

La méthodologie consiste à l'analyse de problèmes pour la détermination des besoins ; l'étude des circuits pour l'accumulation de connaissances ; la mise en œuvre à travers la simulation et la réalisation pour l'acquisition de savoir-faire ; la mise en application industrielle et énergétique pour la proposition de solutions aux problèmes observés, la réponse aux besoins, l'amélioration continue et la mise à jour des savoirs ; et enfin à l'enseignement aux étudiants de l'Ecole du Génie Industriel de l'IST d'Antananarivo.

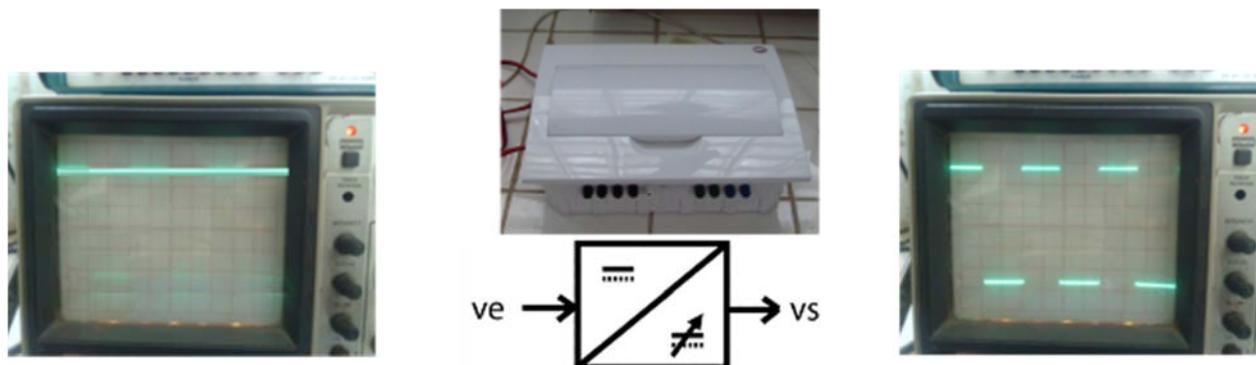
## III. Résultats

### Le « Hacheur »

L'un des premiers résultats concrets obtenus fut le convertisseur continu-continu ou hacheur à transistor commandé par le microcontrôleur PIC16F84A, réalisé en fin 2013.

Entrée : DC 311V 10A → Sortie DC 0V-311V 10A.

Application possible : variation de vitesse de Moteur à courant continu.



### Le moniteur Informatique

En 2013 aussi était conçu et partiellement réalisé le pilotage par ordinateur d'un banc d'essais de moteurs aéronautiques de la compagnie Air Madagascar. Ce travail consistait à réaliser l'interface informatique permettant d'afficher les conditions de fonctionnement des moteurs (vitesse de rotation, température...) ainsi que l'interface électronique entre le banc et l'ordinateur. Il englobait électronique analogique et numérique câblée, transmission de données série et micro-informatique.

## L'Armoire électronique didactique N°02

Cette armoire, à but didactique pour l'enseignement pratique de l'électronique de commande et de puissance contient :

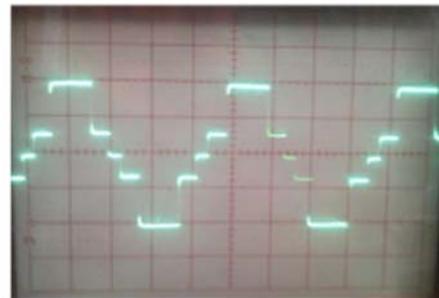
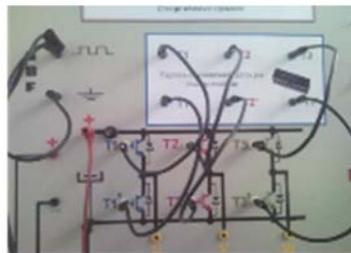
- un onduleur triphasé ;
- un redresseur ;
- un gradateur.

Des montages classiques commandés tous par des circuits à microprocesseur.

### L'onduleur triphasé à six transistors

L'onduleur est un convertisseur continu-alternatif à valeur efficace de sortie fixe.

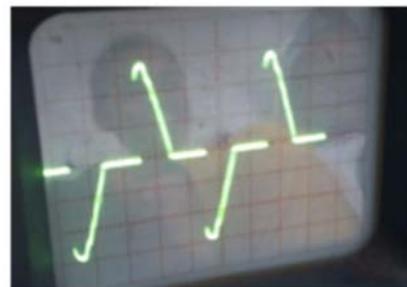
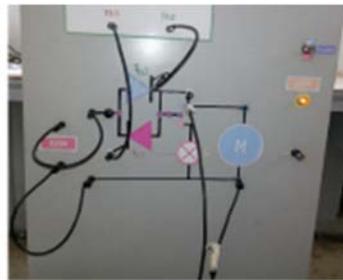
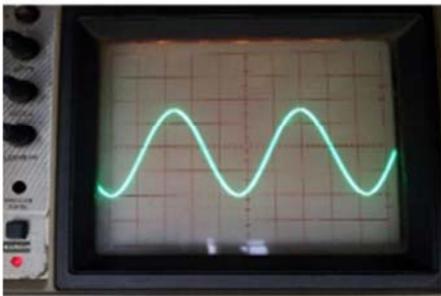
Entrée : DC 311V 10A → Sortie : AC 3~ 220V/127V 3A 50Hz.



### Le gradateur monophasé

Le gradateur monophasé est un convertisseur alternatif-alternatif, à valeur efficace de sortie variable.

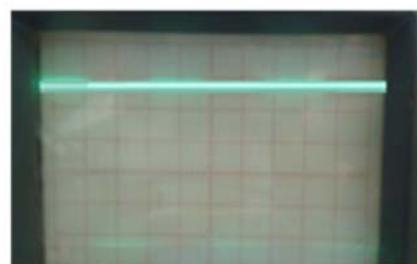
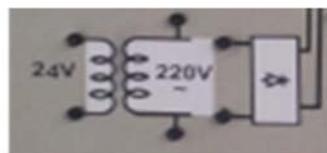
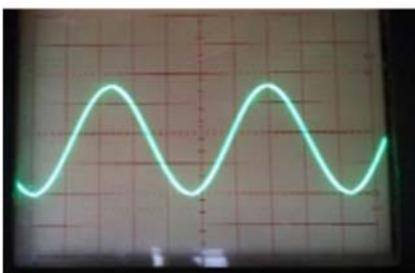
Entrée : AC 220V 10A 50Hz → Sortie : AC 0-220V 50Hz



### Le redresseur à diodes

Le redresseur est un convertisseur alternatif-continu à valeur moyenne de sortie fixe.

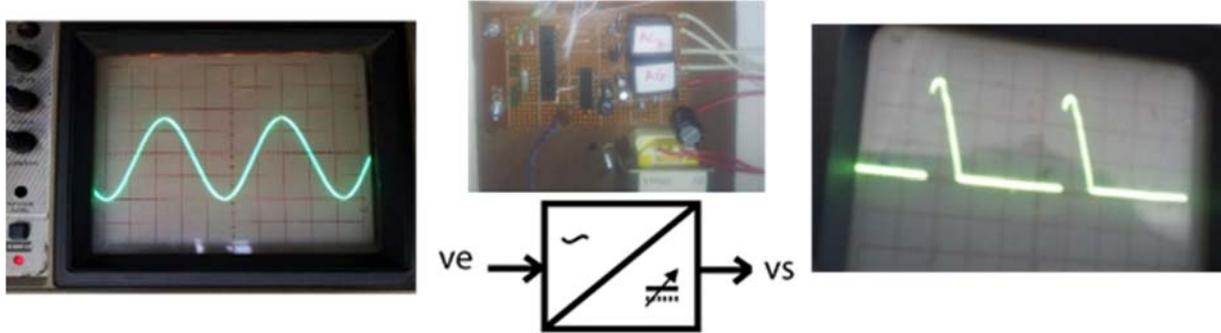
Entrée : AC 24V 50Hz → sortie : DC 311V.



## Le Redresseur à thyristors

C'est un convertisseur alternatif-continu à valeur moyenne de sortie variable :

Entrée : AC 220V 50H → sortie : DC 0-300V



### Autres résultats du obtenus à travers les apprenants

Suite à ces quelques prototypes réalisés, d'autres travaux ont été effectués dans le laboratoire avec des étudiants de l'école du génie industriel, à travers des travaux pratiques, mini-projets et mémoires de fin d'études. Les tableaux ci-dessous présentent des listes non exhaustives des plus importants en volume de ces travaux.

### Les mémoires de fin d'études de niveau licence

Des étudiants sortants du parcours Génie des Systèmes Automatisés (GSA) ont réalisé ces quelques travaux de mémoires entre 2013 et 2017 :

N°	CODES	AUTEURS	THEMES
1	M.GSA-7.04	RANDRIAMANDIMBISOA Mirantsoa Volana	Commande de Hacheurs à Transistors par le Microcontrôleur PIC 16F84 IST
2	M.GSA-7.05	RAZAFINDRALAMBO Ny Aina Manitra Nany	Commande par un PC de plusieurs systèmes afficheur à 7 segments, moteur asynchrone IST
3	M.GSA-7.08	RAKOTOARIMANANA Maharo	Etude et conception d'une carte d'acquisition de données et création d'une interface informatique pour le capteur de température inter- turbines(Tt5) du banc d'essai du moteur PT6-A AIR MADAGASCAR
4	M.GSA-8.03	HERINIAINALALAO Nambinintsoa Martin	Commande par PIC d'un onduleur à trois niveaux nouveau modèle IST
5	M.GSA-8.04	MARA SOA HAJATO Jean Christophe	Conception d'une interface physique pour le pilotage du Banc d'Automatisme Hydraulique de l'IST-T par PC IST-T
6	M.GSA-8.06	ANDRIANANTENAINA Fenitra Tanteraka	Commande de hacheur à Thyristors par un microcontrôleur PIC 16F84A IST-T
7	M.GSA-8.07	RANDRIAMAMPIANINA Lanto	Commande par PIC 16F84A d'un gradateur triphasé avec charge en Triangle IST-T
8	M.GSA-8.09	ANDRIAMIADAMANANA ANDRINIRINA Narindra Sabatin	Redresseur Triphasé en pont à Thyristors commande par microcontrôleur PIC16F84A IST-T
9	M.GSA-8.13	RAZAFINDRAMBOLA ANDRIANAMBININTSOA Faniry	Commande par PIC 16F84A d'un gradateur TRIPHASE COUPLE en Etoile IST-T
10	M.GSA-8.19	RABEZEZIKA Salohy Harinjanahary	Commande automatique de l'alimentation progressive d'une charge par un PIC16F84 IST-T
11	M.GSA-8.21	RAKOTONIRINA Rohiniaina Samuël	Alimentation d'un moteur à courant continu à aimant permanent par courant impulsionnel IST-T
12	M.GSA-8.22	BIAZARITSIMBA Nosivola Fanamperana	Récupération d'énergie électrique utilisant un PIC16F84 IST-T
13	M.GSA-8.23	RATOVONKERY Julio	Création d'une interface informatique et d'une interface électronique pour le pilotage par ordinateur d'un banc d'automatisme hydraulique.IST-T
14	M.GSA-9.18	RABARISOA Manda	Réalisation du circuit de commande d'un hacheur à transistor par un microcontrôleur PIC 16F84A. IST-T
15	M.GSA-9.21	RAKOTOARIVELO Tody Vonjy Andry Tiana	Circuit de commande d'un convertisseur triphasé réversible pour récupérer l'énergie. IST-T

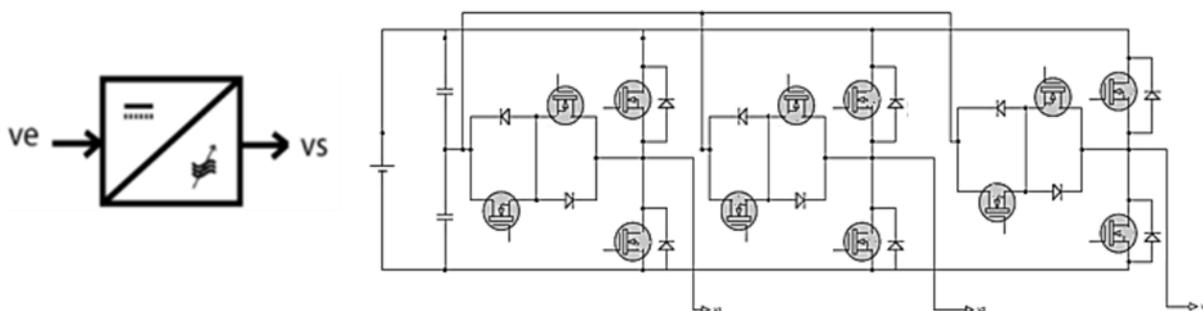
16	M.GSA-9.24	RANDRIANTSITOHAINA Tambinirina	Commande d'un gradateur monophasé à thyristors par un microcontrôleur PIC 16 F84 A, simulé avec proteus. IST
17	M.GSA-10.08	MAHEFARISOA Tsiaro Ny Aina Tsiferana	Conception et simulation d'un hacheur à transistor commandé par PIC 16F84A. IST-T
18	M.GSA-10.09	RANDIMBIMANANA Andriavalona Hariniaina	Elaboration d'un document technique sur le variateur de vitesse pour moteur à courant continu rectivar RTV-641D32Q. IST-T
19	.GSA-10.12	RAKOTOMAHEFA Honisoa Tatamo	Dispositif de démarrage et freinage progressif d'un moteur asynchrone monophasé commandé par PIC 16F84A. IST-T
20	M.GSA-10.16	RATSIMBAZAFY Rolland Mirado	Etude des pertes de commutation d'un onduleur monophasé à commande MLI. IST-T
21	M.GSA-10.21	RASOAMIHARY Roxiannah Willya	Alimentation impulsionnelle d'un moteur à courant continu. IST-T
22	M.GSA-10.23	ANDRIAMASY Jaona Herimanana	Conception d'un redresseur triphasé à thyristors commandé par microcontrôleur. IST-T
23	-	JIMISON ANDRIAARISATA JOSE	Conception et réalisation d'un onduleur à commande PWM
24	-	TSARAVAHINIRINA TSIKY FANDRESENA	Domotique commandée par Android
25	M.GSA-11.15	RAKOTOMANDROSO Ruck Maeva Landyo	Hacheur « back-boost » BI-Direction à quatre transistors commandés par PIC 16F84A. IST-T

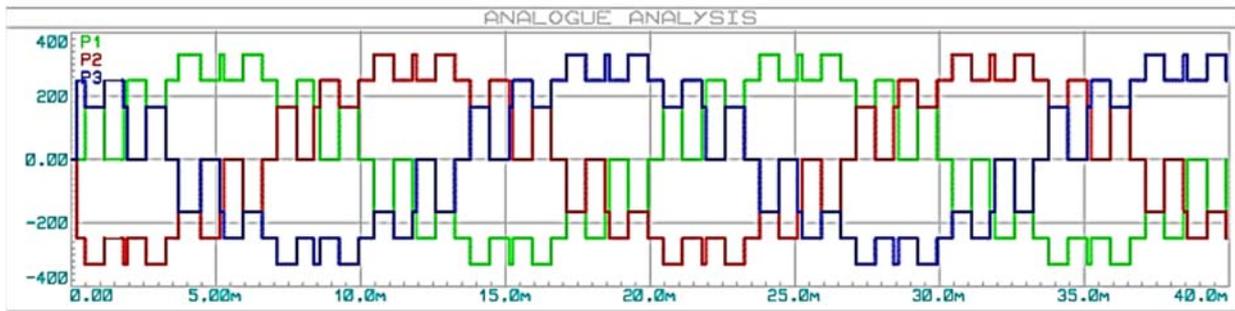
### Les mémoires de fin d'études de niveau Master

Des étudiants sortants du parcours Génie Industriel en Maintenance et Production (GIMP) ont réalisé ces quelques travaux de mémoires entre 2013 et 2017 :

N°	CODES	AUTEURS	THEMES
1	M.GIMP.909	JAOZARA Christian	Commande d'un redresseur triphasé en pont à Thyristors par un microcontrôleur PIC 16F84 IST-T
2	M.GIMP.917	RAMIZALAHY Razoanizafy Briello Gian	Nouveau modèle d'un gradateur à transistor pilote par PIC 16F84 IST-T
3	M.GIMP.10.07	RANDRIANARISOA Eric Eugène	Conception de l'interface physique et du circuit de puissance pour le pilotage du banc hydraulique de l'IST par ordinateur. IST-T
4	M.GIMP.10.10	ANDRIAMIANDRISON Harisoa Honora	Logiciel de dimensionnement des montages redresseurs à thyristors.
5	M.GIMP.11.05	RAZAFIMANDIMBY Sariaka Fy Anja Ricky	Dimensionnement des régulateurs appliqués au MCC: simulation avec MATLAB SIMULINK. <b>IST-T</b>
6	M.GIMP.12.10	RAZAFINDRALAMBO Ny Aina Manitra Nany	Alimentation régulée par Hacheur- onduleur en cascade DC-AC. <b>IST-T</b>
7	M.GIMP.12.11	RANDRIAMANDIMBISOA Mirantsoa Volana	Commande par FPGA cyclone III et par PIC 18F45K20, applications aux gradateurs nouveaux modèles et aux onduleurs autonomes. <b>IST-T</b>
8	M.GIMP.12.16	RAKOTOMANDIMBY Andrianina Cédric	Conception de système domotique sans fil pour la sécurité domestique. <b>IST-T</b>
9	M.GIMP.12.07	RANDRIAMALISON Ny Aina Mahandry	Remise en état d'un ordinateur triphasé en pont conception et réalisation d'une commande MLI A 3 angles par un microcontrôleur. <b>IST-T</b>
10	M.GIMP.12.08	RAKOTOARIMANANA Maharo	Commande programmée de gradateurs et d'un onduleur triphasé nouveau modèle par PIC 18F45K20 et FPGA cyclone III. <b>IST-T</b>

Parmi tant d'autres, un des résultats très importants, techniquement et technologiquement parlant, est l'onduleur triphasé, nouveau modèle à 12 transistors, commandé par Modulation de Largeurs d'Impulsions (MLI) grâce au Microcontrôleur **PIC18F45K20** de chez Microchip ou le circuit semi-programmé FPGA CYCLONE III **EP3C25F324C6** de chez Altera. En voici le schéma de puissance et l'allure de la tension triphasée de sortie :





#### Autres résultats obtenus à travers les apprenants

Outre ces quelques réalisations dans le laboratoire, les étudiants, à travers leurs travaux de mémoires en entreprises, leurs travaux, leurs activités socioprofessionnelles ont réalisé d'autres dispositifs électroniques. Les travaux de mémoires réalisés, à eux seuls, en électronique, entre 2013 et 2017 par les étudiants de l'Ecole du Génie Industriel, tous niveaux confondus, se comptent par centaines. La majorité des rapports de ces travaux sont consultables dans la bibliothèque de l'IST-T.

### IV. Discussions

#### Interprétation des résultats

En totalité, dix travaux de mémoire de niveau Master et 25 de niveau Licence ont été réalisés autour de la thématique en quatre années, seulement dans le laboratoire. D'autres travaux en entreprise, mini projets, travaux pratiques et projets personnels qui se comptent par centaines ont été réalisés par les porteurs du projet et les apprenants. Tout cela entre 2013 et 2017.

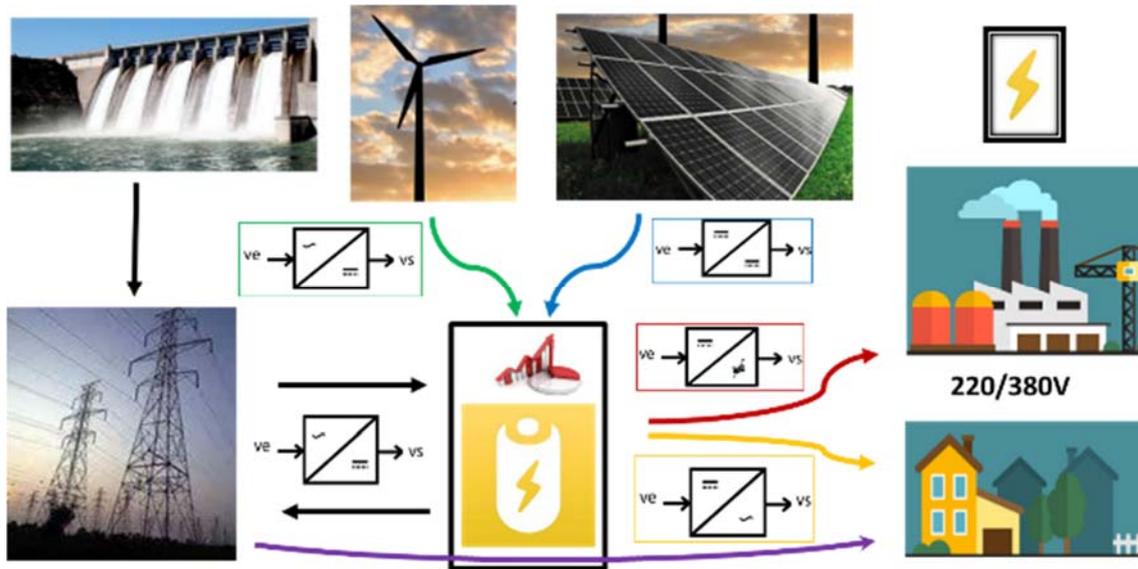
Les dispositifs et systèmes conçus et/ou réalisés sont efficaces, toujours plus performants que les précédents. Ceci démontre la capacité et les compétences des techniciens à mettre en œuvre, voire à **maîtriser** les anciennes et nouvelles techniques et technologies de l'électronique.

Chacun des dispositifs et systèmes conçus et/ou réalisés a d'innombrables applications possibles en industrie et/ou en énergie pour la maîtrise de ces deux filières extrêmement importantes pour le développement de Madagascar.

#### Exemples d'applications

##### Applications en Energie

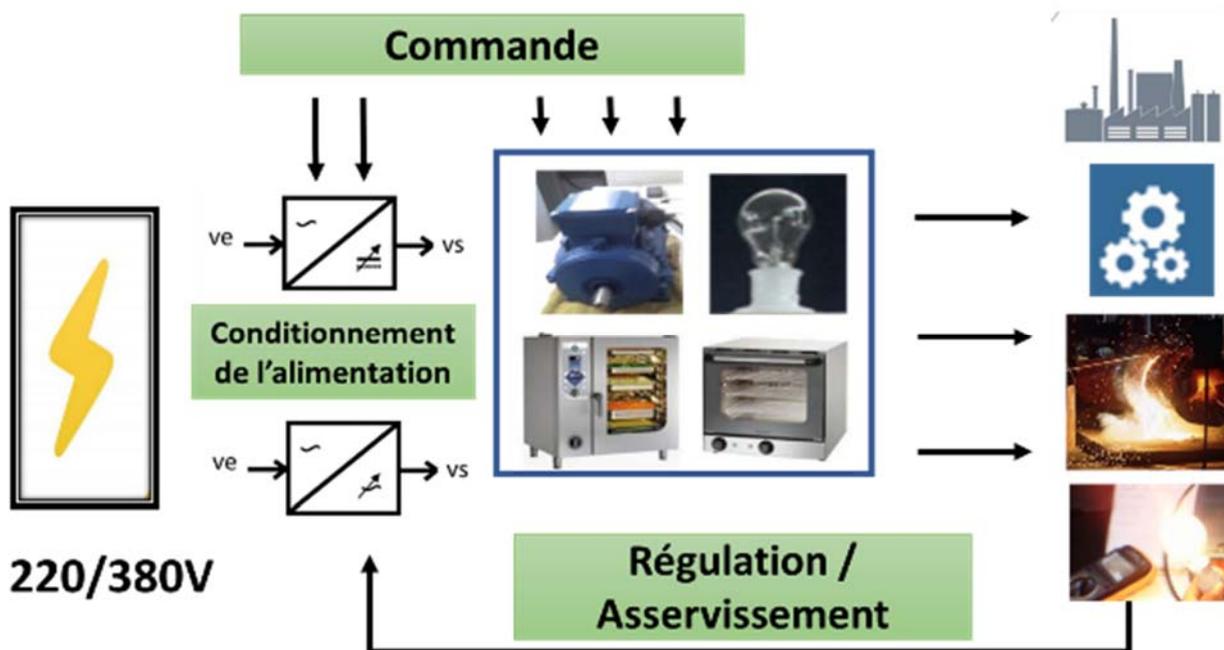
L'image suivante illustre quelques utilisations et applications de dispositifs électroniques, notamment de puissance, dans le contexte actuel de l'émergence des énergies électriques à sources renouvelables :



Entre les diverses sources d'énergie électrique, les utilisateurs et d'éventuels accumulateurs, des dispositifs d'électronique de puissance et de réglage sont indispensables pour le conditionnement et la maîtrise de la forme de l'électricité.

##### Applications en Industrie

L'image suivante illustre quelques utilisations et applications de dispositifs électroniques :



La transformation de l'énergie électrique de la source, généralement le AC 220/380V 50Hz, en travail mécanique, en chaleur, ou en lumière par exemple, nécessitent en plus des actionneurs (moteurs électriques, résistances chauffantes, lampes, matériels de bureau...) des opérations de commandes, de conditionnement de l'alimentation énergétique, de régulation et d'asservissement. Ces opérations peuvent être effectuées par des dispositifs électroniques dont la conception et la réalisation sont désormais possibles à Madagascar par les techniciens formés et compétents locaux.

#### Valeurs ajoutées

Les anciennes et nouvelles techniques et technologies de l'électronique sont désormais maîtrisables et maîtrisées par les techniciens locaux. L'aboutissement à tous ces résultats témoigne de cette maîtrise.

Les systèmes créés contribueront à l'apprentissage et à la démystification de l'électronique et surtout au développement de l'industrie et de l'énergie à Madagascar.

Les savoir et savoir-faire accumulés sont synthétisés et enseignés aux étudiants de l'Ecole du Génie Industriel de l'IST-T.

#### V. Conclusion

En résumé, des circuits, dispositifs et systèmes électroniques ont été conçus et/ou réalisés pour répondre qualitativement aux besoins locaux en apportant des solutions potentielles et/ou appliquées aux problèmes relatifs aux exigences de maîtrises des signaux électriques en industrie et en énergie.

L'adoption de la méthodologie de recherche a permis l'aboutissement à ces résultats rapidement et de manière efficiente, et partant, à l'atteinte des objectifs fixés qui sont la démystification et la maîtrise de ces circuits et de leur mise en œuvre pour le développement industriel et/ou énergétique.

Et en conclusion, pour des applications industrielles et/ou énergétiques, la conception et la réalisation de dispositifs électroniques de commande et de puissance sont actuellement maîtrisées à l'Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo. Ceci à travers l'utilisation d'anciennes et nouvelles techniques et technologie de l'électronique.

Les systèmes créés soutiendront l'autonomisation matérielle de l'industrie, de l'énergie et de l'entrepreneuriat à Madagascar, favorisant la création qualitative de valeurs ajoutées, par et pour le peuple malgache, à travers l'exploitation durable des ressources naturelles du pays.

Le projet contribuera alors, sur le long terme, au développement de l'industrie et de l'énergie, et partant du pays. Ceci dans le contexte actuel de mondialisation et le cadre des Objectifs de Développement Durable.