



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Automatique
Automatique et informatique industriels

Réf. : .

Présenté et soutenu par :
BARKAT Yakoub

Le : jeudi 27 septembre 2018

Optimisation de la charge et la décharge d'une batterie sur un véhicule électro solaire

Jury :

Mr	BOUMEHRAZ Mouhamed	Pr	ST	Président
Mr	ARIF Ali	MCA	ST	Encadreur
Mme.	TERKI Nadjiba	Pr	ST	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

Filière : Automatique

Option : Automatique et informatique industriels

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Optimisation de la charge et la décharge
d'une batterie sur un véhicule électro solaire**

Présenté par :

BARKAT Yakoub

Avis favorable de l'encadreur :

Mr.ARIF ALI

Avis favorable du Président du Jury

BOUMEHRAZ Mohamed

Signature

Cachet et signature

Dédicaces

Je dédie cette mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui est ma source d'inspiration et de réussite pour moi, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et pour ma sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

BARKAT Yakoub

Remerciements

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma gratitude à la Région Centre Val de Loir d'avoir financée mon stage et me donnant ainsi l'opportunité de participer à un projet d'actualité et d'avenir.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance à Madame Ouafae Bennis et Monsieur Dominique TRIHAN pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant les cinq mois au sein de l'IUT de Chartres. .

Je remercie Monsieur CHRISTIAN ORIEUX Directeur de IUT de Chartres pour les efforts qu'il a déployé pour faire réussir mon stage. Je n'oublie pas de remercier le personnel de l'UIT pour leur aide et encouragements.

J'exprime mes remerciements à Tous mes professeurs de l'Université de Biskra, en particulier Mon encadreur, Monsieur Arif pour leurs disponibilité et conseils.

Mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger mon mémoire.

Mes remerciements à tous mes compagnons de promotion ;

· A DIEU, pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles d'éditer ce mémoire.

Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

BARKAT Yakoub

Liste des tableaux

CHAPITRE 3

Tableau I	les principales caractéristiques du panneau Monocristalline utilisé
Tableau II	les principales Caractéristiques « GVB-8 »
Tableau III	les principales caractéristiques du LiFePO4 38120S
Tableau IV	Caractéristiques du module LEM LTS 15-NP
Tableau V	la différence entre la NI MYRIO et la NI MYDAQ
Tableau VI	Caractéristiques du module TRF click MIKROE-1535

Liste des figures

CHAPITRE 1

- Fig. I.1** Institut Universitaire de Technologie de Chartres
- Fig. I.2** L’affiche publicitaire de course solar cup
- Fig. I.3** Le véhicule électro solaire
- Fig. I.4** Fonctionnement du véhicule électro solaire

CHAPITRE 2

- Fig. II.1** Cellule électrochimique
- Fig. II.2** Association de Batteries en parallèle
- Fig. II.3** Association des Batteries en série
- Fig. II.4** Association des Batteries en série/parallèle
- Fig. II.5** Schéma de principe d'une cellule pour le cas de décharge
- Fig. II.6** Schéma de principe d'une cellule pour le cas d'une charge
- Fig. II.7** La charge et la décharge sans BMS
- Fig. II.8** La charge et la décharge avec BMS
- Fig. II.9** Illustrations des différences entre le cas "équilibre actif " vs "équilibre passif"
- Fig. II.10** Zone de fonctionnalité du BMS
- Fig. II.11** Les deux types d'énergie solaire
- Fig. II.12** Présentation d’une cellule, d’un panneau et d’un champ photovoltaïque
- Fig. II.13** Coupe transversale d’une cellule PV typique

- Fig. II.14** Circuit équivalent à une cellule photovoltaïque
- Fig. II.15** La caractéristique I(V)
- Fig. II.16** Caractéristiques I(V) pour Association en série
- Fig. II.17** Caractéristiques I(V) pour Association en parallèle
- Fig. II.18** Caractéristiques I(V) pour Association mixte
- Fig. II.19** Association panneau batterie récepteur
- Fig. II.20** Association du panneau liée à un MPPT avec une batterie liée à un BMS
- Fig. II.21** Moteur BRUSHLESS
- Fig. II.22** Le Contrôleur d'un moteur BRUSHLESS

CHAPITRE 3

- Fig. III.1** Architecture la partie énergétique de VES
- Fig. III.2** Maximum Point Power Tracking
- Fig. III.3** La mise en série de 16 cellules LiFePO4 38120S
- Fig. III.4** Le BMS utilisé dans la VES
- Fig. III.5** Un moteur BRUSHLESS place à une roue
- Fig. III.6** CYCLE ANALYST
- Fig. III.7** LEM LTS 15-NP.
- Fig. III.8** NI MYRIO 1900
- Fig. III.9** Organigramme de communication
- Fig. III.10** Le module RF choisi (TRF click)

CHAPITRE 4

- Fig. IV.1** Carte multiplexeur

- Fig. IV.2** l'affichage des cellules
- Fig. IV.3** Carte des LEM
- Fig. IV.4** les courants mesurés par la carte des LEM
- Fig. IV.5** la puissance produite par les panneaux solaire
- Fig. IV.6** l'énergie produit par les panneaux solaires
- Fig. IV.7** la puissance consommée par le VES
- Fig. IV.8** l'énergie consommée par le VES
- Fig. IV.9** l'énergie instantanée stockée dans la batterie
- Fig. IV.10** L'état de charge de la batterie
- Fig. IV.11** l'autonomie de VES
- Fig. IV.12** La stratégie de la gestion pour la première partie de la course
- Fig. IV.13** La stratégie de la gestion pour la deuxième partie de course
- Fig. IV.14** La décharge de la batterie avec et sans l'utilisation de la stratégie
- Fig. IV.15** La variation de l'autonomie avec et sans l'utilisation de la stratégie
- Fig. IV.16** Tableau de bord du VES
- Fig. IV.17** Etat de batterie instantanée
- Fig. IV.18** l'onglet des graphes
- Fig. IV.19** estimation du comportement du VES sur la course
- Fig. IV.20** estimation du comportement du VES en 5 minutes

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

Liste des Symbole :

Symbole	Définition	unité
A	L'autonomie	Km
C_p	coefficient de perte	-
D	la distance parcourue par le VES	Km
e	la charge d'un électron	coulomb
E	L'énergie instantanée stockée dans la batterie	Wh
E₀	l'énergie maximale que la batterie peut stockée	Wh
E_c	l'énergie consommée par le VES	Wh
E_e	l'éclairement	W/m²
E_{INT}	l'énergie initiale stockée dans la batterie	Wh
E_p	énergie produite par les panneaux	Wh
H	ensoleillement/rayonnement sur la surface inclinée	Wh /m²
I	Courant	A
I_{cc}	Courant de court-circuit	A
I_{cell}	Le courant fourni par la cellule	A
I_{CM}	courant consommé par les moteurs	A
I_{mp}	Courant de la puissance maximale	A
I_{opt}	Courant optimale	A
I_p	le courant produit par les trois panneaux (I ₁ +I ₂ +I ₃)	A

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

I_{pv}	Courant du panneau photovoltaïque	A
I_{sat}	Le courant de saturation	Ampère
K	la constante de BOLTZMAN	Joules/Kelvin
n	le facteur de non idéalité de la jonction	-
n	Rendement d'un module PV	-
N	Moyenne d'énergie consommée	Wh/Km
P_c	Puissance-crête	W
P_c	puissance consommé	W
P_{CCE}	puissance consommé par les cartes électroniques	W
P_{CM}	puissance consommé par les moteurs	W
P_m	Point de puissance maximale	W
P_p	la puissance produite par les trois panneaux	W
Q	La capacité nominale d'un accumulateur	Ampère heure
Q_{insta}	La capacité instantanée	Ampère heure
Q_{max}	La capacité à la fin de charge	Ampère heure
r	Rendement d'un module PV	-
R_{series}	La résistance série caractérisant les diverses résistances de contacts et de connexions	Ω
R_{shunt}	La résistance modélisant les courants de fuites de la jonction	Ω
S	la surface du module PV	m^2
SOC	L'état de charge	-

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

t	Temps	h
T	la température de la cellule	K
t_r	temps restant pour la fin de décharge de la batterie	h
U	Tension	V
U_{bat}	la tension de la batterie	V
V	Tension	V
V_{cell}	La tension aux bornes de la cellule	V
V_{CO}	La tension de circuit ouvert	V
V_{mp}	Tension de la puissance maximale	V
V_{opt}	Tension optimale	V
V_{pv}	Tension du panneau photovoltaïque	V
V_t	vitesse moyenne	Km/h
Wp	Pic de Puissance	W

Liste des abréviations :

AC	Alternating Current
AM	Air Mass
BMS	Battery Management System
BTS	Brevet de Technicien Supérieur
DC	Direct Current
DUT	Diplôme Universitaire de Technologie
FPGA	Field-Programmable Gate Array
GEII	Génie Electrique et Informatique Industrielle
GIM	Génie Industriel et Maintenance
GLT	Gestion Logistique et Transport
GND	Ground

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

GPIO	General Purpose Input Output
IP	Indice de protection
ISM	Industrial, Scientific and Medical
IUT	Institut Universitaire de Technologie
L2	Licence 2
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LCD	Liquid Crystal Display
LFP	Lithium Fer Phosphate
LMD	Licence-Master-Doctorat
LOGA	Organisation et Gestion des Achats
LP	Licence Professionnelle
MCUP	Management et Conduite d'Unités de Production
MEER	Maîtrise de l'Energie et Energies Renouvelables
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MSP	Message Send Protocol
N	Négative
P	Positive
PC	Personal Computer
PN	Positive/ Négative
PPP	Projet Personnel et Professionnel
PV	Photo Voltaïque
SOC	State Of Charge
SPI	Serial Peripheral Interface
STC	Standard Test Conditions
TD	Travaux Dirigé
TP	Travaux Pratiques
TRF	Transmissions Radio Fréquence
TX	Receive Data
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
VES	Véhicules Electro Solaire
Wc	Watts-Crête

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

Filière : Automatique

Option : Automatique et informatique industriels

Thème :

Optimisation de la charge et la décharge d'une batterie sur un véhicule électro solaire

Proposé par : BENNIS OUAF AE

Dirigé par : ARIF ALI et BENNIS OUAF AE

RESUMES

Ce mémoire est le résultat d'un stage effectué à l'institut universitaire de technologie à Chartres, France, pendant une durée de 5 mois.

L'objectif principal de ce travail se rapporte à l'optimisation de la charge et la décharge d'une batterie installée sur un véhicule électro solaire. Ce travail s'est basé essentiellement sur la pratique en utilisant plusieurs approches pour améliorer la durabilité de la batterie et d'économiser l'énergie. L'intégration de la stratégie de l'optimisation et de la gestion d'énergie du VES, a apporté des résultats satisfaisants. Le développement du programme de supervision a facilité l'application de la stratégie de l'optimisation et de la gestion d'énergie du VES. L'amélioration que nous avons apportée au prototype du véhicule solaire de l'IUT Chartres a changé rationnellement ses performances.

ملخص:

هذه المذكرة هي نتيجة للتدريب في المعهد الجامعي للتكنولوجيا في شارتر ، فرنسا ، لمدة 5 أشهر. ويرتبط الهدف الرئيسي من هذا العمل بتحسين الشحن وتفريغ البطارية المثبتة على سيارة تعمل بالطاقة الشمسية. اعتمد هذا العمل أساسًا على الممارسة باستخدام عدة أساليب لتحسين متانة البطارية وتوفير الطاقة. وقد أسفر دمج استراتيجية VES الأمثل وإدارة الطاقة عن نتائج مرضية. سهّل تطوير برنامج الإشراف تطبيق استراتيجية VES الأمثل وإدارة الطاقة. إن التحسين الذي أدخلناه على نموذج السيارة الشمسية للمعهد الجامعي للتكنولوجيا في شارتر قد غيّر أدائه بشكل عقلائي.

Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Présentation du cadre de projet	3
I.1- Introduction :	4
I.2- Présentation de l'organisation d'accueil :	4
I.3- SOLAR CUP :	6
I.4- Le véhicule électro solaire :	7
I.5- Conclusion :	9
Chapitre II : Les constituants de base d'un véhicule électro solaire	10
II.1- Introduction :	11
II.2- Les batterie :	11
II.2.2- Caractéristiques d'une batterie :	13
II.2.3- Le câblage des batteries et des cellules :	14
II.2. 4- Principaux types des batteries et leurs caractéristiques :	16
II.2.4.4- L'accumulateur aux lithium- ions(LFP) :	17
II.2.4.4.1- La nature de la batterie LFP :	17
II.2.4.4.2- Comportement de la batterie LFP en décharge et en charge :	18
II.2.4.4.3- Les avantages et les inconvénients de la batterie LFP :	19
II.2.5- BATTERY MANAGEMENT SYSTEM :	20
II.2.5.1- L'équilibrage :	21
A- L'équilibrage passif :	22
B- L'équilibrage actif :	22
II.3- l'énergie photovoltaïque :	23
II.3.1- L'energie solaire :	23
II.3.2- Panneaux photovoltaïques :	24
II.3.3- Modélisation d'une cellule photovoltaïque :	26
II.3.4- La caractéristique courant-tension I(V) :	28
II.3.5- Les caractéristiques d'un module PV :	28
II.3.6- Association des modules PV :	29
II.3.7- Les différents types des cellules solaires :	31
II.3.8- Optimisation possible du rendement d'un panneau :	32
II.3.9- Les avantages et les inconvénients des panneaux solaires photovoltaïques :	33
II.4- L'association des panneaux solaires avec la batterie :	33

II.5- Maximum Power Point Tracking :.....	34
II.6- Motorisation :.....	35
II.6.1- Moteur BRUSHLESS :.....	35
II.6.2- Principe de fonctionnement :	35
II.7- Le Contrôleur d'un moteur BRUSHLESS :.....	35
II.8- Conclusion :	36
Chapitre III : Analyse des besoins et réalisation d'un véhicule électro solaire	37
III.1- Introduction :	38
III.2- la chaine énergétique du prototype VES utilisé:	38
III.2.1- Les panneaux solaire :.....	39
III.2.2- Maximum Power Point Tracking :	39
III.2.3- La batterie :.....	40
III.2.4- Moteur BRUSHLESS :	41
III.2.4.1- Les avantages d'un moteur BRUSHLESS :	42
III.2.4.2- Les inconvénients d'un moteur BRUSHLESS :.....	42
III.2.5- Identification des besoins du VES :.....	42
III.2.5.1- Limitation de tension, courant et vitesse :.....	42
III.2.5.1.A-Le CYCLE ANALYST :	43
III.2.5.2- Choix du capteur de courant :.....	44
III.3- Problématique :.....	45
III.3.1- Le problème de la batterie :.....	45
III.3.2- La transmission des données :	45
III.4- Choix technique :.....	45
III.4.1- Choix de méthodes de transmission :.....	45
III.4.1.1- NI MYRIO 1900 :.....	46
III.4.1.2-LABVIEW :	47
III.4.1.3-Le module RF:	48
III.5- Conclusion :.....	50
Chapitre IV : Réalisations et résultats	52
IV.1- Introduction :	52
IV.2- Les cartes électroniques conçues :.....	52
IV.2.1- La solution utilisée pour le problème de la batterie :	52
IV.2.2- Carte des LEM :.....	53
IV.3- Les Facteurs de performances d'un VES:.....	54

IV.3.1- Tension, vitesse et distance :	54
IV.3.2- Courant :.....	54
IV.3.3- La puissance produite par les panneaux solaires :	55
IV.3.4- L'énergie produite par les panneaux solaires :	56
IV.3.5- Consommation du véhicule électrique :.....	57
IV.3.6- La Récupération d'énergie :	59
IV.3.7- L'énergie de la batterie instantanée :.....	59
IV.3.9- Consommation en Wh/Km :	61
IV.3.10- L'autonomie :	61
IV.4- La stratégie de l'optimisation et de la gestion d'énergie du VES :.....	62
IV.5- le programme de supervision :.....	66
IV.6- Conclusion :.....	69
CONCLUSION.....	70
BIBLIOGRAPHIE	72
Webographie :	75
ANNEXE	76

INTRODUCTION

Introduction générale :

Depuis la fin des années 1990, le marché du solaire photovoltaïque connaît une croissance très rapide (plus de 30 % par ans). Car le monde se dirige vers les énergies propres, et l'intégration de cette source d'énergie dans l'automobile a été un grand défi. La gestion de l'énergie des véhicules électro solaire (VES), a fait l'objet d'un grand effort scientifique dans les derniers temps. D'autre part, la puissance nécessaire dans un (VES), doit être gérée en respectant les lois de charge et décharge d'énergie disponible dans la batterie.

C'est dans ce contexte que s'inscrit mon stage de fin d'études intitulé «Optimisation de la charge et de la décharge d'une batterie sur un véhicule électro solaire» au sein du l'Institut Universitaire de Technologie de Chartres, pour participer à la course solaire «CHARTERS SOLAR CUP» qui a eu lieu le 30 juin 2018 à Chartres, France.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés en particulier à l'optimisation de l'énergie d'un (VES). Le problème le plus important est le déséquilibre d'énergie dans les cellules de batterie, et la mauvaise gestion de l'énergie dans la chaîne énergétique du (VES).

Dans le premier chapitre, nous présentons l'organisme qui nous a accueillis pendant la durée de notre stage ainsi que la fameuse course SOLAR CUP.

Dans le deuxième chapitre, nous définissons les constituants de base d'un VES et les caractéristiques de chaque élément et son principe de fonctionnement.

Dans le troisième chapitre, nous fixons nos choix sur les éléments utilisés, à partir des besoins du VES, et nous expliquons les solutions apportés aux problèmes survenus lors de la course de l'année précédente.

Au quatrième chapitre, nous présentons la stratégie d'optimisation en comparant les résultats avant et après les améliorations, ainsi que le développement d'un programme de supervision qui facilite l'application de la stratégie d'optimisation.

CHAPITRE I :

Présentation du cadre de projet

I.1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons l'organisme qui nous a accueilli pendant la durée de notre stage ainsi que la course SOLAR CUP et ses objectifs. Nous finissons par définir le véhicule solaire.

I.2- Présentation de l'organisation d'accueil :

I.2.1- L'Institut Universitaire de Technologie de Chartres :

IUT, L'Institut Universitaire de Technologie de Chartres est une composante de l'Université d'Orléans. Il s'inscrit dans le cadre du schéma Licence-Master-Doctorat (LMD) et dispense des enseignements supérieurs en Formation Initiale (y compris par la voie de l'apprentissage) et en Formation Continue.



Fig. I.1 : Institut Universitaire de Technologie de Chartres

I.2.2- Diplôme Universitaire de Technologie (DUT) :

Cette formation est organisée à temps-plein sur une durée fixée à quatre semestres. Elle accueille des étudiants titulaires d'un baccalauréat (général, technologique, professionnel) ou d'un diplôme équivalent et les bénéficiaires d'une

validation d'acquis selon les procédures propres à l'université. Trois spécialités sont offertes par les départements d'études :

- Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII)
- Génie Industriel et Maintenance (GIM).
- Gestion Logistique et Transport (GLT).

I.2.3- Licence Professionnelle (LP) :

Cette formation, d'une année, accueille des étudiants titulaires d'un diplôme Bac +2 (DUT, BTS, L2) ou d'un diplôme équivalent et les bénéficiaires d'une validation d'acquis selon les procédures propres à l'université. Les Licences Professionnelles délivrées par l'IUT de Chartres sont intitulées:

- Management et Conduite d'Unités de Production (MCUP).
- Organisation et Gestion des Achats (LOGA).
- Maîtrise de l'Energie et Energies Renouvelables (MEER).

I.2.4- Organisation des enseignements de DUT :

L'assiduité à tous les enseignements est obligatoire. Les enseignements sont répartis sous forme de cours, travaux dirigés (TD) et travaux pratiques (TP) associés à des projets et des stages en entreprises. Un projet personnel et professionnel (PPP) permettra à l'étudiant de se faire une idée précise des métiers de la spécialité et de choisir au mieux le parcours pour y accéder. Les langues vivantes étudiées à Chartres sont l'anglais, mais aussi l'allemand et l'espagnol.

I.2.5- Contrôle des connaissances et des aptitudes :

Le contrôle des connaissances est effectué de manière continue par des interrogations (orales ou écrites) ainsi que par des devoirs écrits et des comptes rendus. Le Diplôme Universitaire de Technologie (DUT) est délivré par le Président de l'Université sur proposition d'un jury après validation des quatre semestres. Etant donné la spécificité de l'enseignement dispensé dans un IUT, il est pratiquement impossible aux étudiants de mener une activité professionnelle parallèlement aux études. Les diplômés sortant d'un IUT ne rencontrent généralement pas de difficultés majeures pour trouver un emploi.

I.2.6- Statistiques :

A la rentrée, l'IUT compte 275 étudiants inscrits dont les différentes filières et :

- 32 enseignants dont 14 enseignants-chercheurs.
- 81 enseignants-vacataires.
- 18 personnes occupant des postes d'ingénieurs, administratifs, et de techniciens.

I.3- SOLAR CUP :

CHARTRES SOLAR CUP 2018, est une course annuelle de véhicules solaires fabriqués par des étudiants, organisée par l'Association ELECTRO LIBRE du Lycée Jehan de Beauce avec le concours de l'IUT de Chartres et du lycée Elsa Triolet de Lucé de la ville de Chartres, sa cinquième édition qui a eu lieu le 30 juin 2018 en trois manches :

Manche 1 : 16h30-18h30 samedi 30 juin

Manche 2 : 10h00-12h30 dimanche 1er juillet

Manche 3 : 14h00-16h00 dimanche 1er juillet



Fig. I.2 : La affiche publicitaire de course solar cup

L'objectif premier de cette compétition, est d'approfondir les connaissances de ces étudiants dans le domaine des énergies renouvelables et l'illustration concrète des potentialités de l'énergie solaire.

Deux catégories de véhicules sont admises à cette course:

- Catégorie 1 : Véhicules solaires prototype de type Eco-marathon,
- Catégorie 2 : Véhicules à assistance électro-solaire (vélos, tricycles et quadricycles solaires, Avec des spécifications techniques de chacune de ces catégories).

I.4- Le véhicule électro solaire :

Un véhicule solaire, est une voiture purement électrique, qui fonctionne à base de l'électricité Stocké dans les batteries, qui représentent l'accumulateur de l'énergie électrique, qui a étai transformé à partir de l'énergie solaire, grâce aux panneaux solaire, La voiture solaire ne reste actuellement qu'un prototype.



Fig. I.3 : Le véhicule électro solaire

I.4.1- Les avantages et les inconvénients du véhicule électro solaire :

1. Les Avantages :

- Pas d'émission de gaz et de particules nocives
- Pas de carburant, coût de fonctionnement stable

2. Inconvénients :

- Faible autonomie
- Coût élevé
- La voiture doit être très légère, toute charge supplémentaire réduirait ses performances.

D'après les règles de la course «SOLAR CUP», chaque véhicule doit comporter des panneaux solaire et une batterie et des moteurs électriques.

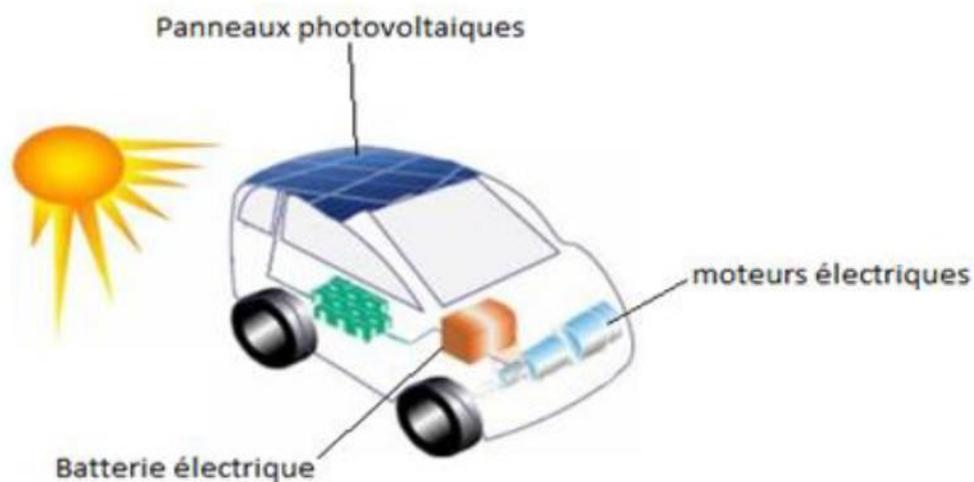


Fig. I.4 : fonctionnement du véhicule électro solaire

I.4.2- Les éléments de base d'un véhicule électro solaire :

Afin de comprendre le fonctionnement et les caractéristiques, et les différents types de chaque élément de base, et pour pouvoir choisir ce qui nous mène au bon fonctionnement optimale nous avons fait des recherches sur :

- Les batteries
- Les panneaux photovoltaïques
- Les moteurs

I.5- Conclusion :

Le véhicule électro solaire reste un prototype d'essai, son principe de fonctionnement se base sur la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, qui sert à alimenter les moteurs pour convertir l'énergie électrique à une énergie cinétique, qui assure le déplacement du véhicule.

Chapitre II :

**Les constituants de base
d'un véhicule électro
solaire**

II.1- Introduction :

Le véhicule électro solaire, est l'association des éléments tels que la batterie, et les panneaux solaires, les moteurs avec d'autres éléments qui nous permettent d'optimiser l'énergie du (VES), dans ce chapitre nous allons expliquer le rôle de chaque élément, les caractéristiques, et le fonctionnement.

II.2- Les batteries :

La batterie est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques, qui sert à stocker l'énergie électrique, elle convertit l'énergie chimique stockée en une énergie électrique à partir d'une réaction chimique réversible appelée l'oxydoréduction.

Une batterie d'accumulateurs est composée d'un ou de plusieurs éléments nommées cellule électrochimiques, les accumulateurs se présentent comme étant l'un des moyens de stockage d'énergie électrique les plus prometteurs [2], [15].

II.2.1.1- La réaction d'oxydoréduction :

La réaction d'oxydoréduction se divise en deux parties :

1- l'oxydation :

C'est la fusion d'un corps chimique avec un ou plusieurs atomes d'oxygène, ou la perte corps chimique des électrons.

2- la réduction :

C'est la perte d'un corps chimique d'un ou de plusieurs atomes d'oxygène, ou l'acquisition corps chimique des électrons.

II.2.1.2- la cellule électrochimique :

Une cellule électrochimique est l'élément de base d'une batterie, elle se compose des éléments suivants : deux électrodes, un électrolyte et un séparateur [2], Lorsque des cellules sont connectées entre elles, nous obtenons une batterie.

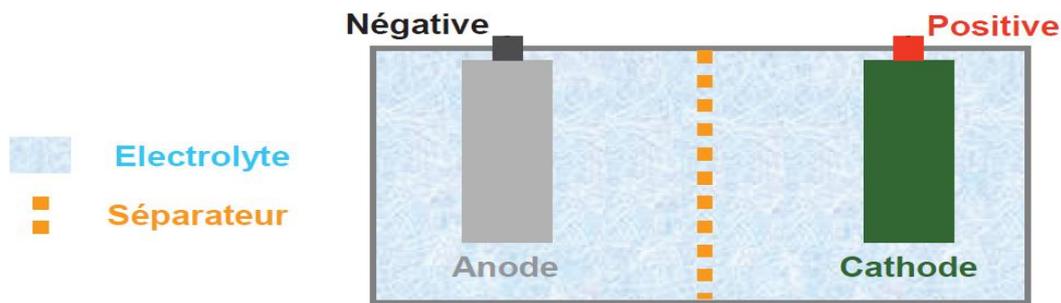


Fig. II.1 : Cellule électrochimique

II.2.1.2.1- les électrodes :

La cellule électrochimique contient deux électrodes qui sont :

1- la cathode :

La cathode, électrode positive, est le siège de la réaction de réduction. Elle est constituée d'un corps oxydant, c'est-à-dire qui peut capter un ou plusieurs électrons.



2- l'anode :

L'anode, l'électrode négative, est le siège de la réaction de d'oxydation, Elle est constituée d'un corps réducteur, c'est-à-dire qu'il peut céder un ou des électrons.



II.2.1.2.2- l'électrolyte :

L'électrolyte est le milieu ionique conducteur. Il permet le transport des ions Li^+ entre les deux électrodes. Il peut être constitué de sels solubles, d'acides ou encore de bases, sous forme liquide, gélifiée ou sèche dans certains cas.

Le déplacement de la charge électrique dans l'électrolyte est assuré par les ions. Les ions négatifs se déplacent en sens inverse du courant, et les ions positifs circulent dans le sens du courant [2], [1].

II.2.1.2.3- le séparateur :

Le séparateur sert à isoler entre les deux électrodes, en laissant passer les ions mais il bloque le passage des électrons pour éviter un court-circuit et le risque de surchauffe.

L'électrolyte humidifie le séparateur pour former un catalyseur favorisant le passage des ions. Ceux-ci se dirigent de la cathode vers l'anode en charge et inversement en décharge. [3]

II.2.2- Caractéristiques d'une batterie :

II.2.2.1- La tension nominale :

La tension nominale, exprimée en Volts. C'est le potentiel de la réaction chimique de chaque élément du couple d'oxydoréduction utilisé. Il s'agit du voltage pris à 50 % de l'état de charge.

II.2.2.2- La tension à vide :

La tension à vide (ou bien le voltage de coupure en charge) : C'est la tension mesurée sans charge et quand la batterie est presque chargée à 100 %. Elle est égale à la tension théorique.

II.2.2.3- Tension de fin de décharge :

Tension de fin de décharge (ou bien le voltage de coupure en décharge) : à cette tension l'accumulateur est considérée comme déchargée. On ne doit pas descendre en dessous de cette borne parce que cela cause la destruction et la démolition des accumulateurs. [10]

II.2.2.4- La résistance interne :

La résistance interne d'un accumulateur composé de deux parties :

A. La résistance électronique :

Elle correspond à la résistivité des différents matériaux utilisés dans la batterie ainsi qu'aux contacts entre eux.

B. La résistance ionique :

La résistance est due à certains facteurs électrochimiques tels que la conductivité de l'électrolyte ou encore la mobilité des ions. [9]

II.2.2.5- La capacité nominale :

La capacité d'un accumulateur est exprimée en ampères-heures(Ah), elle définit la quantité de charge électrique maximale que la batterie peut fournir un certain temps. Cette capacité est déterminée en déchargeant la batterie à 100% jusqu'à la tension fin de décharge. [11]

$$Q = \int_{t_0}^{t_f} I_{batt}(t)dt \quad (II.3)$$

$$1Ah = 1000mAh = 3600Coulomb \quad (II.4)$$

$$1Coulomb = \frac{1Ah}{3600} = 0,277mAh \quad (II.5)$$

II.2.2.6- Etat de charge :

L'état de charge SOC (State Of Charge) est une expression qui détermine la quantité de charge électrique disponible dans la batterie à un moment donné. Elle est exprimée en pourcentage de la capacité maximale.

Cette quantité est l'intégrale du courant en fonction de temps :

$$SOC = \frac{Q_{max}}{Q_{inst}} \quad (II.6)$$

II.2.2.7- Taux-C :

Le temps de charge ou décharge d'une batterie est notée par « C », cette valeur permet également de définir le temps nécessaire pour décharger ou charger une batterie, par exemple si une batterie qui possède une capacité de 1Ah :

- pour 1C elle nous fournis 1000mA pendant 1h.
- pour 0,5C elle nous fournis 500mA pendant 2h.
- pour 2C elle nous fournis 2000mA pendant 30min.

II.2.3- Le câblage des batteries et des cellules :

En associant des cellules entre elles nous obtenons une batterie et en associant des batteries nous obtenons un pack de batteries [7], pour cela il y'a trois type de câblages :

II.2.3.1- Batteries en parallèle :

Lorsque l'on installe des batteries en parallèle (+ au +, - au -), à tension égale, on additionne les capacités. Deux batteries de 100 Ah 12 volts en parallèle équivalent à une batterie de 200 Ah 12 volts.

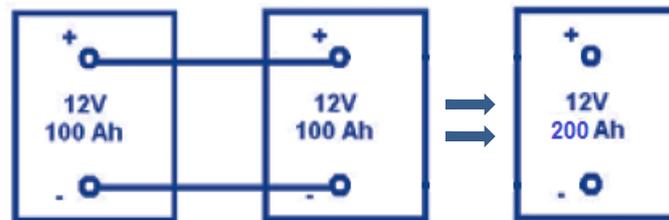


Fig. II.2 : association de Batteries en parallèle

II.2.3.2- Batteries en série :

Lorsque l'on installe deux batteries en série (+ au -), à capacité égale, on double la tension. Deux batteries de 100 Ah 12volts en série équivalent à une batterie de 100 Ah 24 volts.

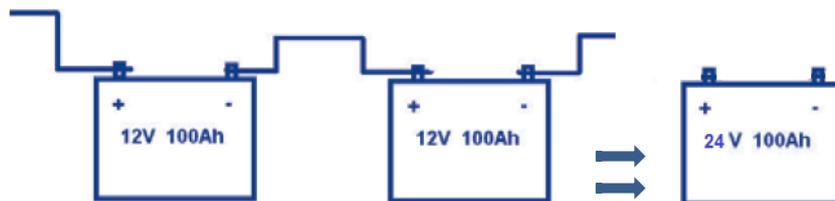


Fig. II.3 : association des Batteries en série

II.2.3.3- Batteries en série/parallèle :

On double la tension et la capacité. Quatre batteries de 100 Ah 12volts en série/parallèle équivalent à une batterie de 24 volts 200 Ah. [8]

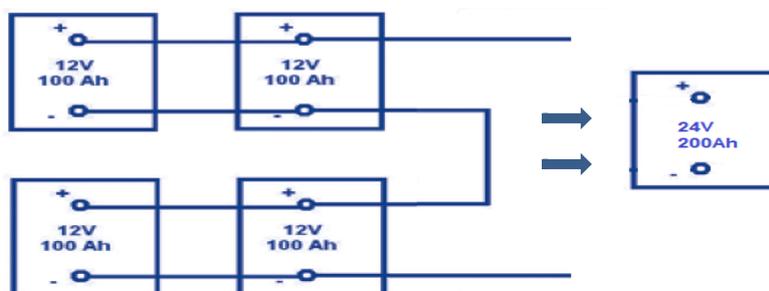


Fig. II.4 : association des Batteries en série/parallèle

II.2. 4- Principaux types des batteries et leurs caractéristiques :

Maintenant que le point a été fait sur la théorie des batteries et c'est principaux constituants, passons en revue sur quelque types de batterie présents sur le marché ainsi que leurs caractéristiques.

II.2.4.1- Les batteries au plomb :

La batterie au plomb a toujours été la source d'énergie la plus répandue pour les véhicules thermiques au démarrage des moteurs à combustion interne et comme batteries de secours dans les hôpitaux. Sa technologie est bien maîtrisée. [12]

Caractéristiques :

- Cycle de vie faible, environ 400 cycles
- Énergie spécifique faible
- Faible performance à basses températures

II.2.4.2- Les batteries au nickel-cadmium :

Les batteries au nickel-cadmium ont un fonctionnement similaire aux batteries au plomb, la seule différence est dans le couple Pb/PbO₂ est cette fois remplacé par le couple Ni/Cd. [12]

Caractéristiques :

- Énergie spécifique doublement supérieure à celle de l'accumulateur au plomb.
- Puissance spécifique élevée.
- Grande durée de vie.
- Résistance interne très faible,
- Faible autodécharge.
- Bonne performance à basse température.

II.2.4.3- L'accumulateur aux hydrures métalliques de nickel:

L'accumulateur au nickel hydrure métallique a pris la célébrité du nickel cadmium grâce à sa meilleure performance. Aujourd'hui, cet accumulateur envahit le marché des véhicules hybride, L'avantage majeur de ce type d'accumulateur c'est qu'il présente un bon compromis entre le prix, l'énergie, la puissance, et l'environnement.

[2]

II.2.4.4- L'accumulateur aux lithium- ions(LFP) :

Dans notre projet du VES on va utiliser ce type de batterie, et exactement la batterie LiFePO₄ (LFP), nommé« Lithium Fer Phosphate », parce que ce type, est considéré comme batterie solaire, et les accumulateurs lithium-ion présentent un plus grand potentiel électrochimique, en plus le lithium est le plus léger des métaux. Les accumulateurs aux ions de lithium sont utilisés dans l'industrie des ordinateurs portables, les téléphones cellulaires ainsi que dans les systèmes embarqués et les véhicules électriques et véhicule thermique à cause de leur haute densité d'énergie. Ce type de batterie à une bonne performance à une température élevée et une faible auto décharge d'autant plus qu'il ne présente aucun effet mémoire [2].

La cellule LFP, permet d'obtenir un courant élevé, une stabilité thermique une sécurité accrue, une plus longue durée de vie et une meilleure autonomie aux modes de fonctionnement défavorables. Par contre l'énergie spécifique est moyenne.

Les batteries lithium-ion ne supportent pas le stockage à un voltage élevé, ce qui est moins le cas pour les cellules LFP, souvent utilisées afin de remplacer les batteries au plomb dans les véhicules. [3]

Son fonctionnement se base sur la réaction d'oxydoréduction suivante :



II.2.4.4.1- La nature de la batterie LFP :

1- Cathode :

Cristallographique en métal oxydé, ces constituants chimiques sont CoO₂ (dioxyde de cobalt), MnO₂ (dioxyde de Manganèse) et FePO₄ (phosphate de fer), et un collecteur en aluminium canalise le flux électronique généré ou absorbé par cette électrode qui est le pôle positif de la batterie.

2- Anode :

Cristallographique en graphite, et un collecteur en cuivre canalise le flux électronique généré ou absorbé par cette électrode qui est le pôle négatif de la batterie.

3- Electrolyte :

Solvant aprotique organique (souvent des carbonates d'alkyles) avec des sels de Lithium dissous (souvent LiPF6).

II.2.4.4.2- Comportement de la batterie LFP en décharge et en charge :

1- en décharge :

La formation de LiFePO₄ à la cathode est liée à la décharge, autant que le Graphite de lithium se sépare en carbone et en ion Li⁺ à l'anode. Les cristallographiques formées entre le Lithium et le carbone et les oxydes métalliques ne sont pas totalement déchiffré .car il ne suit pas un processus de polarisation des éléments de lithium, ioniques aussi bien que atomiques.

Pour un nombre de réactions d'oxydation, le Lithium est réduit à la cathode en passant de +I à 0, tandis qu'il est oxydé à l'anode en passant de 0 à +I. Ainsi que le déplacement de x ion Lithium s'accompagne par le transfert de x électrons de l'anode vers la cathode. [13]

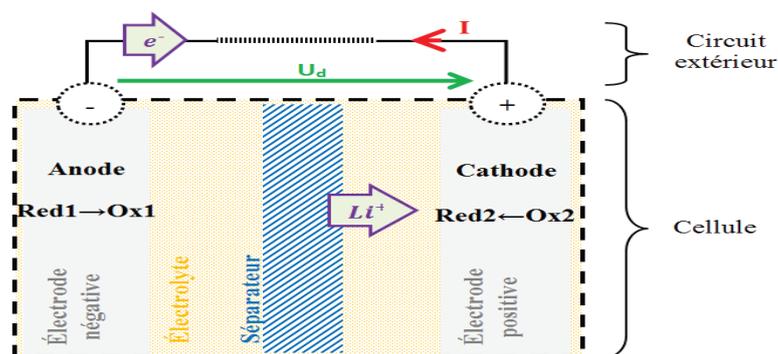
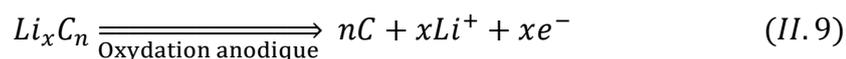
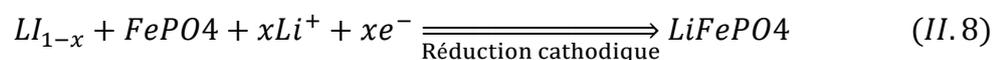


Fig. II.5 : Schéma de principe d'une cellule pour le cas de décharge

a- Réactions chimiques pour la décharge :



Remarque : avec n un entier et 0 < x < 1

2- en charge :

La destruction de LiFePO₄ à la cathode est liée à la charge, tandis que le Graphite de lithium se forme à l'anode. Le processus polarisation des éléments Lithium, aussi bien ioniques qu'atomiques, se fait en sens opposé par rapport à la décharge. Pour les nombres d'oxydation, le Lithium est réduit à l'anode en passant de +I à 0, tandis qu'il est oxydé à la cathode en passant de 0 à +I. Ainsi que le déplacement de x ion Lithium s'accompagne par le transfert de x électrons de la cathode vers l'anode. [13]

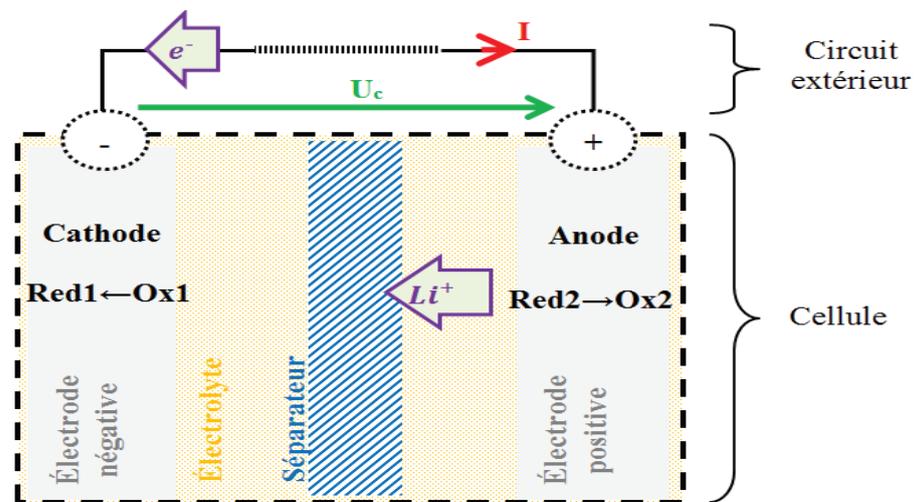
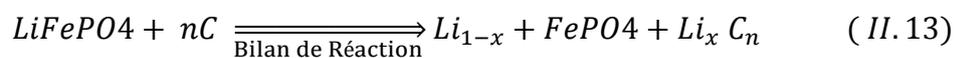
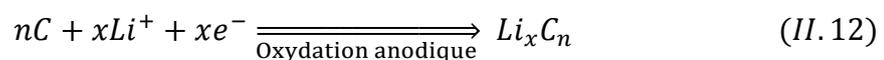
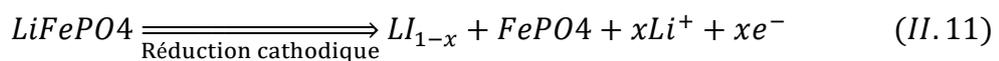


Fig. II.6 : Schéma de principe d'une cellule pour le cas d'une charge

b- Réactions chimiques pour la charge :



Remarque : avec n un entier et $0 < x < 1$

II.2.4.4.3- Les avantages et les inconvénients de la batterie LFP :

1- Applications :

Les batteries LiFePO₄ sont plus robustes, plus puissantes, plus sûres, moins polluantes et plus pratiques que les batteries Li-ion ou au plomb et c'est pour ça

qu'elle est sensé de les remplacer à l'avenir, dans de nombreux domaines d'applications.

- Station solaire / Éoliennes
- Voitures électriques, vélos électriques, scooter ...
- Fauteuils roulants, chaises médicales
- Chariots de Golf, modélisme (avion, bateaux ...). [4]
- Véhicules hybrides, voitures électriques, bicyclettes électriques, scooter
- Fauteuil roulant, chaise médicale, chariot de golf. [5]

2- les avantages :

- Haute performance et un taux d'autodécharge très faible.
- Utilisable jusqu'à une température de 70°C.
- Moins polluante (moins toxique que tous les autres types de batteries).
- Puissance garantie tout au long de la décharge.
- Utilisable dans n'importe quel sens : pas de risque de fuite.
- Recharge ultra rapide : 0 à 90% en une quinzaine de minutes.
- Une technologie a haute sécurité et composants stables: les batteries LiFePO4 ne peuvent pas prendre feu ni exploser en cas de surcharge.
- Densité d'énergie 3 fois supérieure à celle d'une batterie au plomb.
- Sans entretien. [4]
- longue durée de vie: Environ 6 a 7 ans, jusqu'à 2000 cycles.
- Pas d'effet de mémoire.
- Ecologique : non toxique, non contaminant, pas de métal rare. [6]

3- les inconvénients :

- Prix élevé, car la technologie est complexe.
- Chargeur spécial ou compatible.
- Besoin d'un système de sécurité.

II.2.5- BATTERY MANAGEMENT SYSTEM :

BMS « BATTERY MANAGEMENT SYSTEM », est un système électronique qui contrôle les cellules d'une batterie, en série ou en parallèle, en charge et décharge, c'est un mécanisme essentiel qui assure la sécurité et le bon fonctionnement de la

batterie, afin d'optimiser sa capacité et empêche la démolition de la batterie, il permet le contrôle de chaque cellule en temps real, et il a une fonction d'équilibrage et la gestion thermique. [13]

II.2.5.1- L'équilibrage :

La fonction principale du BMS c'est l'équilibrage, le system d'équilibrage est conçu pour garantir que toutes les cellules de la batterie sont identiques et au même état de charge, pour éviter le déséquilibre de charge entre les cellules, ce qui influe sur le comportement et la fonctionnalité optimale de la batterie et diminue de sa durée de vie.

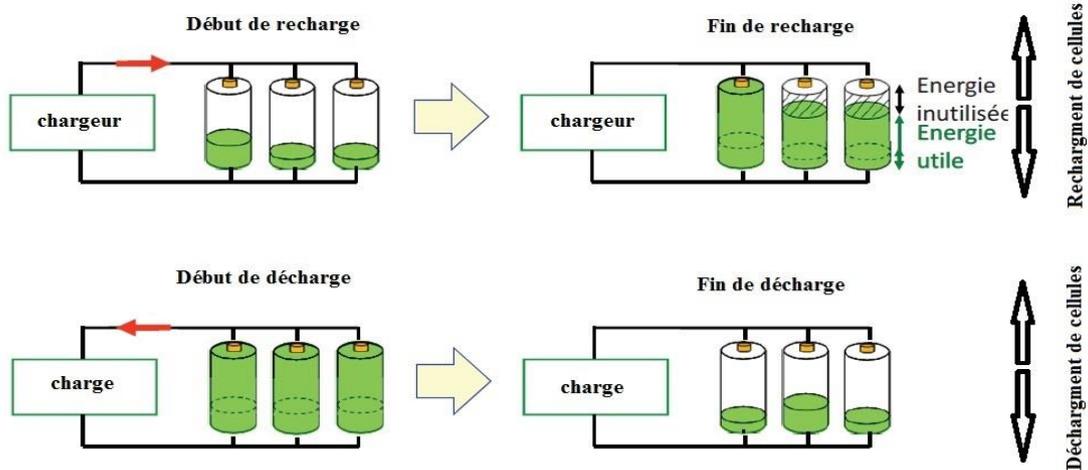


Fig. II.7 : La charge et la décharge sans BMS

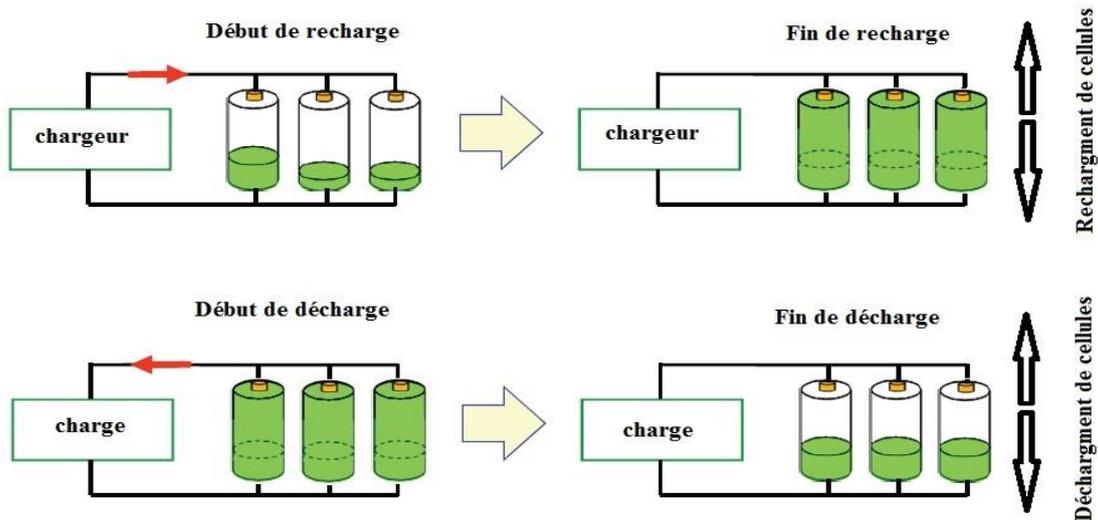


Fig. II.8 : La charge et la décharge avec BMS

Il existe deux méthodes d'équilibrage :

A- L'équilibrage passif :

Cette méthode consiste à placer une résistance aux bornes de chaque cellule, qui a une surcharge, pour baisser sa haute-tension afin de la décharger individuellement, cette méthode est utilisable uniquement durant la charge pour éviter la surtension. Le grand inconvénient de cette méthode se réside dans : le gaspillage d'énergie. [14]

B- L'équilibrage actif :

L'équilibrage actif consiste à transférer l'énergie entre les cellules (celle la plus chargée, vers les autres, pour qu'elles puissent avoir le même état de charge), au lieu de dissiper l'énergie en chaleur dans la résistance. Cette méthode ne dépend pas des caractéristiques chimiques des cellules, mais de leur état de charge.

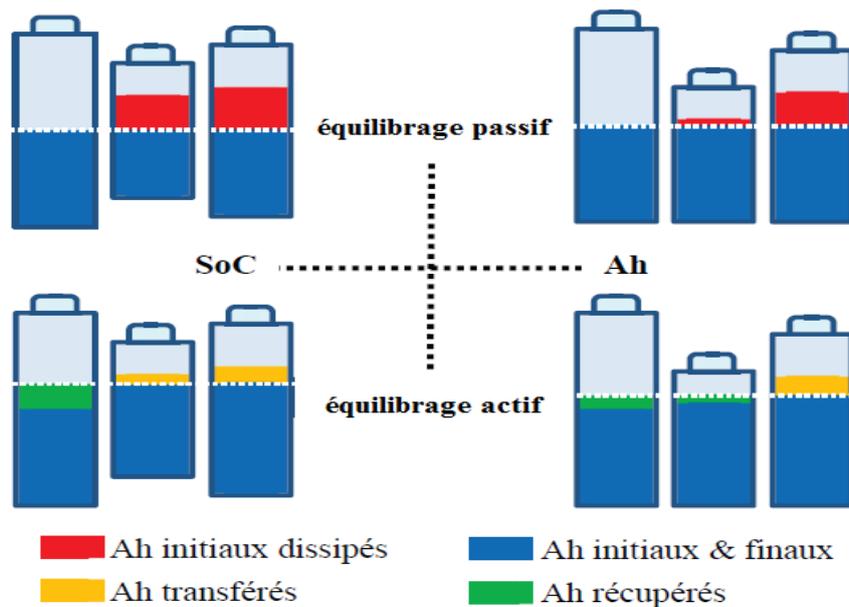


Fig. II.9 : Illustrations des différences entre le cas "équilibre actif " vs "équilibre passif"

La batterie LFP doit être protégée par un système BMS pour empêcher la surtension ou la sous-tension car :

- la cellule LFP sera endommagée si la chute en dessous de 2,5 V ou si la tension sur la cellule est supérieure à 3,6 V.

- Les cellules d'une batterie LFP ne s'équilibrent pas automatiquement à la fin du cycle de charge.

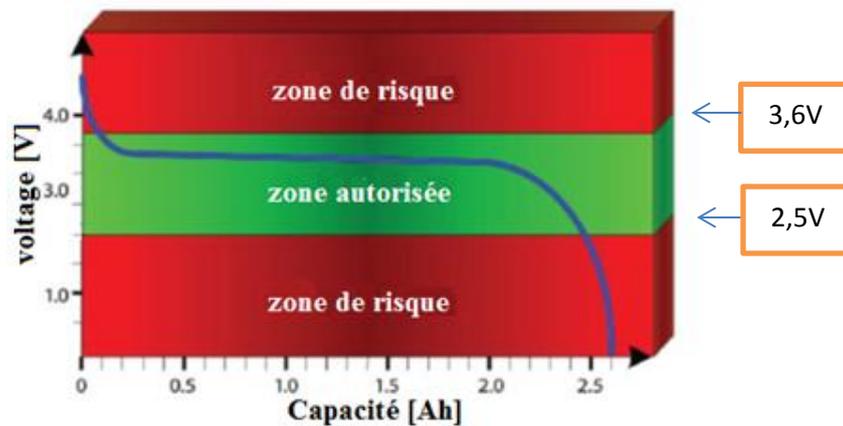


Fig. II.10 : Zone de fonctionnalité du BMS

Donc l'association d'un BMS est nécessaire pour garantir un fonctionnement optimal de la batterie avec une longue durée de vie.

II.3- l'énergie photovoltaïque :

Pour pouvoir choisir un générateur photovoltaïque il faudra comprendre son fonctionnement et ses constituants et caractéristiques.

II.3.1- L'énergie solaire :

L'énergie solaire, c'est une source énergétique quasiment illimitée. Elle est convertie en deux modes, énergie solaire photovoltaïque, ou énergie solaire thermique.

L'énergie solaire photovoltaïque, c'est la conversion directe du rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. On utilise les modules photovoltaïques comme (cellules solaires ou de photopiles). Par contre l'énergie solaire thermique utilise les capteurs thermiques pour produire de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer l'eau ou de l'air. [16]

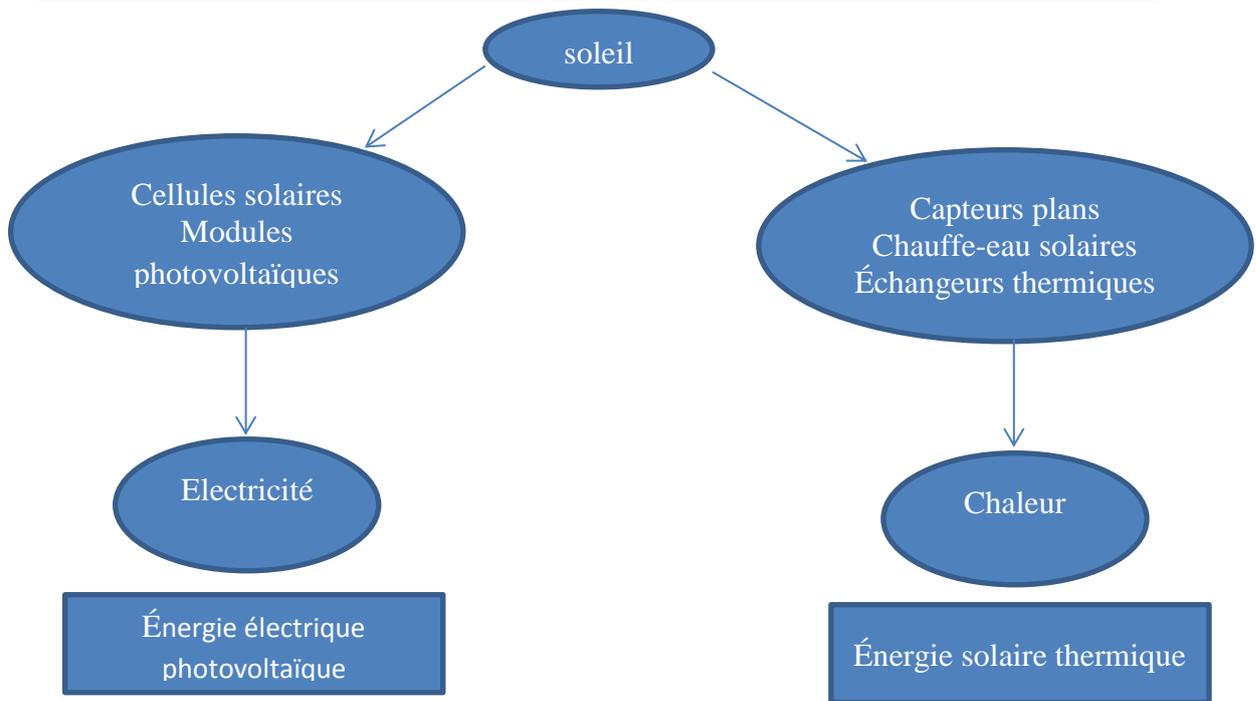


Fig. II.11 : Les deux types d'énergie solaire

II.3.2- Panneaux photovoltaïques :

Un panneau photovoltaïque, est un module photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu, en présence du rayonnement (solaire ou autre), il est constitué des cellules photovoltaïques qui sont connectées entre elles en série ou en parallèle. Il est considéré comme module de base pour les installations photovoltaïques. [22]

II.3.2.1- Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque (PV) est un dispositif à semi-conducteurs. Elles sont généralement en silicium sous différentes formes. Elle fonctionne selon le principe physique d'un phénomène appelé «Effet photovoltaïque », elle produit de l'énergie électrique lorsqu'elle est exposée au rayonnement lumineux (solaire ou autre). La tension générée peut alors varier entre 0,3 et à 0,7V en fonction des matériaux qui composent la cellule et la température et du vieillissement de la cellule. [17]

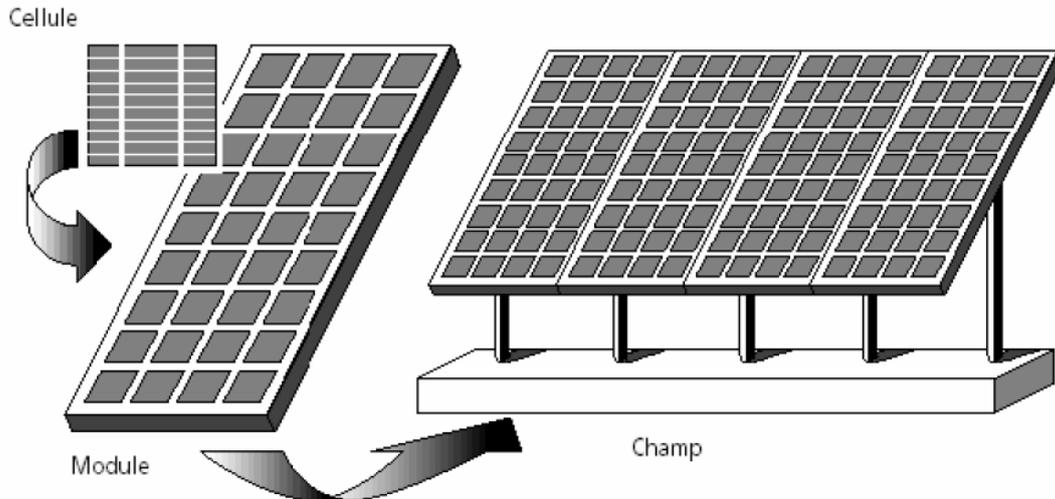


Fig. II.12 : Présentation d'une cellule, d'un panneau et d'un champ photovoltaïque

II.3.2.2- Principe de la conversion Photoélectrique:

Un photon :

Un faisceau lumineux (photons), c'est le déplacement d'un petits corps porteur d'énergie, (Einstein 1905. [20])

II.3.2.3- L'effet photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur) :

- une couche dopée positivement (zone P)
- une couche dopée négativement (zone N)

La zone de contact entre ces deux couches appelé la jonction PN, elle facilite le déplacement des électrons, l'effet photovoltaïque c'est la conversion direct du rayonnement lumineux en électricité elle est obtenu en 3 étapes :

- Absorption de la lumière
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques
- La collecte des charges

Le paragraphe suivant résume ces trois étapes :

Quand les photons atterrissent sur la surface des cellules ou la couche mince, les photons transfèrent leur énergie, aux électrons qui forment le matériau semi-

conducteur, l'absorption de cette énergie dans la cellule génère une excitation des électrons sur les deux couches, et crée une charge électrique l'un positive et l'autre négative. Dans les deux couches P et N, les électrons excités vont se mettre en mouvement dans une direction particulière, cela génère un courant électrique.

Le courant électrique continu qui se crée est alors recueilli par des fils métalliques très fins connectés les uns aux autres et acheminés à la cellule suivante.

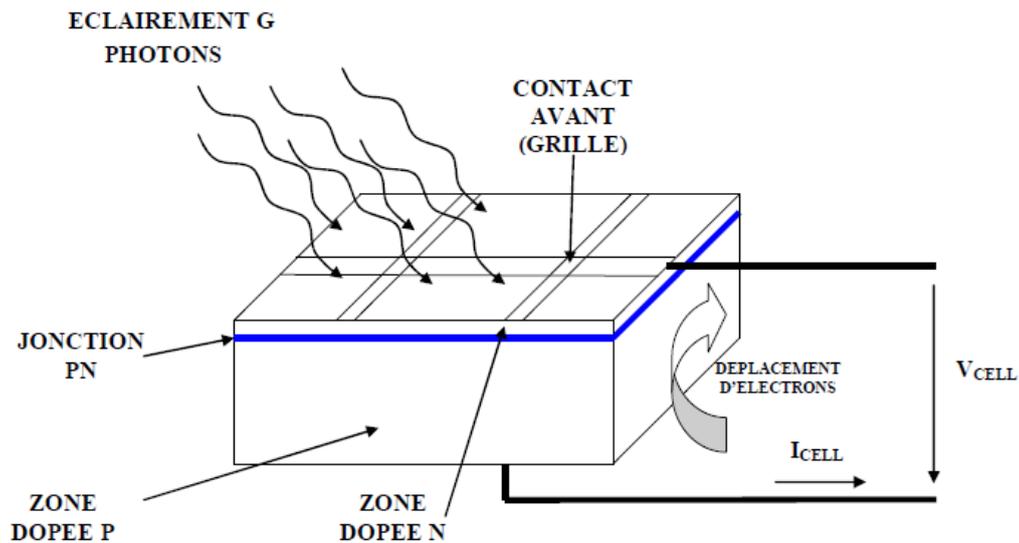


Fig. II.13 : Coupe transversale d'une cellule PV typique.

II.3.3- Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

Le plus simple circuit équivalent à une cellule solaire, est une source de courant en parallèle avec une diode et une « résistance shunt », tous connectés en série avec une résistance, la source de courant est liée proportionnellement à la lumière tombante sur la cellule, pendant l'obscurité la cellule solaire n'est pas active, il fonctionne comme une diode.

Le circuit équivalent pourra être présenté par la figure suivante [18]:

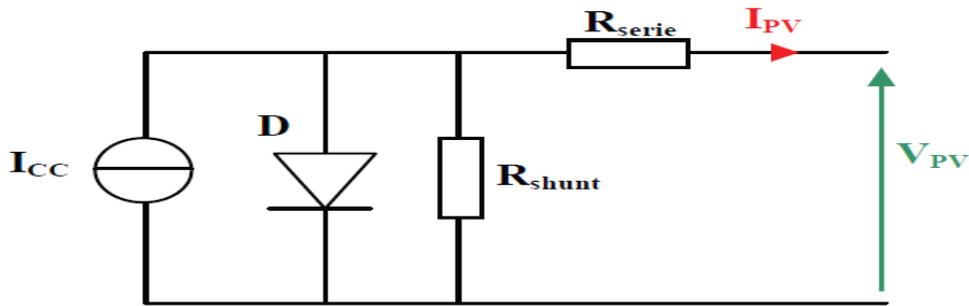


Fig. II.14 : Circuit équivalent à une cellule photovoltaïque

En se basant sur ce circuit, le courant généré par la cellule solaire peut être présenté par l'équation suivante [19] :

$$I_{cell} = I_{cc} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{V_{cell} + (I_{cell} * R_{serie})}{nVT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{cell} + (I_{cell} * R_{serie})}{R_{shunt}} \quad (II.14)$$

Où $VT = \frac{KT}{e}$ représente la potentielle thermodynamique

I_{sat} : Le courant de saturation

I_{cc} : Le courant de court-circuit

K : la constante de BOLTZMAN (1.381 10⁻²³ Joules/Kelvin)

T : la température de la cellule en Kelvin

e : la charge d'un électron

n : le facteur de non idéalité de la jonction

I_{cell} : Le courant fourni par la cellule

V_{cell} : La tension aux bornes de la cellule

I_{cc} : le courant produit par la cellule lorsqu'elle est mise en court-circuit ($V=0$)

R_{shunt} : La résistance modélisant les courants de fuites de la jonction

R_{serie} : La résistance série caractérisant les diverses résistances de contacts et de connexions

II.3.4- La caractéristique courant-tension I(V) :

C'est une courbe qui caractérise la cellule photovoltaïque, elle représente la variation du courant débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci, depuis le courant de court-circuit (I_{cc}), jusqu'à la tension de circuit-ouvert (V_{co}), dans les différentes conditions, car le fonctionnement des cellules photovoltaïques dépend des conditions d'ensoleillement et de la température à la surface de la cellule. Ainsi que conditions ambiantes, chaque courbe I(V) correspond à une condition spécifique de fonctionnement, celle-ci est représentée sur la figure suivante :

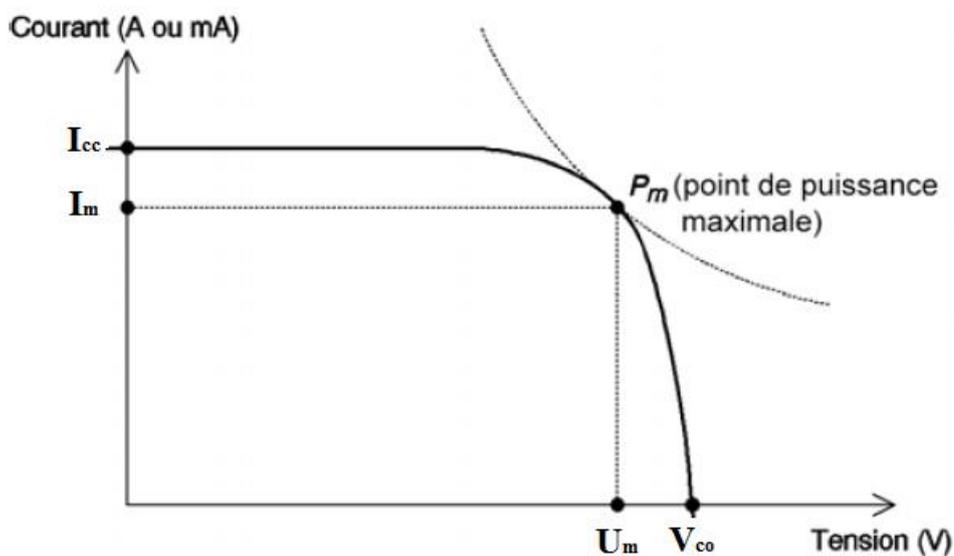


Fig. II.15 : La caractéristique I(V)

II.3.5- Les caractéristiques d'un module PV :

II.3.5.1- La tension de circuit ouvert « V_{CO} » :

C'est la tension pour laquelle, le courant généré par un module PV est nul, cette tension est mesurée, au borne d'un module PV, sous une source lumineuse et son aucune charge, c'est la tension maximale que peut délivrer une cellule photovoltaïque. [16]

II.3.5.2- Courant de court-circuit « I_{CC} » :

Courant de court-circuit, c'est le courant mesuré quand on met un module PV, en court sécurité circuit, il débite un courant maximal, mais sous aucune tension. [16]

II.3.5.3- Point de puissance maximale «P_m» :

Ce point est situé à l'angle de la caractéristique I (V), c'est le point où la puissance produit d'une cellule photovoltaïque est optimale, suivant la formule P=UI, pour que la puissance soit maximale, il faut respecter les conditions où le produit UI est maximal. [16]

II.3.5.4- Puissance-crête «P_c» :

C'est la puissance maximale produite par le module photovoltaïque, dans les conditions normalisées d'ensoleillement STC (1 000 W/m², 25 °C, spectre solaire AM 1,5), et son unité c'est le watts-crête (Wc).

II.3.5.5- Rendement d'un module PV :

Le rendement d'un module PV, est défini comme le rapport entre la puissance généré par module et la puissance d'éclairement reçu, sa relation est la suivante :

$$n = \frac{P_m}{E_e \cdot S} \implies \frac{W}{\left(\frac{W}{M^2}\right) \cdot M^2} \quad (II.15)$$

Ou :

P_m : puissance maximale en (watt)

E_e : l'éclairement en (watt /M²)

S : la surface du module PV

II.3.6- Association des modules PV :

Une cellule PV, qui l'unité de base d'un système photovoltaïque, elle ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt, est pour que on peut avoir une grande puissance, il faut associées les cellules ce-qui résulte un panneau, idem pour l'association des panneaux qui résulte un générateur photovoltaïque, la plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules, connectées entre eux pour des applications spécifique, on a trois type d'associations :

- Association en série
- Association en parallèle
- Association mixte (série parallèle)

II.3.6.1- Association en série :

Dans une association en série, le même courant traverse chaque cellule, tandis que la tension globale est la somme des tensions à travers toutes les cellules, comme illustré sur la figure ci-dessous :

$$U = U1 + U2 + \dots + Un$$

$$I = I1 = I2 = In$$

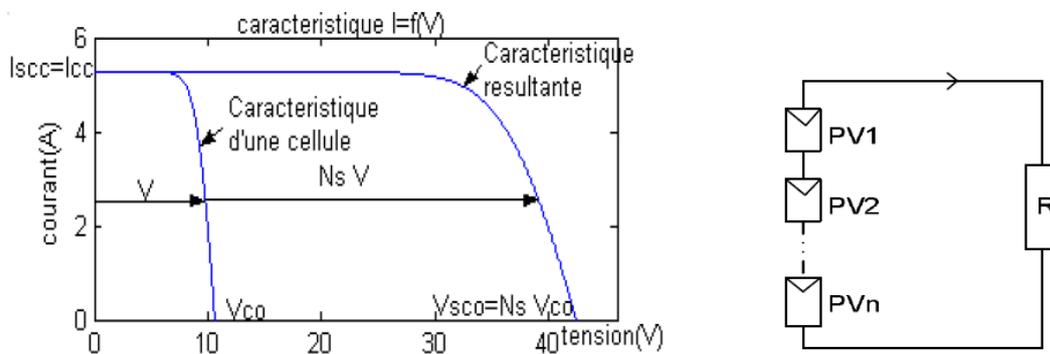


Fig. II.16 : Caractéristiques I(V) pour Association en série

II.3.6.2- Association en parallèle :

Dans une association parallèle, la tension globale est la même générée par chaque cellule, tandis que le courant global est la somme des courants travers toutes les cellules, comme illustré sur la figure ci-dessous :

$$U = U1 = U2 = U3 = Un$$

$$I = I1 + I2 + I3 + \dots + In$$

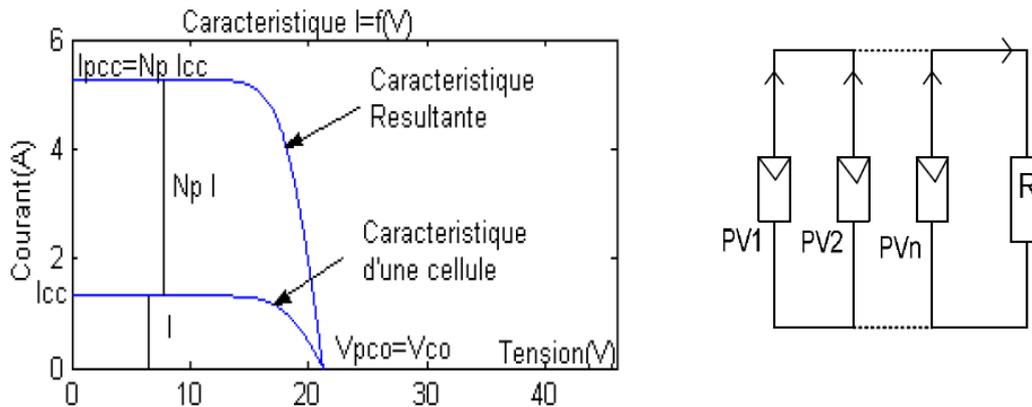


Fig. II.17 : Caractéristiques I(V) pour Association en parallèle

II.3.6.3- Association mixte (série parallèle) :

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, et avoir une grande puissance, l'association mixte est la solution, car on obtient une augmentation du courant de chaque branche mise en parallèle, et une augmentation de tension de chaque cellule mise en série, comme illustré sur la figure ci-dessous :

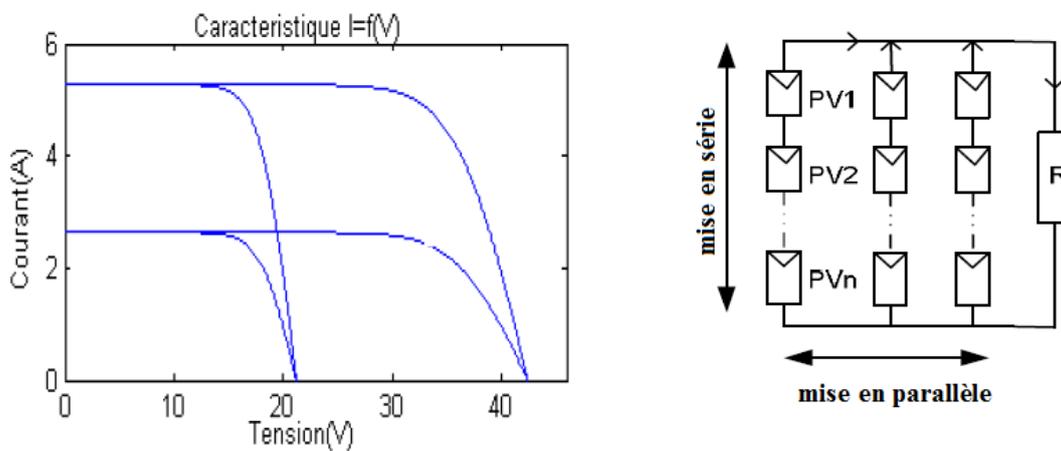


Fig. II.18 : Caractéristiques I(V) pour Association mixte

II.3.7- Les différents types des cellules solaires :

Il existe trois types principaux de cellules :

II.3.7.1- Les cellules amorphes :

Le silicium amorphe, apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du

silicium cristallin. Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible).

- Coût de production bien plus bas
- Rendement de seulement 5 % par module et de 14 % au laboratoire.
- Fonctionne sous très faible éclairement.

II.3.7.2- Les cellules poly-cristallines :

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles aussi proviennent du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors hétérogènes. Les cellules poly-cristallines est caractérisées par :

- Coût de production moins élevé.
- Nécessite moins d'énergie.
- Bon rendement : 13 % et jusqu'à 20 % en laboratoire.

II.3.7.3- Les cellules monocristallines :

La cellule monocristalline est celle qui s'approche le plus du modèle théorique: cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22 %. Ces cellules présentent néanmoins des inconvénients:

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée (jusqu'à 7 ans).
- Très bon rendement : 15% à 22 % en laboratoire.

C'est le type de cellules qu'en vas utiliser, sur le prototype de VES, à cause de leur rendement élevé.

II.3.8- Optimisation possible du rendement d'un panneau :

Les méthodes d'optimisation sont diverses, dans les différents installations, mais dans le cas de notre projet de VES, il y a deux possibilités qui sont :

II.3.8.1- Optimisation par un régulateur :

Il est préférable d'opter pour un contrôleur de type "MPPT" (Maximum Power Point Tracking).

II.3.8.2- Optimisation des câblages :

Un câble trop fin et/ou trop long génère des pertes. Il faut donc penser à son installation avec la plus courte distance entre panneau photovoltaïque et batterie.

II.3.9- Les avantages et les inconvénients des panneaux solaires photovoltaïques :

II.3.9.1- Les avantages :

- L'intégration de l'énergie photovoltaïque comme une source d'énergie sur un véhicule est une nouvelle technologie.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie renouvelable gratuite et propre.
- Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes
- Pas d'émission de gaz et de particules nocives alors pas de pollution

II.3.9.2- Inconvénients :

- Le coût d'investissement des panneaux
- Rendement entre 4% et 22% photovoltaïques est peu élevé
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible
- L'énergie générée ne peut pas satisfaire la pas les demandes d'un VES

II.4- L'association des panneaux solaires avec la batterie :

la production solaire ne suffit pas la demande de la charge (récepteur), alors il nous faut compenser le manque, par l'énergies stockée dans la batterie, donc la batterie sera un réservoir d'énergie, que l'on remplira d'une part par le panneau, et que l'on videra d'une autre part dans le récepteur, Ces deux événements peuvent être simultanés ou non, du au exigence du récepteur, donc le plus rationnel c'est la mise en parallèle du panneau, de la batterie et du récepteur, comme nous démontre la figure suivante :

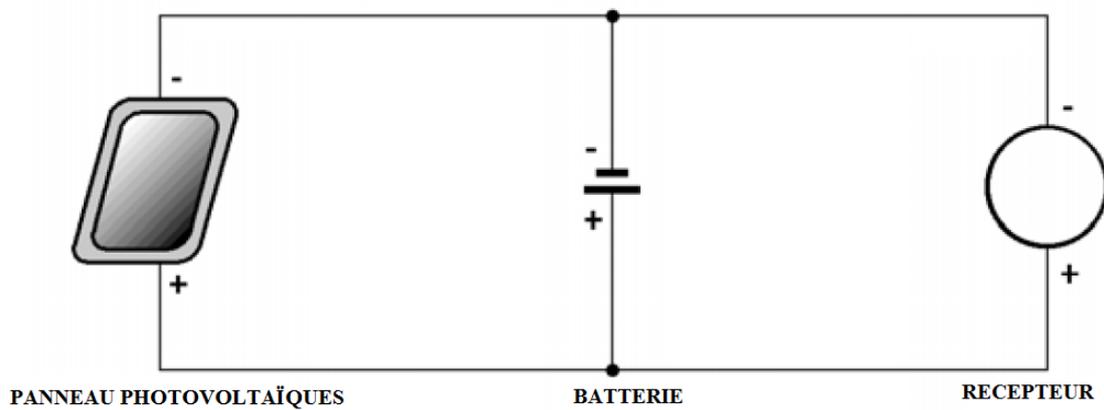


Fig. II.19: Association panneau batterie récepteur

Cette association panneau-batterie n'est pas suffisante, pour avoir le fonctionnement optimal du panneau et batterie, c'est pour cela qu'on doit intégrer aux panneaux un contrôleur (MPPT), et pour la batterie un BMS « BATTERY MANAGEMENT SYSTEM », pour la batterie, ce qui nous permettra d'avoir le rendement optimal de la chaîne d'énergie, comme nous montre la figure suivante :

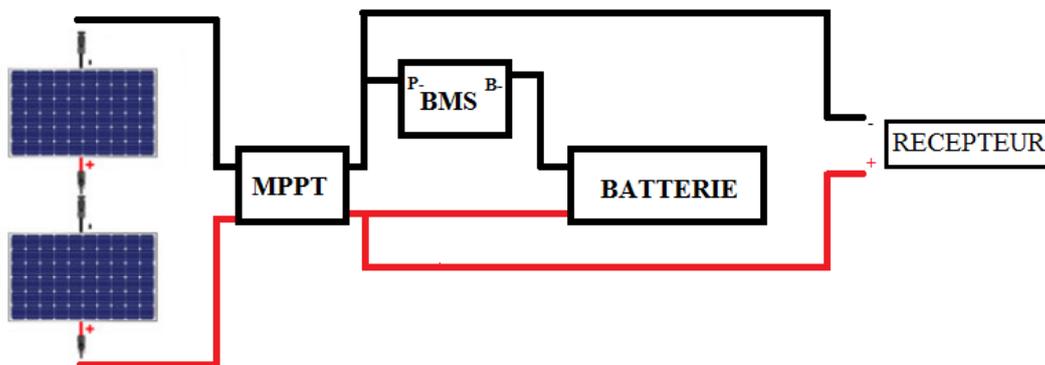


Fig. II.20 : Association du panneau liée à un MPPT avec une batterie liée à un BMS

II.5- Maximum Power Point Tracking :

Par définition, une commande MPPT, permet de faire fonctionner un générateur photovoltaïque (PV), (ensemble de cellules photovoltaïques) de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelle que soient les conditions météorologiques (température et irradiation) et quelle que soit la tension de la charge (charge résistive ou batterie), la commande du convertisseur place le

système au point de fonctionnement optimale (V_{opt} , I_{opt}). Son principe de fonctionnement, consiste à suivre le (V_{opt} , I_{opt}) à partir de la caractéristique $I(V)$.

II.6- Motorisation :

Le moteur électrique, c'est un composant de base, le plus important pour le VES, vu que c'est l'actionneur et le convertisseur de l'énergie électrique vers l'énergie mécanique, c'est pour cela que nous devons faire le bon choix pour notre prototype.

II.6.1- Moteur BRUSHLESS :

Un moteur BRUSHLESS, est un moteur électrique de type synchrone autopiloté, à aimants permanents. Le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents, et un capteur de vitesse (capteur à effet hall). Il fonctionne en courant continu, il ne contient aucun collecteur tournant et donc pas de balais. [22]



Fig. II.21 : Moteur BRUSHLESS

II.6.2- Principe de fonctionnement :

Un moteur « BRUSHLESS » est constitué d'aimants permanents sur le rotor et d'un bobinage triphasé sur le stator, il suffit de faire passer un courant dans une partie du bobinage pour créer un champ magnétique qui va attirer les aimants et les aligner avec le Champ magnétique, le bobinage est généralement en triphasé, c.à.d qu'il est constitué de 3 groupes de bobines reliées entre elles. En alimentant successivement les groupes de bobines, le rotor va à chaque fois s'aligner sur les champs et tourner. Le moteur est simple mais la commande électronique doit être

assurée par un codeur ou un contrôleur. En effet, il faut connaître à chaque instant la position du rotor et envoyer le courant dans les groupes de bobines. Celles-ci transforment le courant continu en courant triphasé à fréquence variable qui va alimenter successivement les bobines (enroulements) pour créer un champ tournant et donc la rotation.

II.7- Le Contrôleur d'un moteur BRUSHLESS :

Pour obtenir la vitesse souhaitée, le contrôleur du moteur BRUSHLESS varie la tension d'alimentation de chaque bobinage, tout en assurant une fréquence de commutation adaptée à la fréquence de rotation mesurée du moteur, c.à.d. quand un aimant approche d'une bobine, le contrôleur le magnétise, ce qui attire l'aimant et fait accélérer le moteur. Dès que l'aimant est assez proche de la bobine, le contrôleur le désactive. L'aimant le dépasse sur sa lancée pour être attiré par la bobine suivante qui est alors activée, et ainsi de suite. [23]



Fig. II.22 : Le Contrôleur d'un moteur BRUSHLESS

II.8- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le principe de fonctionnement et les caractéristiques des éléments de base de la chaîne énergétique (batterie, panneau solaire, moteur) d'un prototype du VES, et les éléments qui nous permettent d'avoir un fonctionnement optimal, comme le BMS, MPPT, et le contrôleur d'un moteur BRUSHLESS, et ça nous a aidés à bien comprendre le but de notre projet.

Chapitre III :
Analyse des besoins et
Réalisation d'un véhicule
électro solaire

III.1- Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter l'architecture du VES, définir les composants utilisés dans la partie énergétique, et la partie transmission des données, et les besoin d'un VES. Nous expliquerons par la suite les problèmes intervenus pendant la course.

III.2- la chaine énergétique du prototype VES utilisé:

L'architecture de la chaine énergétique du prototype utilisé se compose de trois paires de panneaux solaires, chaque paire est connectée en série avec un MPPT, et en parallèle avec la batterie et les moteurs. Cette connexion nous permet de charger la batterie, et alimenter les moteurs. Par ailleurs, elle est connectée à un BMS qui assure son fonctionnement. Les moteurs sont connectés directement à leurs contrôleurs.

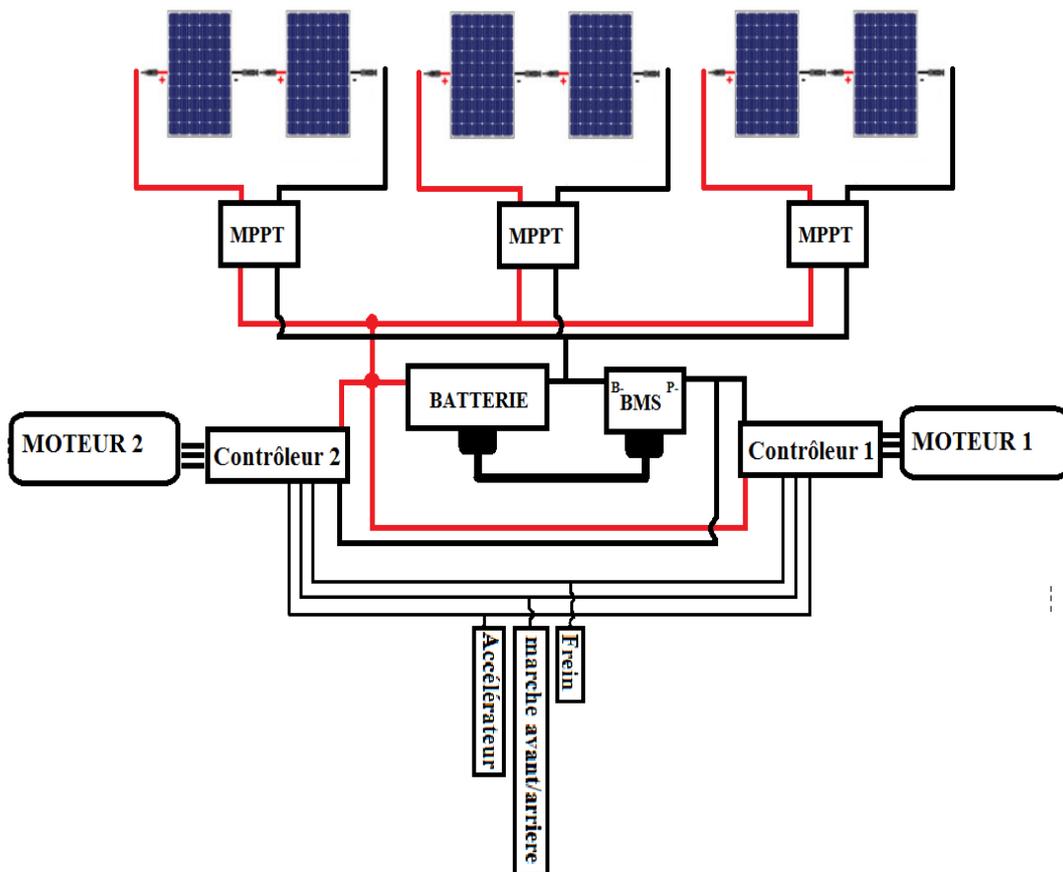


Fig. III.1 : Architecture de la partie énergétique de VES

III.2.1- Les panneaux solaires :

Les panneaux solaires représentent la source d'énergie pour le VES. Le choix a été porté sur la technologie Monocristalline, en raison de son rendement élevé.

Tableau I: les principales caractéristiques du panneau Monocristalline utilisé

MARQUE DE cellule	SunPower
Type de cellule	Monocristalline
Pic de Puissance (Pmax)	100Wp
plage de tolérance de puissance(%)	±5%
Rendement (%)	20
La tension de circuit ouvert (V_{CO})	20,8
Tension de la puissance maximale / $V_{mp}(V)$	17,6
Courant de court-circuit / I_{cc}	6,14
Courant de la puissance maximale / $I_{mp}(A)$	5,68
Voltage maximale du système(V)	1000V DC
Température d'utilisation	-40°C +85°C
Dimension	560*1200* 3

III.2.2- Maximum Power Point Tracking :

Pour maximiser l'énergie produite par les panneaux, nous allons utiliser un régulateur MPPT. Placé en permanence du côté du panneau solaire, il traque le point optimal afin de maximiser la production du panneau. Nous avons choisi la technologie GENASUN.

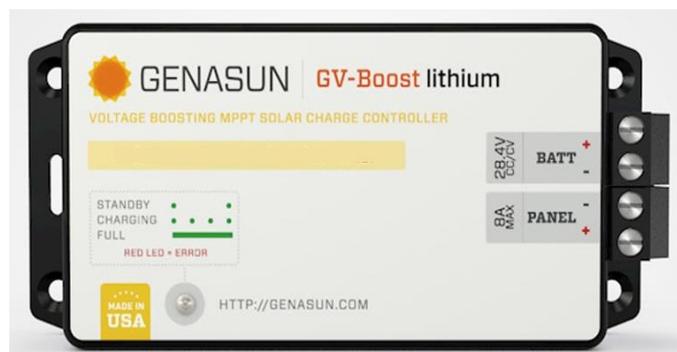


Fig. III.2 : MAXIMUM POINT POWER TRACKING

Ce type de régulateur MPPT mesure et compare en permanence, la tension délivrée par le panneau à celle du dispositif batterie. Il calcule alors le niveau de puissance maximum que :

- le panneau peut délivrer à la batterie
- la batterie est capable de recevoir

Tableau II: les principales Caractéristiques « GVB-8 »

Numéro de modèle	GVB-8-Pb-56.8V-WP
Courant (Entrée) Panneau	8A
Tension minimum de panneau pour la charge:	5V
Tension minimale de la batterie pour l'opération:	9.5V
Tension maximum de circuit ouvert (Voc) a STC :	51V
Tension maximum de circuit ouvert (Voc) :	63V
Tension nominale de la batterie:	48V (16-cell LiFePO4)
Tension d'absorption:	58.6V
Dimensions:	5.5x3.2x2.2", (14x8.1x5.5cm)

III.2.3- La batterie :

Nous avons choisi les batteries solaires de la technologie lithium fer phosphate.

Tableau III: les principales caractéristiques du LiFePO4 38120S

spécification	
Tension nominale	3.2 V
Capacité nominale	10000 mAh
poids (Approximatif)	330g
Dimension (Diamètre * Hauteur)	38±1mm * 132 ± 1mm
Décharge standard	
Max. Courant Continu	3C (30A)
Max. 5 sec. Impulsion	100A (10C)
Tension fin de décharge	2.5 V
Charge standard	
Tension de charge	3.65 V±0.05 V
Courant De Charge	Temps de charge
Temps de charge	Temps de charge
Résistance et taux	
Résistance interne	≤6mΩ
taux d'auto-décharge	≤5% par Mois

Nous allons utiliser 16 cellules LFP. On les connectes en série pour obtenir une batterie 51,2V (3 ,2*16) de voltage nominal et une capacité 10Ah comme il est démontré sur la figure suivante :

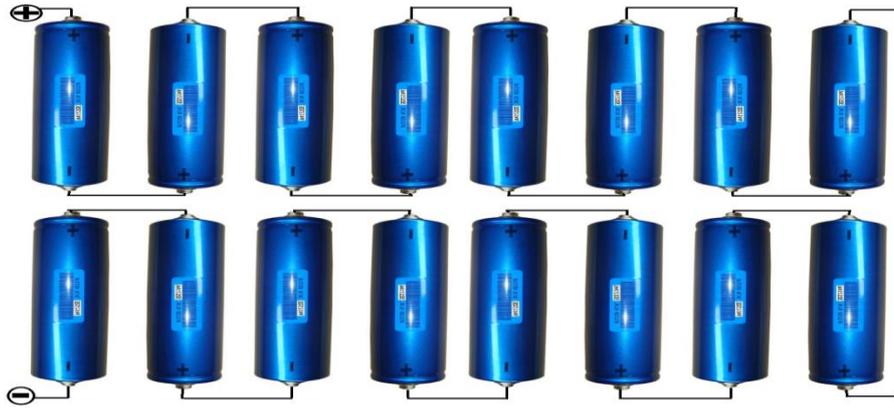


Fig. III.3 : La mise en série de 16 cellules LiFePO4 38120S

Pour assurer le fonctionnement optimal de la batterie, on doit l'associer à un BMS qui maintient la stabilité de la charge dans les cellules, et évite la perte des cellules tout en gardant un seuil de décharge et un seuil de charge.

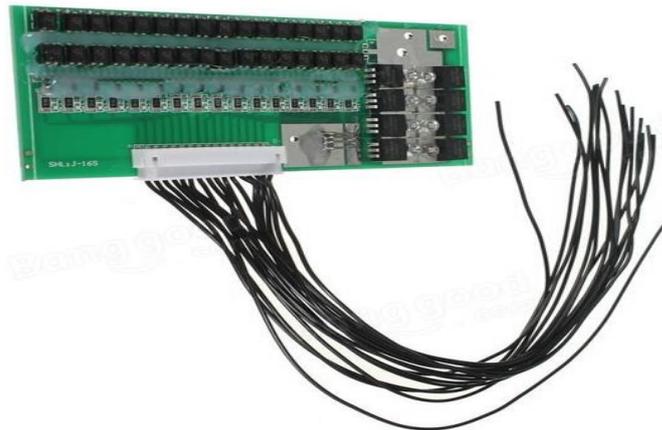


Fig. III.4 : Le BMS utilisé dans la VES

III.2.4- Moteur BRUSHLESS :

Nous avons utilisé deux moteurs BRUSHLES, on a placé sur chaque roue un moteur et on connecte chaqu'un à un contrôleur, ce qui nous permettra de varié la vitesse à partir de son contrôleur. En mode freinage, le moteur sera utilisé en générateur.



Fig. III.5 : Un moteur BRUSHLESS placé sur une roue

III.2.4.1- Les avantages d'un moteur BRUSHLESS :

1- Durée de vie et fiabilité : La longévité (env. 20000h) est équivalente aux moteurs AC, et jusqu'à 4 fois supérieure à un moteur DC avec balais.

2- Encombrement et poids : Plus compact que les moteurs AC et DC, un moteur sans balai est également 2 à 3 fois plus léger qu'un moteur DC traditionnel.

3- Consommation électrique : Le rendement est bien supérieur à celui d'un moteur DC traditionnel à balais (pas de chute de tension au niveau du collecteur et pas de friction).

4- Niveau sonore : Le bruit et les vibrations générés par un moteur sans balai sont inférieurs aux autres types de moteur.

5- Fort couple au démarrage.

6- Indice de protection IP en général plus élevé du fait de l'absence de balais.

III.2.4.2- Les inconvénients d'un moteur BRUSHLESS :

1- Le cout plus élevé

2- Besoin d'un contrôleur

III.2.5- Identification des besoins du VES :

Pour notre prototype de VES, les panneaux représentent la source d'énergie. Ils produisent le courant électrique nécessaire, pour le stocker dans la batterie, ou l'utiliser directement par les moteurs. Notre travail est d'assurer le fonctionnement optimal du prototype, en optimisant la charge et décharge de la batterie.

Pour pouvoir accomplir nos objectifs, nous devons bien préciser nos besoins :

III.2.5.1- Limitation de tension, courant et vitesse :

Nous avons besoin de limiter le courant (lié proportionnellement à la vitesse), à des seuils maximal, en vue d'éviter les forts courants, qui provoquent la démolition de la batterie, ou les cellules, ou le système de gestion de batterie BMS. Nous avons également besoin de limiter la tension au seuil minimal, car les moteurs utilisés ont une tension nominale de 48V. Si la tension chute en dessous 48V le contrôleur coupe l'alimentation des moteurs. La solution est représentée sur le **CYCLE ANALYST**.

A- Le CYCLE ANALYST :

Le CYCLE-ANALYST, est un tableau de bord de surveillance de batterie conçu pour les besoins spécifiques des vélos électriques, scooters et autres petits véhicules électriques. Ce système mesure la consommation d'énergie et la vitesse d'un véhicule et affiche ces informations et statistiques connexes sur l'écran LCD rétro-éclairé. Lorsqu'il est connecté de manière particulière à un contrôleur de moteur, il est également capable d'agir sur le signal d'accélérateur afin de limité la vitesse, le courant, ou la basse tension de batterie, comme il est présenté sur la figure suivante :



Fig. III .6 : CYCLE ANALYST

Aussi le CYCLE-ANALYST contient une sortie des données mesurées. Il utilise la liaison série asynchrone UART (UNIVERSAL ASYNCHRONOUS RECEIVER/TRANSMITTER) qui permet d'envoyer des données à l'aide d'une ligne d'émission (TX) vers la MYRIO.

Objectifs :

- Limiter la tension par un seuil minimal, pour garder le moteur toujours en marche.
- Limiter le courant par un seuil maximal, pour la sécurité de la batterie.
- Limiter la vitesse, pour ne pas gaspiller l'énergie.
- Mesurer et afficher le courant et la tension et la puissance.

III.2.5.2- Choix du capteur de courant :

Pour mesurer les différents courants de la partie production (le courant livré par chaque panneau) et de la partie consommation (le courant consommé par chaque moteur) nous avons utilisé des convertisseurs courant-tension à effet d'hall LEM LTS 15-NP.



Fig. III.7 : LEM LTS 15-NP.

Les avantages d'un capteur à effet d'hall sont :

- la chute de tension introduite dans le montage est très faible
- une grande sensibilité
- la bande passante est relativement large

Tableau IV : Caractéristiques du module LEM LTS 15-NP

Type	LEM
courant nominale principal	15 A
sensibilité	41,6 mV /A
Résistance interne	83,33 Ω
tension d'alimentation	5V
erreur linéaire	<0,1%

III.3- Problématique :

La performance du VES durant la course était liée à deux facteurs essentiels : le comportement du conducteur, et la gestion d'énergie.

Durant la course, notre VES n'a pas pu terminer la course, en raison des problèmes liés à la transmission en Wifi des données.

III.3.1- Le problème de la batterie :

Le problème de la batterie, était dans le BMS, lorsque la tension d'une cellule de la batterie tombe en dessous de 2,5V, le BMS coupe la batterie de l'alimentation, c'est une mesure de sécurité intégré dans le BMS.

III.3.2- La transmission des données :

La transmission des données, était une grande contrainte à cause du module de communication usité. Le WIFI à une portée maximale de 150 m, donc insuffisante pour couvrir le champ de la course d'une longueur de 1,5 Km environ.

III.4- Choix technique :

III.4.1- Choix de méthodes de transmission :

La communication doit être bidirectionnelle. Nous avons besoin d'envoyer les données comme le courant, la tension et l'énergie vers le stand, et puis adresser les messages. On peut la considérer comme unidirectionnelle sur l'aspect commande, c'est-à-dire que le pilote reste toujours un récepteur des messages et des commandes ou ordres depuis le stand. Ce type de connexion doit être assuré par trois principaux éléments :

- Un interface de développement muni d'une interface **UART** ou **SPI**

- Un logiciel de développement
- Un module de transmission

L'interface de développement choisie dans notre prototype est la **NI MYRIO 1900**.

1- NI MYRIO 1900 :

Le myRIO-1900 est un outil pour l'enseignement et la mise en œuvre de plusieurs types de conception avec un même matériel d'E/S reconfigurables (RIO). Doté d'E/S accessibles sur deux côtés par le biais de connecteurs MXP et MSP, il inclut 10 entrées analogiques, 6 sorties analogiques, 40 lignes d'E/S numériques, Wi-Fi, des LED, un bouton poussoir, un accéléromètre embarqué, un FPGA de XILINX et un processeur double cœur ARM Cortex-A9. Le myRIO-1900 est programmable en LABVIEW ou en C. Cette version Wi-Fi permet une intégration rapide et aisée au sein d'applications embarquées distantes. Avec ses instruments embarqués, son logiciel transparent et sa bibliothèque de ressources pédagogiques et de tutoriels, le myRIO-1900 est un outil abordable qui permet aux étudiants et aux enseignants de compléter de vrais projets d'ingénierie en un semestre. [24]

Principales caractéristiques

- Vitesse du processeur 667 MHz
- Mémoire interne 512 MB
- Bande de fréquence WIFI ISM 2.4 GHz
- Résolution 12 bits
- 10 entrées analogiques
- 6 sorties analogiques
- 40 lignes d'E/S numériques



Fig. III.8 : NI MYRIO 1900

Tableau V : la différence entre la NI MYRIO et la NI MYDAQ

Fonctionnalités	NI MYDAQ	NI MYRIO
Processeur intégré	-	✓
Système d'exploitation Linux	-	✓
Programmable en C/C++	-	✓
Connectivité WIFI	-	✓
Communication par USB	✓	✓
Nombre d'entrées/sorties	+	++
Contrôle/commande	-	✓
Robotique	-	✓
Embedded	-	✓
Cout	+	++

La décision d'utiliser le logiciel LABVIEW pour développer une interface était fixée dès le début du projet.

2- logiciel de développement :

2- LABVIEW :

LABVIEW (contraction de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), c'est un environnement de développement graphique fondée par National Instruments, il est destiné aux ingénieurs et aux scientifiques qui doivent créer des applications de test, de mesure et de contrôle souples et extensibles, rapidement et à moindre coût. L'environnement de développement intuitif combine la facilité d'utilisation d'outils de configuration à la souplesse d'un langage de programmation puissant. Le compilateur LABVIEW génère du code optimisé avec des vitesses d'exécution comparables à celles de programmes compilés en C. ça va être notre moyen pour la programmation de la MYRIO, et notre interface de percevoir le comportement de véhicule.

3- Un module de transmission :

3- Le module RF:

Nous avons choisis comme méthode de transmissions de donnée le TRF (transmissions radio fréquence). On a utilisé le module (TRF click MIKROE-1535).



Fig. III.9 : Le module RF choisi (TRF click)

Tableau VI : Caractéristiques du module TRF click MIKROE-1535

Type	RF Sub 1 GHz
Application	Concevoir des réseaux point à point ou étoile longs ou courts. applications nécessitant une très grande couverture RF ou dans des environnements RF sales.
Module embarqué	Telit LE70-868 - 868 MHz module de transmission
Interface	GPIO, UART
Portée	4 KM sans obstacles
Caractéristique principale	Débit de données radio de 4,8 à 57,6 kbps avec une puissance de sortie maximale de 500 mW

Organigramme de communication :

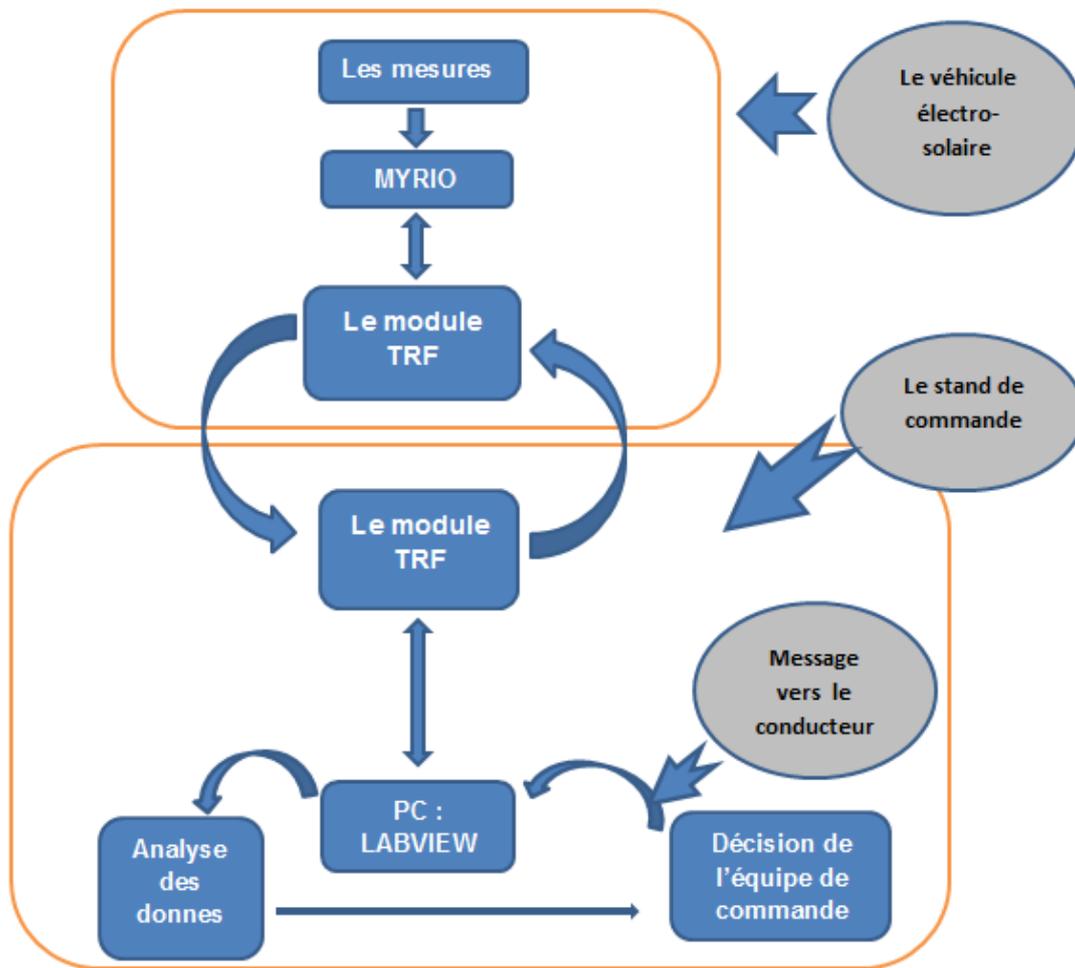


Fig. III.10 : Organigramme de communication

Cet Organigramme nous explique la méthode utilisée pour l'envoi des données : acquisition des mesures dans la MYRIO, puis la transmission par deux modules radio fréquence (l'un est un émetteur et l'autre est un récepteur), vers la MYRIO connecté à un ordinateur au stand. Ces données seront analysées par un programme développé sur LABVIEW. Le stand de commande doit prendre une décision pour guider le conducteur. Un message sera envoyé au conducteur (ou un appel téléphonique).

III.5- Conclusion :

Après avoir analysé les problèmes causés l'année passée pendant la course, on a fixé nos choix techniques et matériels, qui répondent aux besoins d'un VES.

Nous avons changé les capteurs de courant de type LEM LA 25-P aux LEM LTS 15-NP.

Nous avons utilisé le radio fréquence comme module de transmission au lieu du wifi.

Chapitre IV :

Réalisations et résultats

IV.1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les cartes électroniques qu'on a conçues et les solutions utilisées, puis les stratégies d'optimisation, et à la fin nous présenteront les résultats et le développement du programme de supervision.

IV.2- Les cartes électroniques conçues :

IV.2.1- La solution utilisée pour le problème de la batterie :

Comme solution pour le problème de la batterie nous avons conçu une carte électronique qui nous permettra de visualiser le voltage de chaque cellule, dans le programme de supervisons développée.

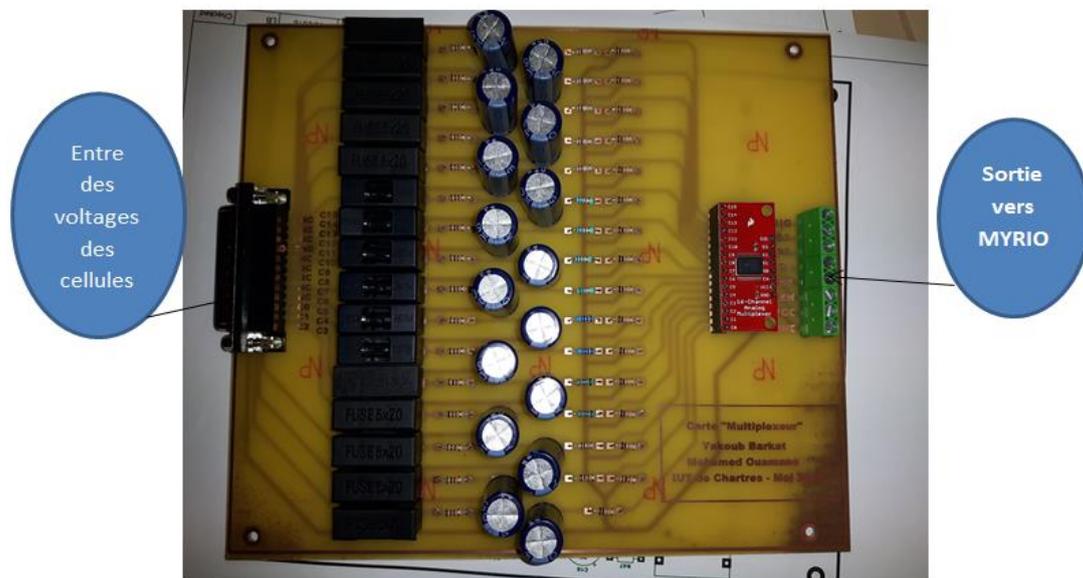


Fig. IV.1: Carte multiplexeur

Cette carte électronique contient :

- Un multiplexeur 16*8
- un diviseur de tension pour chaque cellule
- Des filtres passe-bas du premier ordre
- Des fusibles de protection contre les forts courants

On prélève à chaque fois les voltages entre chaque cellule et le GND commune de la batterie, se voltage doit passer par un fusible de protection, puis par un filtre passe-bas pour éliminer les parasite, après le filtrage le voltage passe par un

diviseur de tension pour l'adapté à la tension entre 0 et 5V, à ce moment-là, la myRIO peut recevoir les voltages de chaque cellule, mais ces voltages ne sont pas les vraies valeurs, c'est pour cela qu'il nous faudra multiplier chaque voltage par un rapport (« ce rapport est calculer par l'étalonnage des cellules »), pour faciliter le calcul des voltages, on a utilisé dans notre programme une relation de récurrence suivante :

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{c1} ; \\ V_1 &= V_{c1} + V_{c2}; \\ V_2 &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c3} \end{aligned} \quad (IV.1)$$

Donc on a :

$$\begin{aligned} V_{c1} &= V_0. \\ V_{c2} &= V_1 - V_0. \\ V_{c3} &= V_2 - V_1 \end{aligned} \quad (IV.2)$$

Cette carte électronique nous permet de visualiser les cellules comme nous démontre la figure suivante :

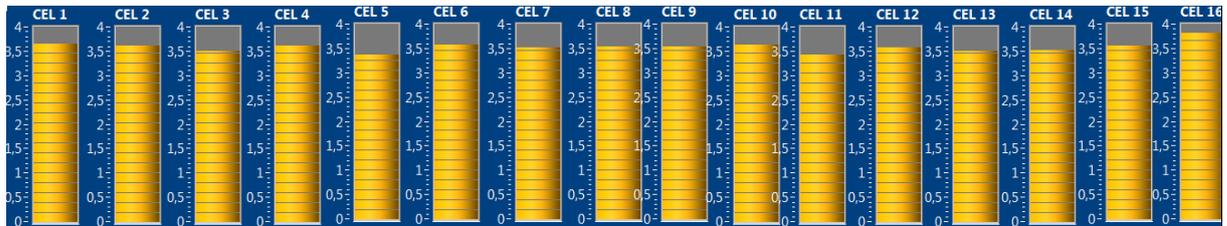


Fig. IV.2: l'affichage des cellules

IV.2.2- Carte des LEM :

On a conçu cette carte électronique pour pouvoir mesurer les courants instantanés (consommés ou produits) de chaque composant, la carte des LEM se compose de 5 capteurs a effet :

- 3 capteurs : 1 pour chaque deux paire de panneaux
- 2 capteurs : 1 pour chaque moteur

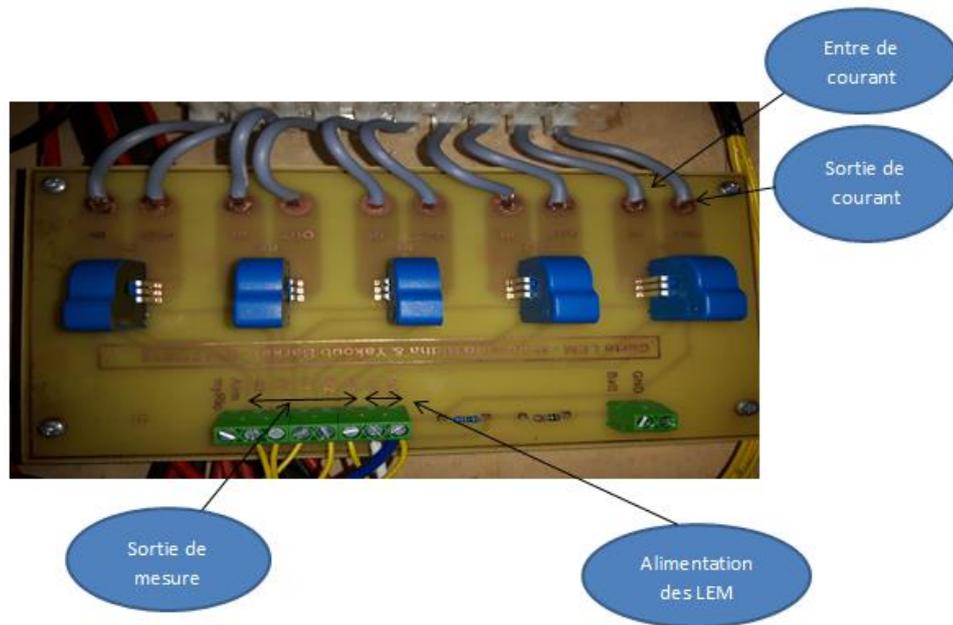


Fig. IV.3: Carte des LEM

IV.3- Les Facteurs de performances d'un VES:

On a effectué des tests sur le VES pour comprendre son comportement, et tester l'efficacité des améliorations apporté sur tous les côtés électriques.

IV.3.1- Tension, vitesse et distance :

La myRIO reçoit les données concernant la vitesse et la tension de batterie et les kilomètres parcouru, par la sortie UART connecté avec le CYCLE ANALYST.

IV.3.2- Courant :

Les courants produits par les trois panneaux, et les courants consommés par les deux moteurs vont être mesurés par les capteurs à effet d'hall (carte des LEM), puis les données seront envoyées vers la myRIO.

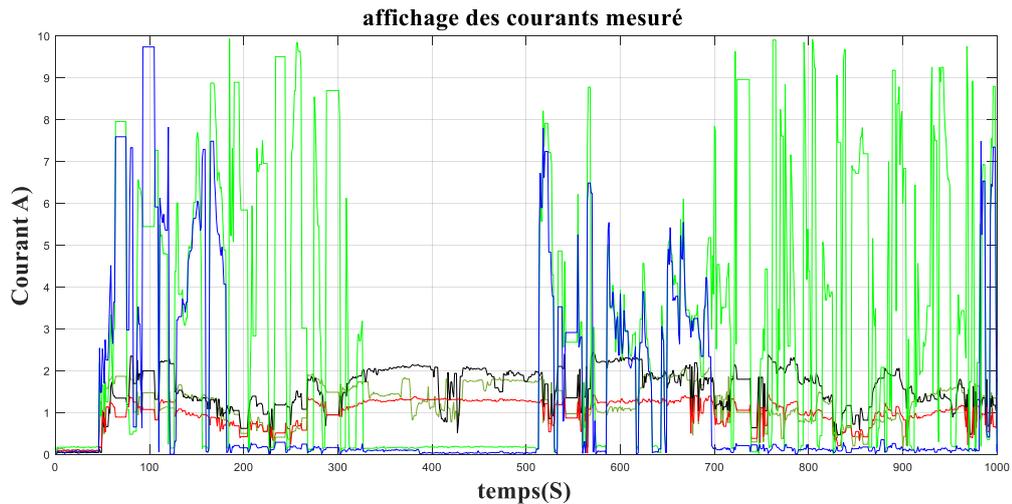


Fig. IV.4: Les courants mesuré par la carte des LEM

A partir de ces valeurs mesurées, nous allons calculer les facteurs de performances du VES.

IV.3.3- La puissance produite par les panneaux solaires :

Nous allons calculer la puissance produite par les panneaux, à partir des grandeurs instantanées (tension, courant, vitesse, distance) mesurées et reçues dans myRIO, on utilise la relation de la puissance suivante :

$$P_p = U_{bat} * I_p \quad (IV.3)$$

P_p : la puissance produite par les trois panneaux

U_{bat} : la tension de la batterie

I_p : le courant produit par les trois panneaux ($I_1 + I_2 + I_3$)

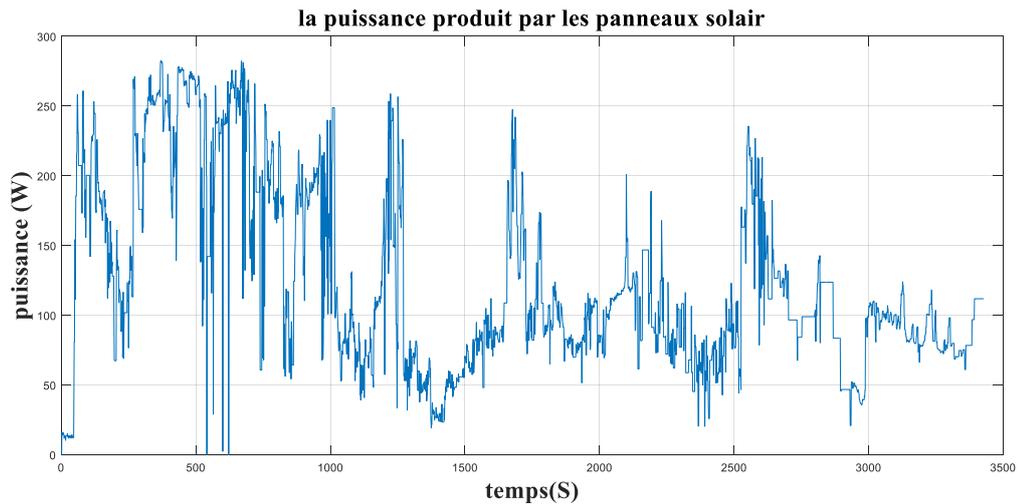


Fig. IV.5: la puissance produite par les panneaux solaire

Cette figure nous démontre la variation de la puissance produite par les panneaux en fonction de temps, on voit que la production n'est pas stable et qui varie brusquement à cause du mouvement du VES, ce qui cause une production d'une puissance instantanée instables.

IV.3.4- L'énergie produite par les panneaux solaires :

On peut calculer l'énergie qui va être produite par les panneaux solaires par une méthode théorique :

$$E_p = S * r * H * Cp \quad (IV.4)$$

Ou :

E_p : énergie produite en Wh.

S : 3 m² : surface du champ photovoltaïque.

r : rendement du module (20 %).

H : ensoleillement/rayonnement sur la surface inclinée en kWh/m² (108 kWh/m² sur le site de Chartres en mois de Juin).

C_p : coefficient de perte (varie entre 0.9 et ... très bas, soit un minimum de 10 %, la valeur fréquente étant entre 0.75 et 0.8).

Enfin : **E_p** = 3*0.2*108*0.8 = 51.84 KWh/mois

Mais ce calcule ne pas exacte, à cause du la variation de l'éclairement, et le coefficient de perte.

Pour cela on utilise la deuxième méthode, on calcule l'énergie produite en multipliant la puissance instantanée par le temps écoulé :

$$E_p = P_p * t \quad (IV.5)$$

P_p : la puissance produit

t : temps

Enfin l'énergie est représentée en Wh.

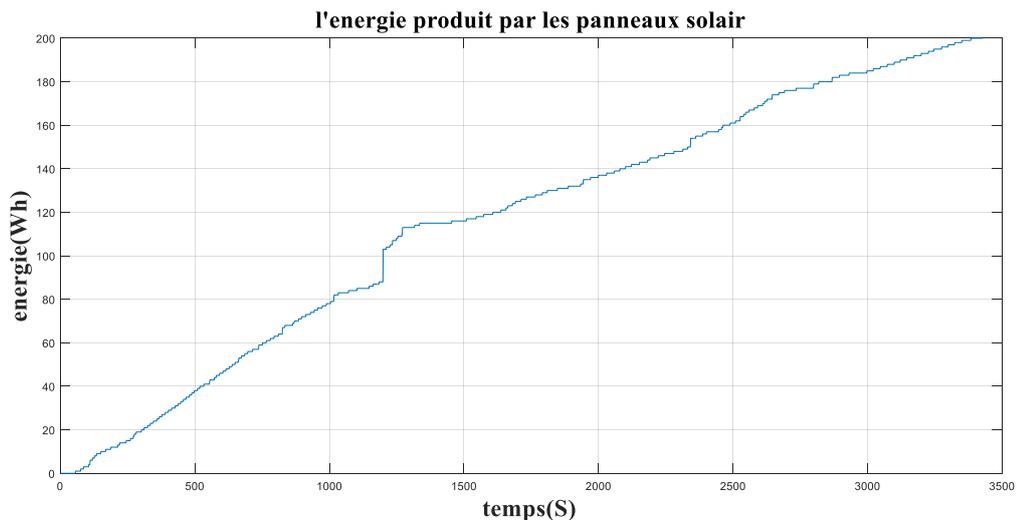


Fig. IV.6: l'énergie produite par les panneaux solaire

IV.3.5- Consommation du véhicule électrique :

Pour mesuré l'énergie consommée par le VES, nous avons deux méthodes :

La première, c'est de lire les données de CYCLE ANALYST à partir de NI myRIO, comme la vitesse, la puissance et l'autonomie de batterie ...etc.

Et la deuxième, c'est d'utilisé la méthode de capteur de courant, ainsi que le calcul de la puissance et l'énergie consommé par chaque moteur.

L'énergie consommée par les cartes électroniques utilisées, la myRIO et le CYCLE ANALYST est inclus dans les deux méthodes.

1-la puissance consommée par le VES :

$$P_c = P_{CM} + P_{CCE} \quad (IV.6)$$

$$P_{CM} = I_{CM} * U_{bat} \quad (IV.7)$$

P_c : puissance consommée

P_{CM} : puissance consommée par les moteurs

I_{CM} : courant consommé par les moteurs

P_{CCE} : puissance consommée par les cartes électroniques

R_q : P_{CCE} c'est une puissance constante 9,1Watt

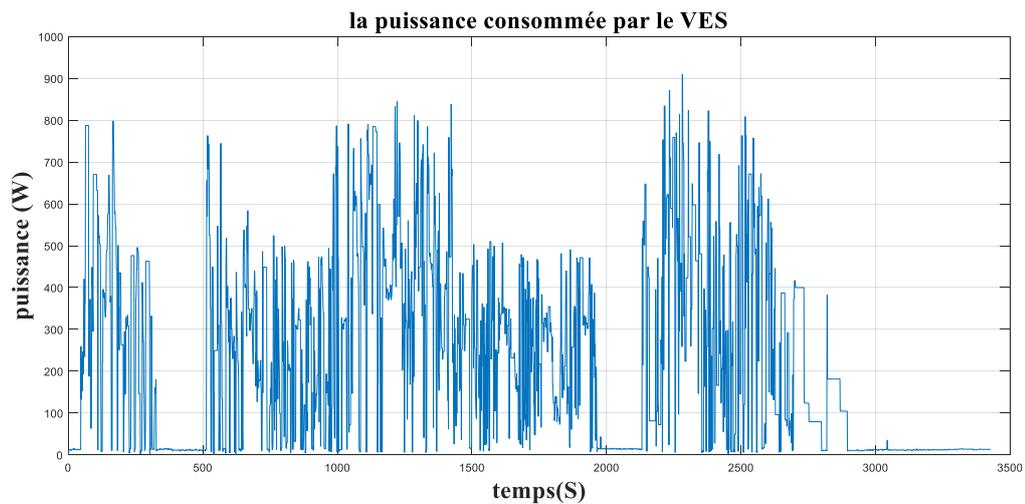


Fig. IV.7 : La puissance consommée par le VES

En comparant la puissance instantanée consommée, avec la puissance produite instantanée, on remarque que il y'a une grande différence entre ces deux facteurs, car la consommation augmente jusqu'a 900 watt par contre la puissance produite ne dépasse pas le 300 watt, et on remarque aussi que la puissance consommée est presque nulle au moment où le VES s'arrête.

2- L'énergie consommée par le VES :

$$E_c = P_c * t \quad (IV.8)$$

E_c : l'énergie consommée par le VES

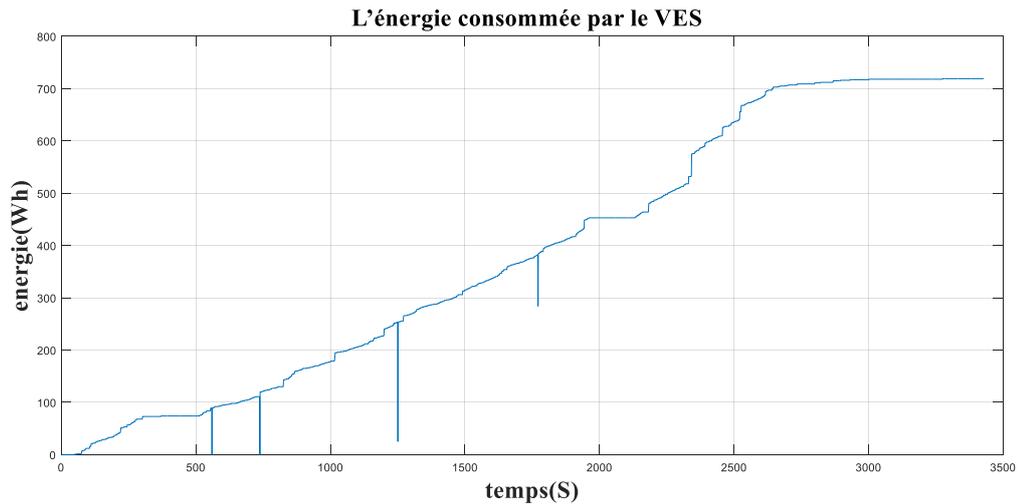


Fig. IV.8 : L'énergie consommée par le VES

En comparant l'énergie consommée avec l'énergie produite, à la fin du parcours, on remarque que l'énergie consommée atteint 700 Wh, par contre sur la figure de l'énergie produite elle ne dépasse pas 210 Wh, c'est ce qui nous oblige à penser à une stratégie d'optimisation et de gestion d'énergie.

IV.3.6- La Récupération d'énergie :

Le calcul de l'énergie récupérée par le freinage va être incluse dans la relation de l'énergie consommée, parce que les capteurs à effet d'hall fonctionne dans les deux sens du courant.

Si le sens est positif, le résultat va être positif, l'énergie calculée c'est l'énergie consommée.

Si le sens est négatif, le résultat va être négatif, l'énergie calculée c'est l'énergie récupérée par les moteurs en fonctionnement génératrices, on peut observer l'énergie récupérée sur la figure (IV.8), sous formes de piques.

IV.3.7- L'énergie de la batterie instantanée :

L'énergie de la batterie instantanée représente la quantité d'énergie stockée dans la batterie, que l'on calcule par la relation suivante :

$$E = E_{INT} + E_P - E_C \quad (IV.9)$$

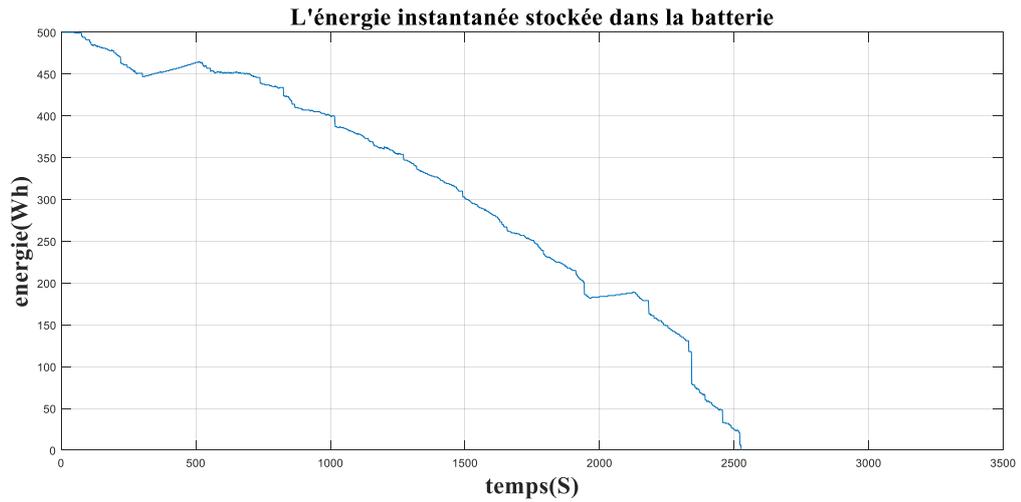


Fig. IV.9 : L'énergie instantanée stockée dans la batterie

Cette figure représente, l'énergie instantanée stockée dans la batterie et la décharge de la batterie, on utilisant deux moteurs pendant tout le parcours.

L'état de charge de la batterie :

$$SOC(\%) = \frac{E * 100}{E_0} \quad (IV.10)$$

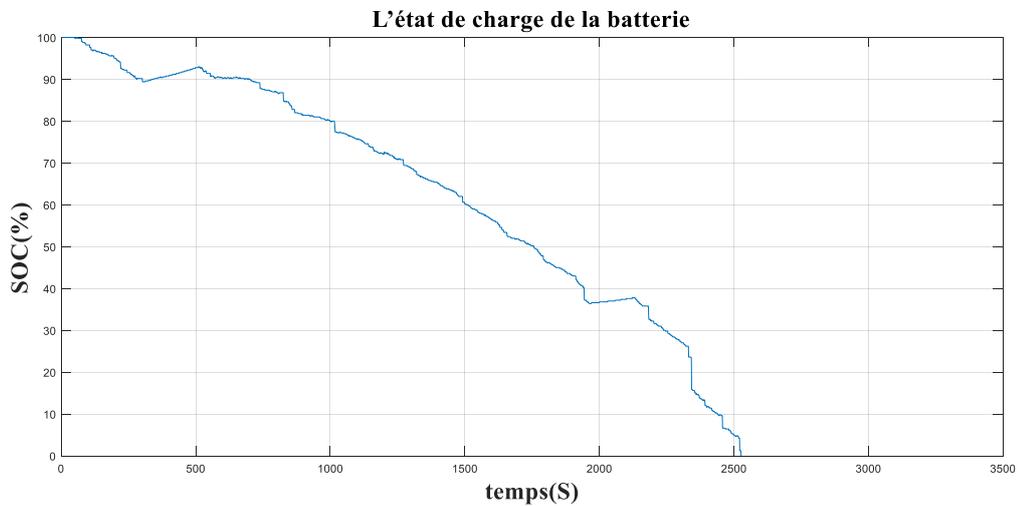


Fig. IV.10 : L'état de charge de la batterie

E : L'énergie instantanée stockée dans la batterie

E_{INT} : l'énergie initiale stockée dans la batterie

E_c : l'énergie consommée par le VES

E₀ : l'énergie maximale que la batterie put stockée (E₀=500Wh)

SOC : l'état de charge de la batterie

IV.3.9- Consommation Wh/Km :

Ce facteur nous permet de surveiller le moyen d'énergie consommée par le VES à chaque kilomètre, sa relation est comme suit :

$$N = \frac{E_c}{D} \quad (IV.11)$$

E_c : l'énergie consommée par le VES

D : la distance parcourue par le VES

N : consommation Wh/Km

IV.3.10- L'autonomie :

L'autonomie d'un VES est très variable, Elle dépend de la capacité de la batterie mais aussi du style de conduite et des conditions extérieures. Ce facteur nous indique les kilomètres restant, on a estimé l'autonomie par la relation suivante :

$$A = \frac{E}{N} \quad (IV.12)$$

A : L'autonomie Km

E : L'énergie instantanée stockée dans la batterie

N : consommation Wh/Km

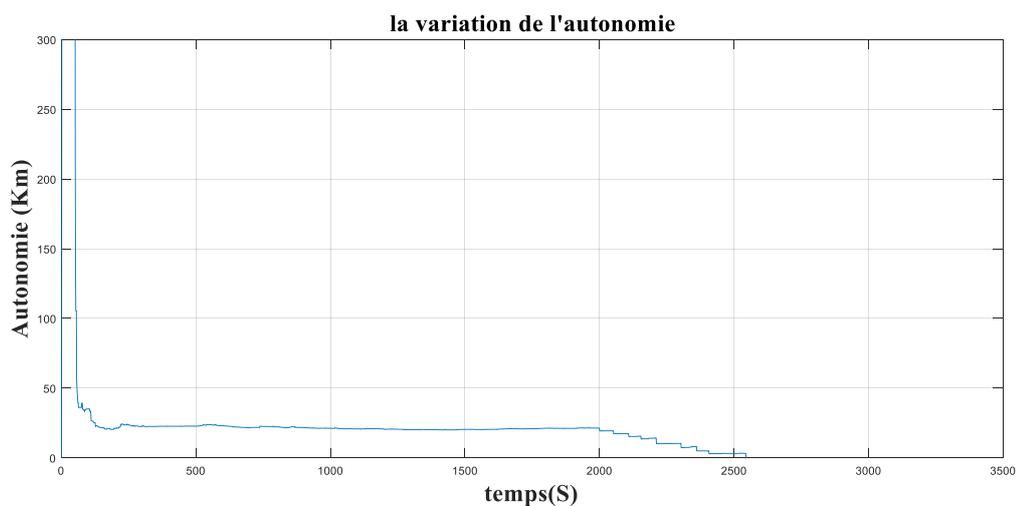


Fig. IV.11 : L'autonomie de VES

A partir de ces résultats, on a constaté qu'une stratégie d'optimisation est obligatoire.

IV.3.11- Temps restant :

Ce facteur est une estimation du temps restant pour que la batterie soit déchargée totalement, on peut calculer le temps restant par la relation suivante :

$$t_r = \frac{A}{V_t} \quad (IV.13)$$

A : L'autonomie Km

V_t : vitesse moyenne

t_r : temps restant pour la fin de décharge de la batterie

IV.4- La stratégie de l'optimisation et de la gestion d'énergie du VES :

On a créé une stratégie pour la gestion d'énergie du VES.

Pour améliorer les performances du VES à partir des données reçues dans le micro-ordinateur (ces données vont être traitées et analysées par nous-même), on va commander le pilote à partir de cette stratégie

La stratégie de gestion d'énergie se base sur plusieurs facteurs comme :

Les facteurs de performances

Les règles de la course

Les composants du VES et leurs caractéristiques

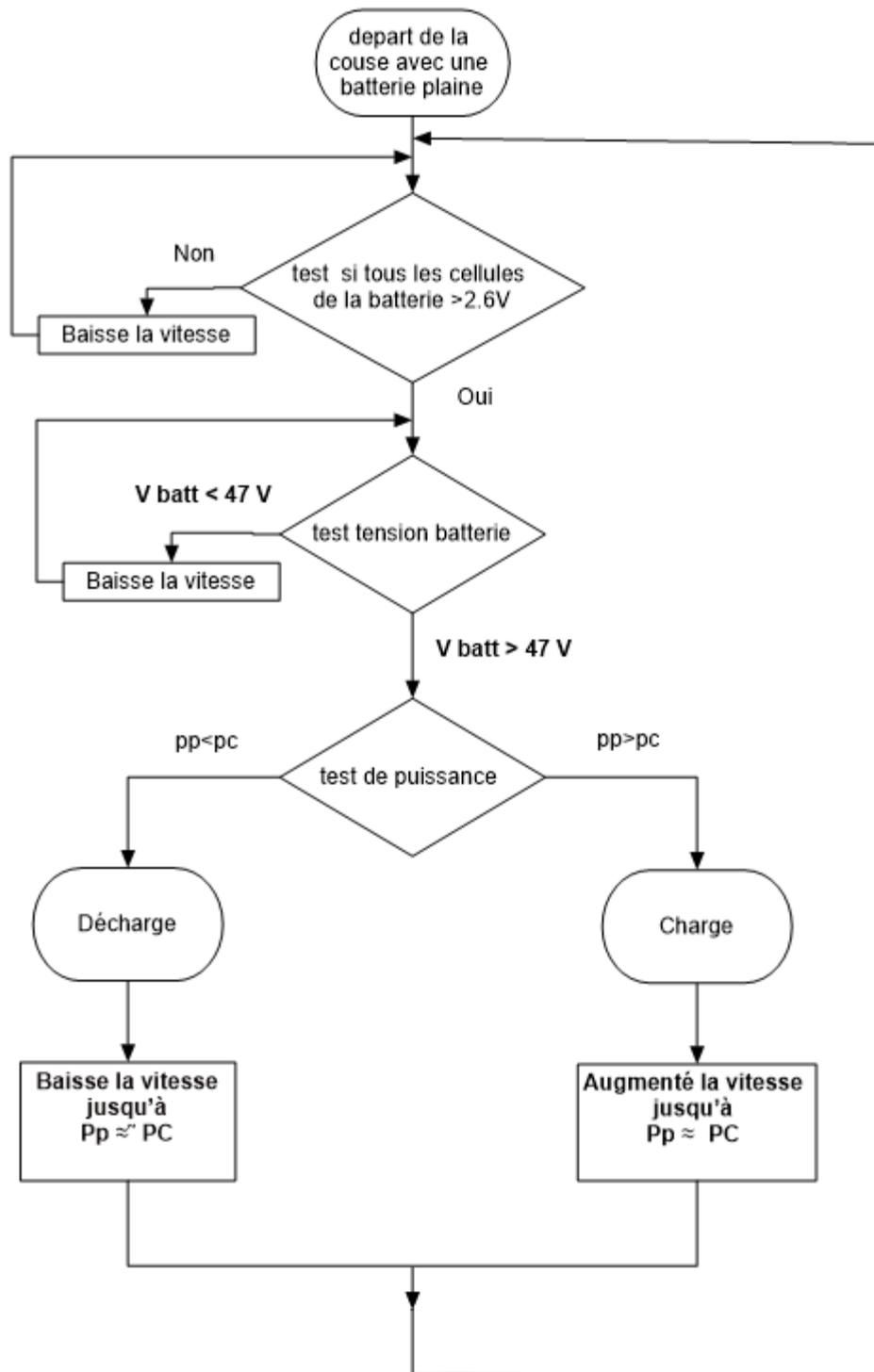


Fig. IV.12 : La stratégie de la gestion pour la première partie de la course

La première partie de notre stratégie, est utilisée pour commander le conducteur à la première heure de la course, cette partie se base sur la consommation d'énergie produite sans l'utilisation de l'énergie stockée sur la batterie.

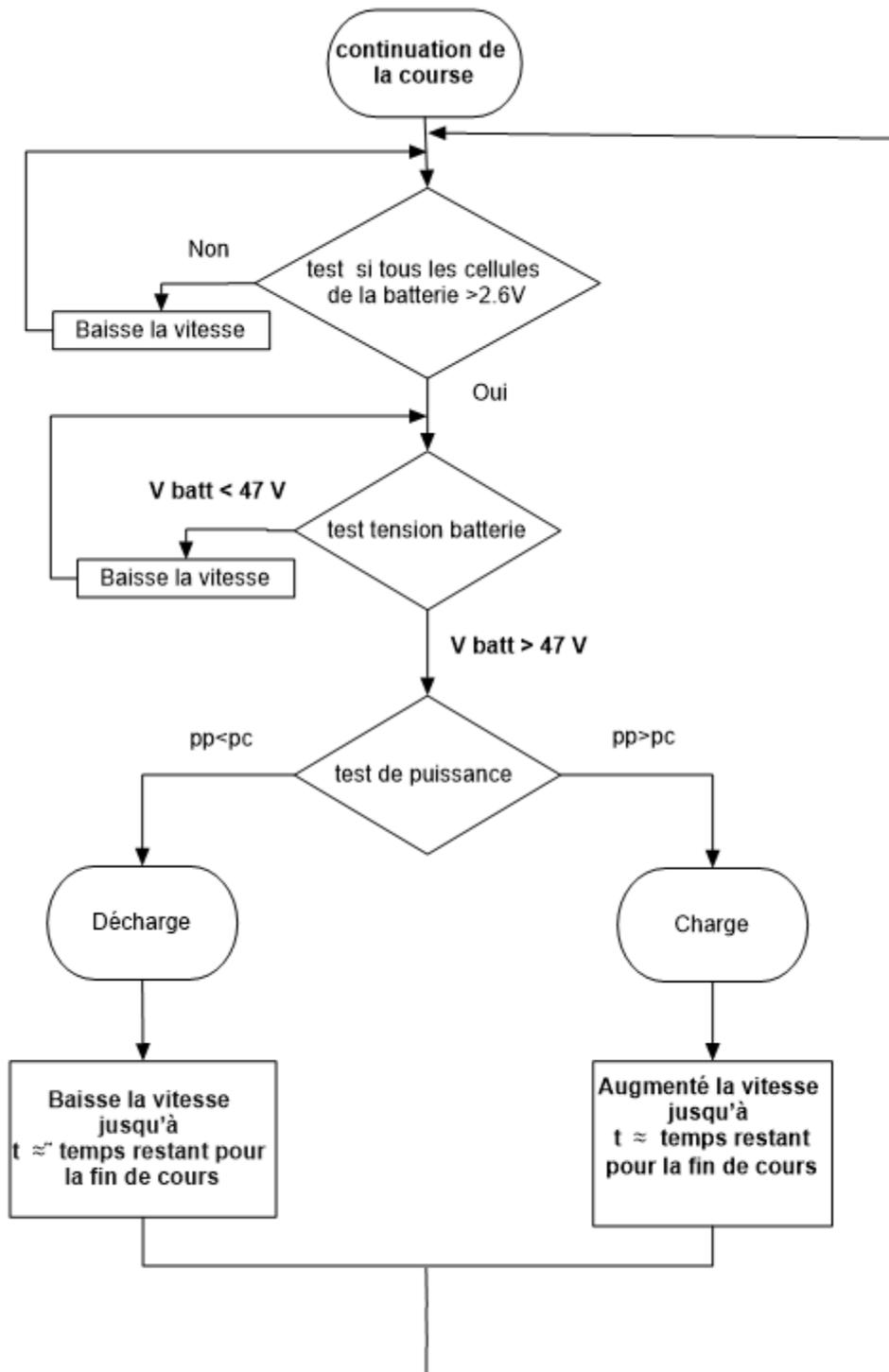


Fig. IV.13 : La stratégie de la gestion pour la deuxième partie de course

La deuxième partie de notre stratégie, est utilisé pour commander le conducteur à la deuxième heure de la course, cette partie se base sur la

consommation totale de l'énergie produite et stockée dans la batterie, à condition que la batterie se vide à la fin de la course.

Après avoir utilisé la stratégie d'optimisation, nous obtenant les résultats suivants :

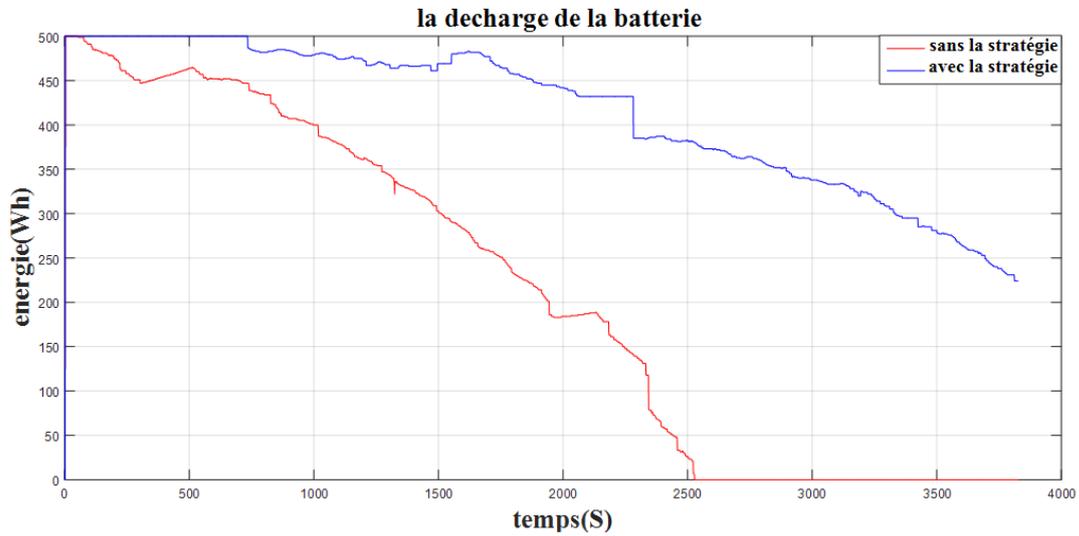


Fig. IV.14 : La décharge de la batterie avec et sans l'utilisation de la stratégie d'optimisation

Avec cette stratégie, la durée de décharge est plus grande que la durée de décharge sans stratégie, cette stratégie nous a permis de faire la gestion d'énergie la plus parfaite pour cette course.

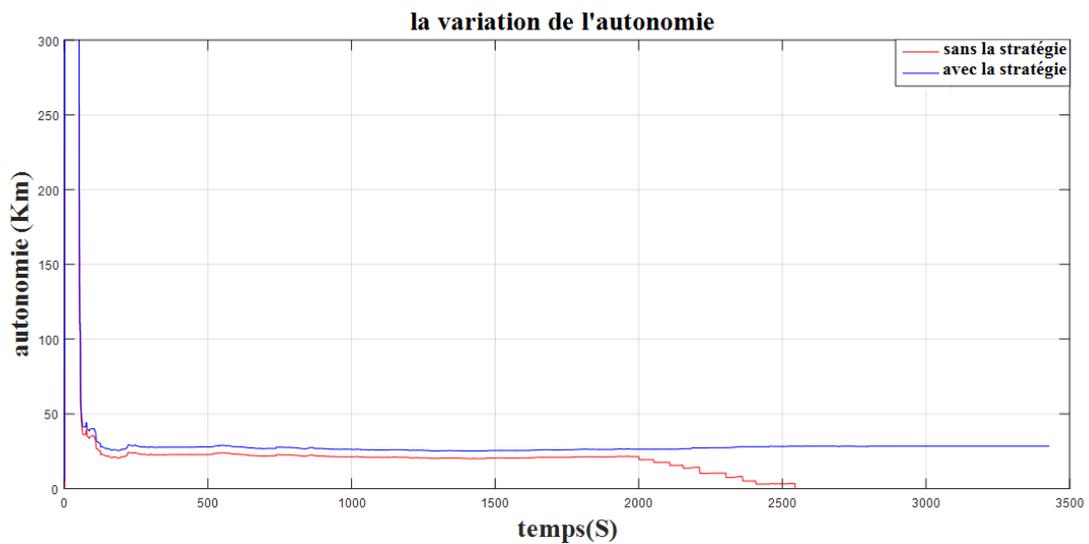


Fig. IV.15 : La variation de l'autonomie avec et sans l'utilisation de la stratégie d'optimisation

À partir de ces résultats, on remarque que l'autonomie du VES, nous permet de parcourir plus de distance que l'utilisation du VES sans la stratégie d'optimisation, les résultats de cette stratégie sont satisfaisante, car il assure l'arrivée du VES à la fin de course.

IV.5- le programme de supervision :

Pour pouvoir supervisé et commandé le conducteur, le stand de commande doit avoir toutes les informations concernant le VES, pour cela on a développé une interface sous logiciel LABVIEW, cette interface contient des onglets, et ces onglets sont représentés sur les figures suivantes :



Fig. IV.16 : Le tableau de bord du VES

Ce tableau de bord comporte :

- La vitesse instantanée
- La tension de batterie
- Le temps de démarrage du programme
- L'autonomie du VES
- L'énergie instantanée
- Une alarme si l'état de batterie est bonne ou non
- Un indicateur de la batterie en charge ou décharge

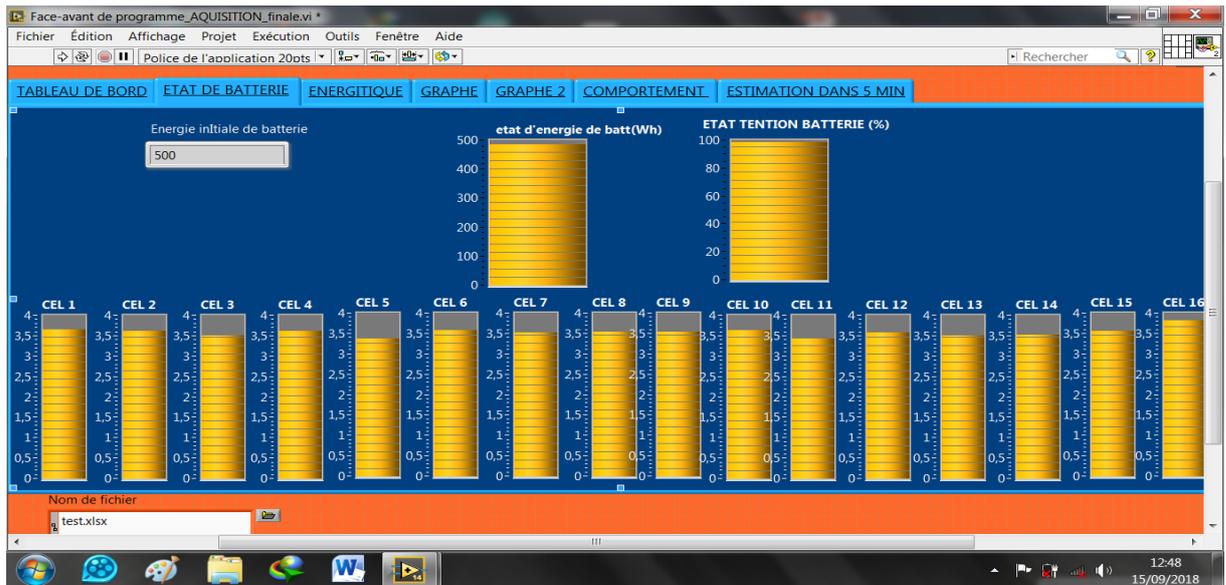


Fig. IV.17 : Etat de batterie instantanée

Cet onglet affiche la tension de chaque cellule, à partir de ces tensions on peut éviter le problème de BMS et il nous indique aussi la quantité d'énergie instantanée stockée dans la batterie, et l'état de tension de la batterie.

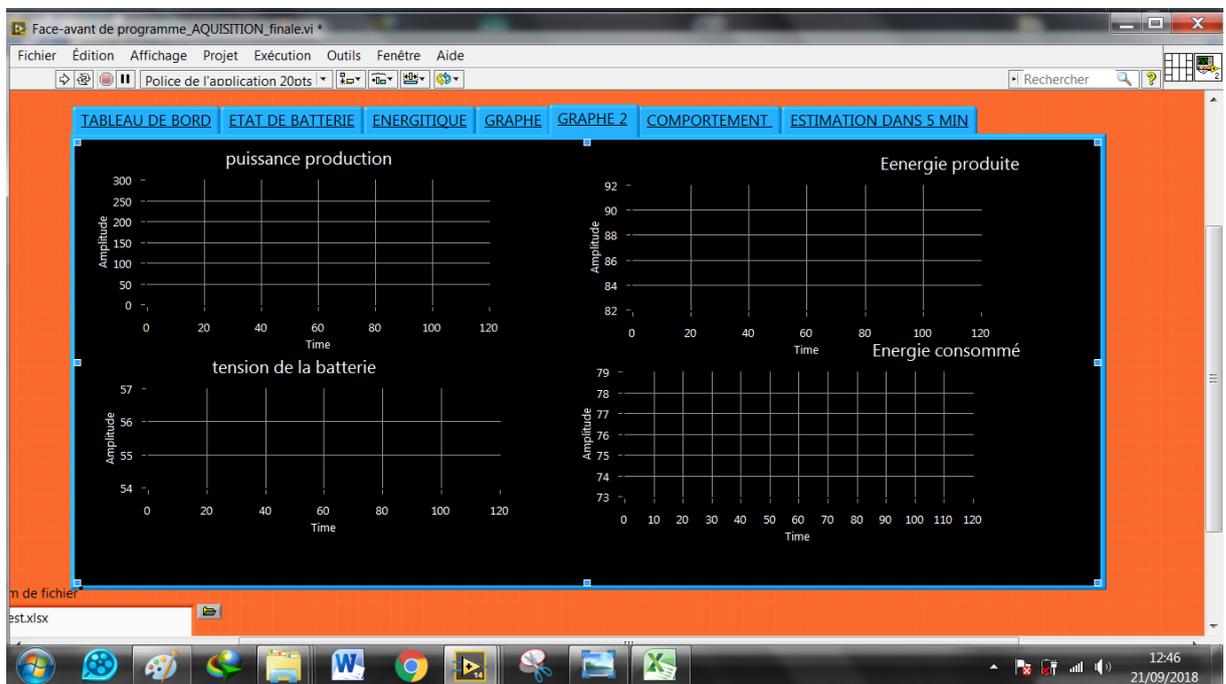


Fig. IV.18 : L'onglet des graphes

Cet onglet affiche les graphes des facteurs des performances suivantes :

- Puissance produite
- L'énergie produite
- La tension de la batterie
- La puissance consommée
- L'énergie consommée

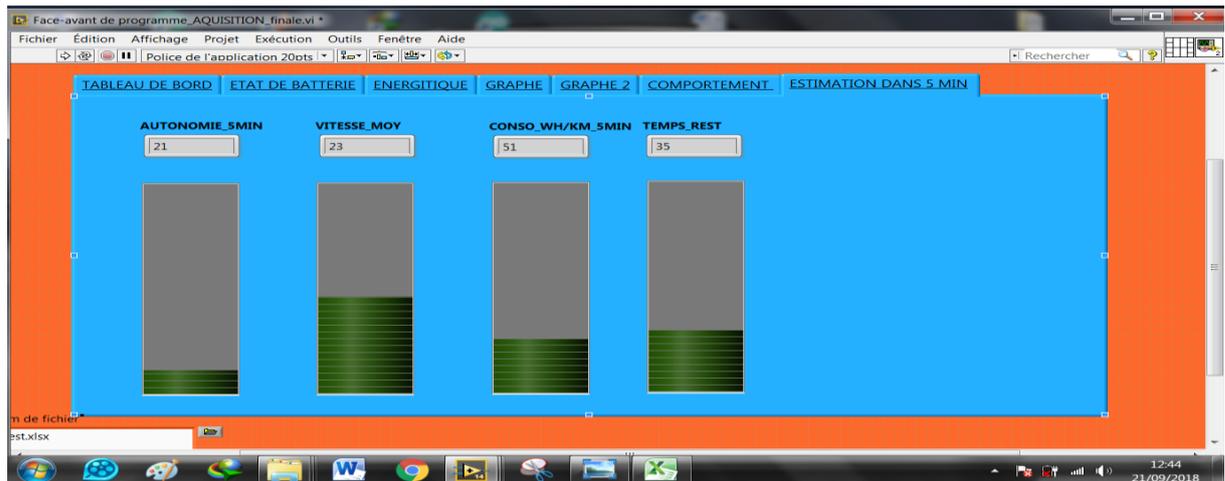


Fig. IV.19 : Estimation du comportement du VES sur la course

Cet onglet affiche l'estimation des principaux facteurs qui indique le comportement du VES pendant la durée de 5min, ces facteurs sont :

- L'autonomie
- La vitesse
- Consommation d'énergie
- Le temps restant pour la décharge de la batterie



Fig. IV.20 : Estimation du comportement du VES en 5 minutes

Cet onglet affiche la consommation et l'autonomie du VES depuis le départ de la course jusque la fin de course.

IV.6- Conclusion :

Nous avons conçu une chaîne instrumentale dans le VES, qui sert à améliorer le rendement du VES.

A partir des courants mesurés et la tension de chaque cellule, on a calculé les facteurs de performances du VES. Ces derniers, nous a aidés à concevoir une stratégie d'optimisation, qui a apporté une grande amélioration sur le VES.

CONCLUSION

Conclusion générale :

L'autonomie du véhicule électro solaire dépend de la capacité de la batterie et la production des panneaux solaire. Elle peut varier en fonction de la conduite et des conditions de circulation.

L'amélioration que nous avons apportée au prototype participant à SOLAR CUP a changé rationnellement ses performances.

Comparé aux véhicules de l'année dernière, elle est actuellement plus stable, plus rapide et plus autonome.

La modification de capteur de courant de type LEM LA 25-P a LEM LTS 15-NP nous a apporté plus de précisions à nos mesures, ce qui nous permet de faire des estimations exacte.

La modification de transmissions de type WIFI ver la radio fréquence, a apporté une couverture presque totale sur le champ de course, ce qui nous a permet de savoir l'état du VES pendant toute la course.

L'intégration de la stratégie de l'optimisation et de la gestion d'énergie du VES, a apporté des résultats satisfaisants. Elle nous a permet de continue la couse sans problèmes électrique ou énergétique, par contre on a trouvé quelque problèmes mécaniques.

Le développement du programme de supervision a facilité l'application de la stratégie de l'optimisation et de la gestion d'énergie du VES, car ce programme nous a visualisé le comportement énergétique et électrique du véhicule électro solaire.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

- [1] *Marie-Liesse DOUBLET, "Batteries Li-ion : Conception théorique," Tech. L'ingénieur. Sci. Fondam., vol.AFP4, no. AF6612, 2009.15,p*
- [2] *David .Linden, Thomas B. Reddy , "Handbook of Batteries". 3^{ème} Edition, McGraw-Hill, 1200 p*
- [3] *Battery University, "Battery Building Blocks," 2017. [En ligne]. Disponible: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_104b_building_blocks_of_a_battery.*
- [7] *Stefan Winternheimer, "Visite du laboratoire en électronique de puissance de HTW Saar du 14/06/2017," 2017.*
- [8] *magasin ADNEWS "DOSSIER SPÉCIAL BATTERIES" .N°26. 2008*
- [10] *DEKKICHE, Abdelillah. " MODELE DE BATTERIE GÉNERIQUE ET ESTIMATION DE L'ETAT DE CHARGE". GÉNIE DE LA PRODUCTION AUTOMATISÉE. ECOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC.2008.84,p*
- [12] *Fabrice, DELFOSSE. "Détermination de l'état de charge des batteries d'un véhicule électrique". GÉNIE électricien et mécanicien (électricité).Université de Liège Faculté des Sciences Appliquées. 1998.111,p*
- [13] *Aurélien, LIÈVRE. "Développement d'un système de gestion de batterie lithium-ion à destination de véhicules "mild hybrid" Détermination des indicateurs d'état (SoC, SoH et SoF)". GÉNIE électricien et mécanicien (électricité). L'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1 ÉCOLE DOCTORALE EEA. 2015.160,p*
- [14] *Thanh Hai, PHUNG. "Conception d'un équilibreur de charge de batterie à base du réseau de micro-convertisseurs". Génie électrique. UNIVERSITÉ DE GRENOBLE. 2006. P.211*
- [15] *An, LI. "Analyse expérimentale et modélisation d'éléments de batterie et de leurs assemblages – Application aux véhicules électriques et hybrides". ECOLE DOCTORALE ELECTRONIQUE, ELECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE DE LYON. L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1. 2013.233, p*
- [16] *"Cellules solaires" .5^{ème} Edition: ANNE LABOURET & PASCAL CUMUNEL & J EAN-PAUL BRAUN & BENJAMIN FARAGGI .2010.136, p.*

- [17] *Jean-François. Reynaud. "Recherches d'optimums d'énergie pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques". Génie Electrique. Université Toulouse III – Paul Sabatier. 2011.227, p.*
- [18] *Francisco. M, González. Longatt . "Model of Photovoltaic Module in Matlab™ ". 2DO CONGRESO IBEROAMERICANO DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN (II CIBELEC 2005). 2005. 2. 5, p.*
- [19] *Stéphane. Petibon, "Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques". Génie Electrique. UNIVERSITÉ DE TOULOUSE.2009.145.p*
- [20] *Anne Labouret & Michel Villos, "ENERGIE SOLAIRE Photovoltaïque". 2^{ème} Edition, paris : Dunod,2005 ,303,p*
- [21] *BEN LAGHA. Mohamed amine, " Estimation de la charge électrique de la batterie d'un véhicule électrique ".Instrumentation et Maintenance Industrielle. . Université de Carthage, Carthage, 2016, 65, p.*

Webographie :

- [4] <http://www.life-batteries.fr/content/14-batteries-lifepo4>
- [5] *ENERZINE*, “De nombreux atouts pour la batterie LiFePo4”, 2014, [En ligne]. Disponible: <http://www.enerzine.com/de-nombreux-atouts-pour-la-batterie-lifepo4/4285-2008-09>
- [6] *BATTERYSUPPLIES*, “LiFePO4 BATTERY CELLS “,2018. [En ligne]. Disponible: <http://www.batterysupplies.be/fr/produits/batteries-lithium-ion>
- [9] *Zied Jelassi*, “Résistance Interne,” 2009. [En ligne]. Disponible: http://www.memoireonline.com/09/10/3931/m_Etude-et-evaluation-des-performances-dessystemes-de-gestion-de-batteries-lithium-ion3
- [11] *Battery University*, «Getting to Know the Battery,” 2017. [En ligne].Disponible: http://batteryuniversity.com/learn/article/getting_to_know_the_battery.
- [22] *wikipedia*, “ Moteur BRUSHLESS ”, 2009. [En ligne]. Disponible: https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_sans_balais
- [23] *jivaro-models*, “ controleurs brushless”, 2012. [En ligne]. Disponible: http://www.jivaro-models.org/controleurs_brushless/page_controleurs_brushless.htm#encadre
- [24] <http://www.ni.com/fr-fr/support/model.myrio-1900.html>

ANNEXE

Annexe :

Carte LEM

Conception :

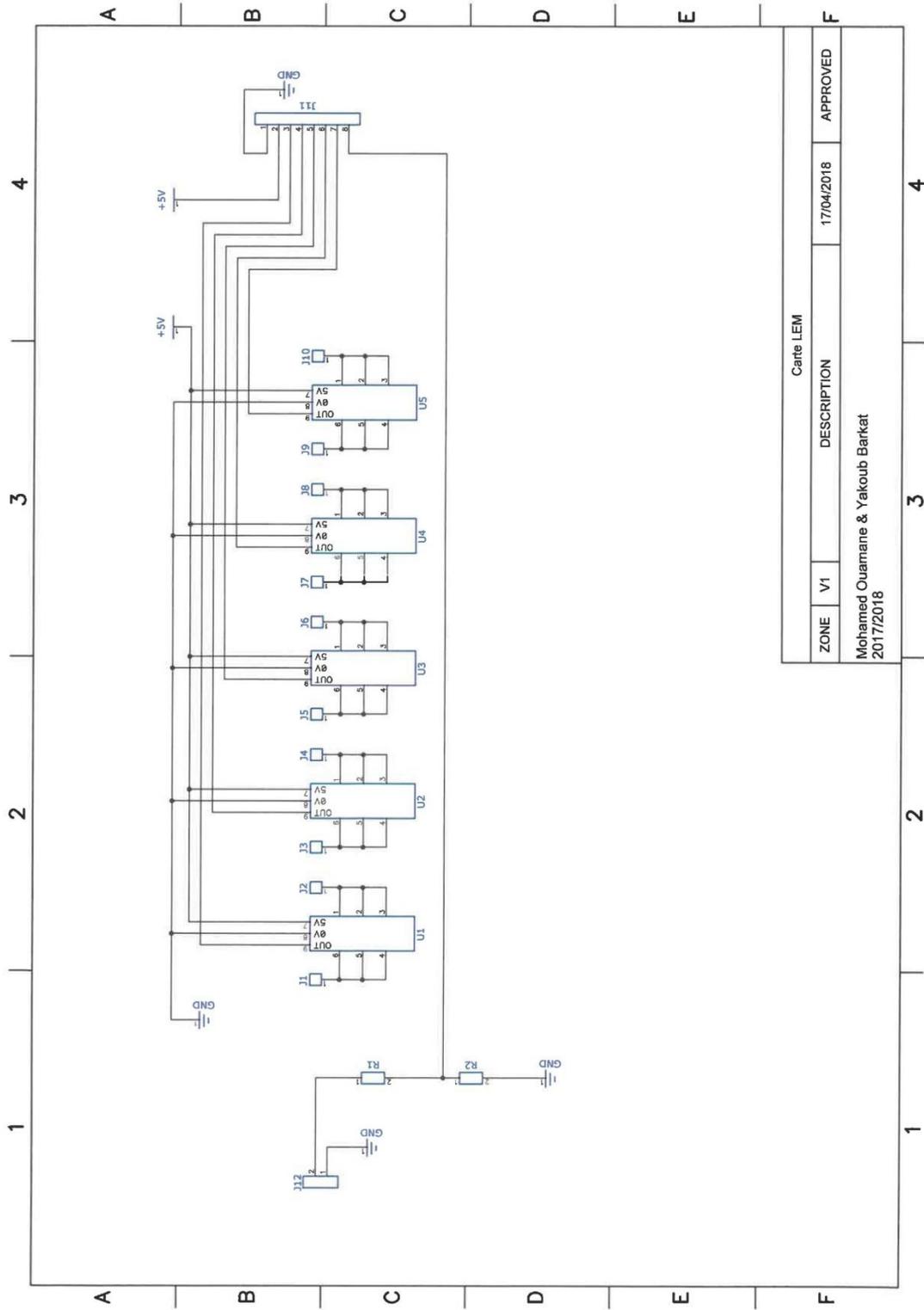
Mohamed Ouamane & Yakoub Barkat

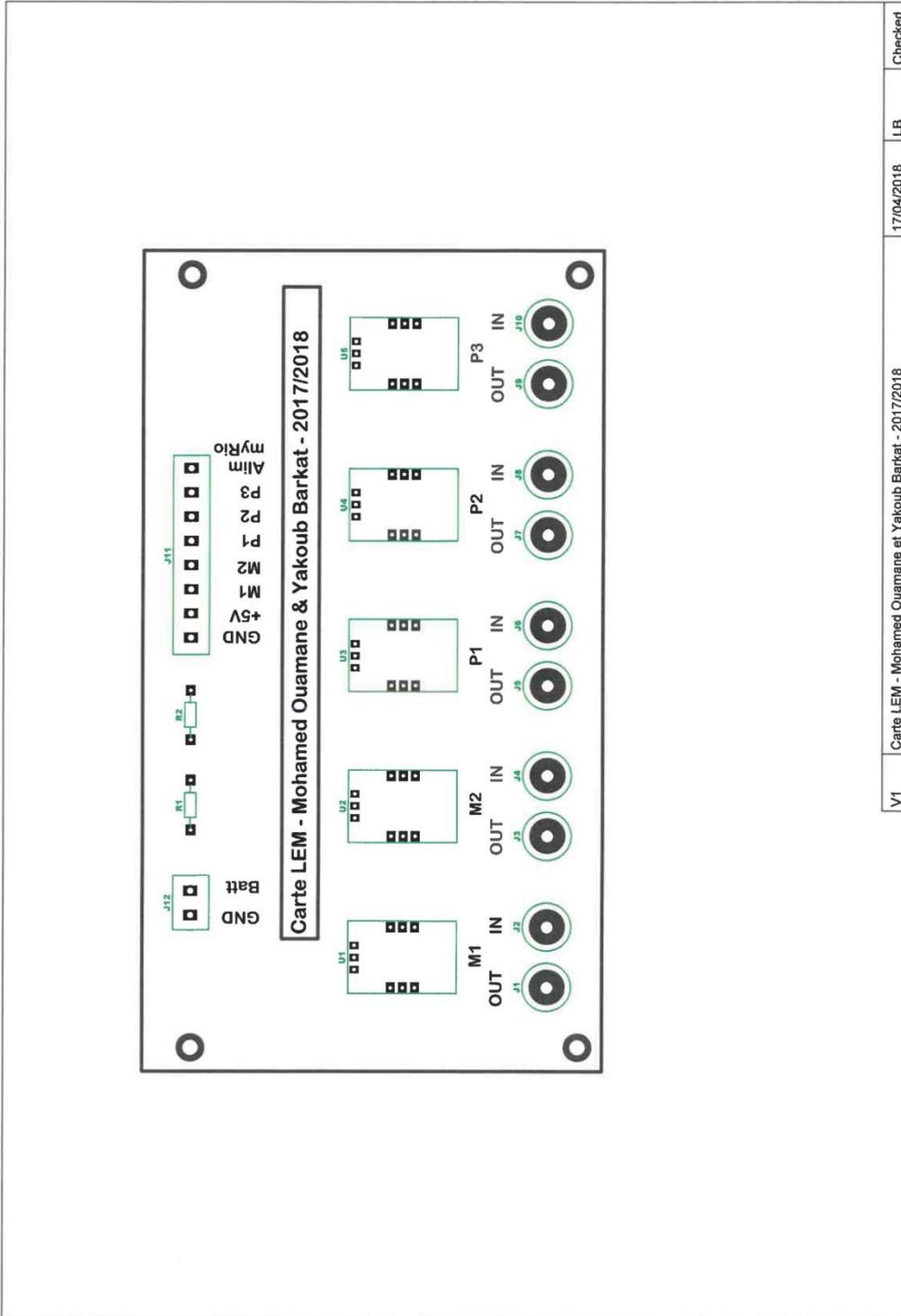
(Etudiants en Master à l'Université de Biskra)

Réalisation : Lara Budain

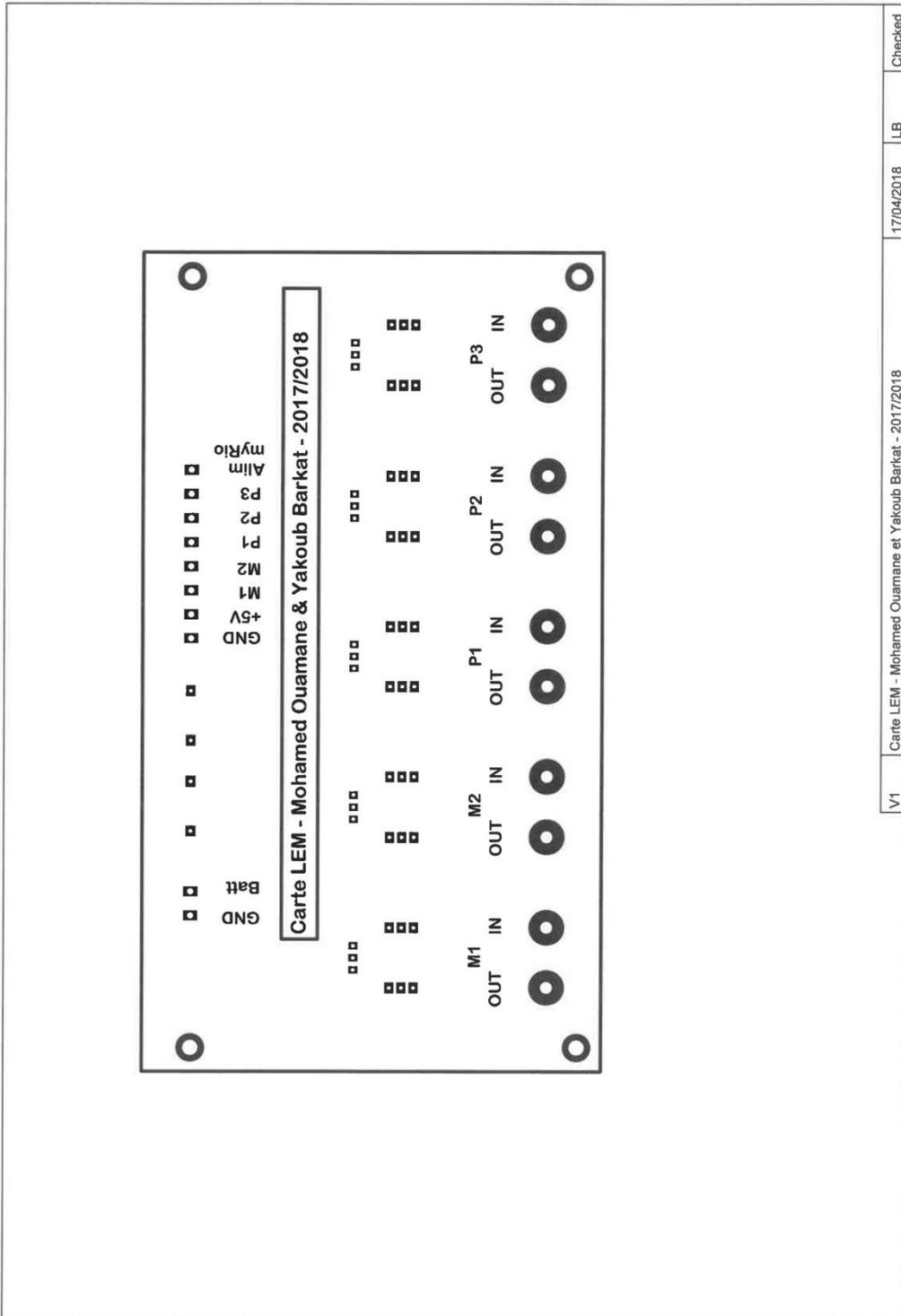
(2018)

Diptrace V1.50 – Fichiers LTS15NP.dch & LTS15NP.dip

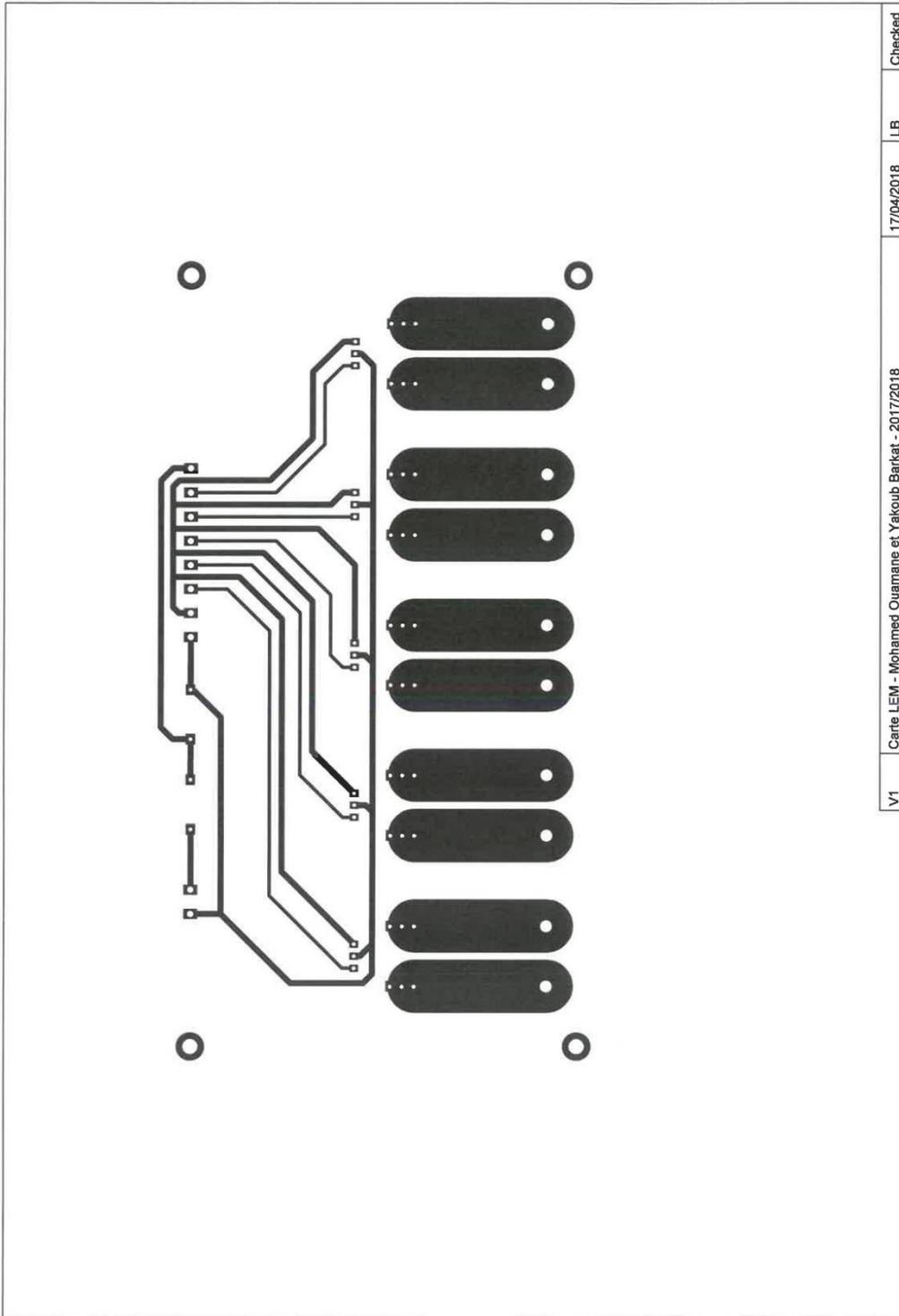




V1	Carte LEM - Mohamed Ouamane et Yakoub Barkat - 2017/2018	17/04/2018	LB	Checked
----	--	------------	----	---------



V1	Carte LEM - Mohamed Ouamane et Yakoub Barkat - 2017/2018	17/04/2018	LB	Checked
----	--	------------	----	---------



V1	Carte LEM - Mohamed Ouamane et Yakoub Barkat - 2017/2018	17/04/2018	LB	Checked
----	--	------------	----	---------

La carte MUX :

Carte MUX

Conception :

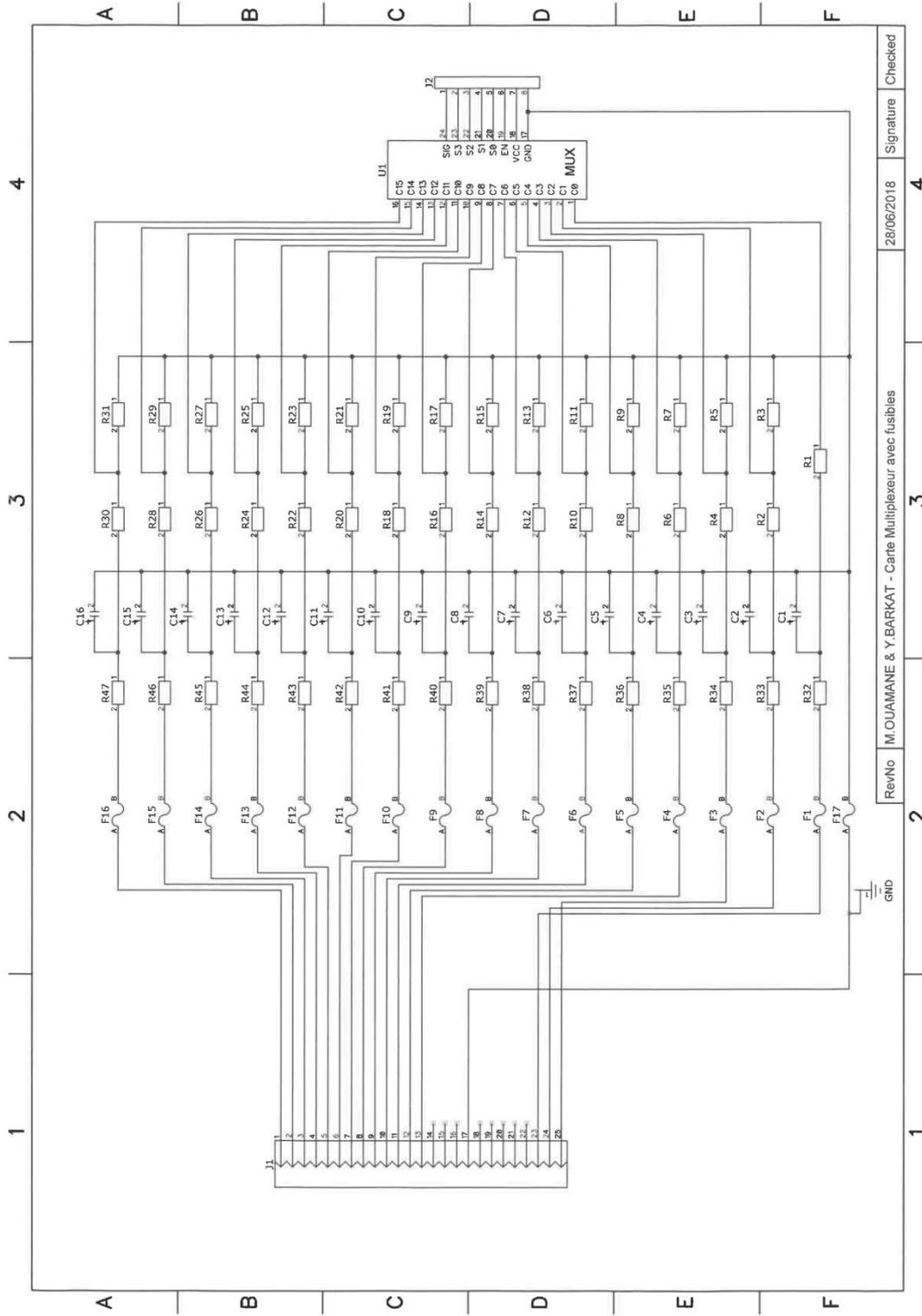
Mohamed Ouamane & Yakoub Barkat

(Etudiants en Master à l'Université de Biskra)

Réalisation : Lara Budain

(2018)

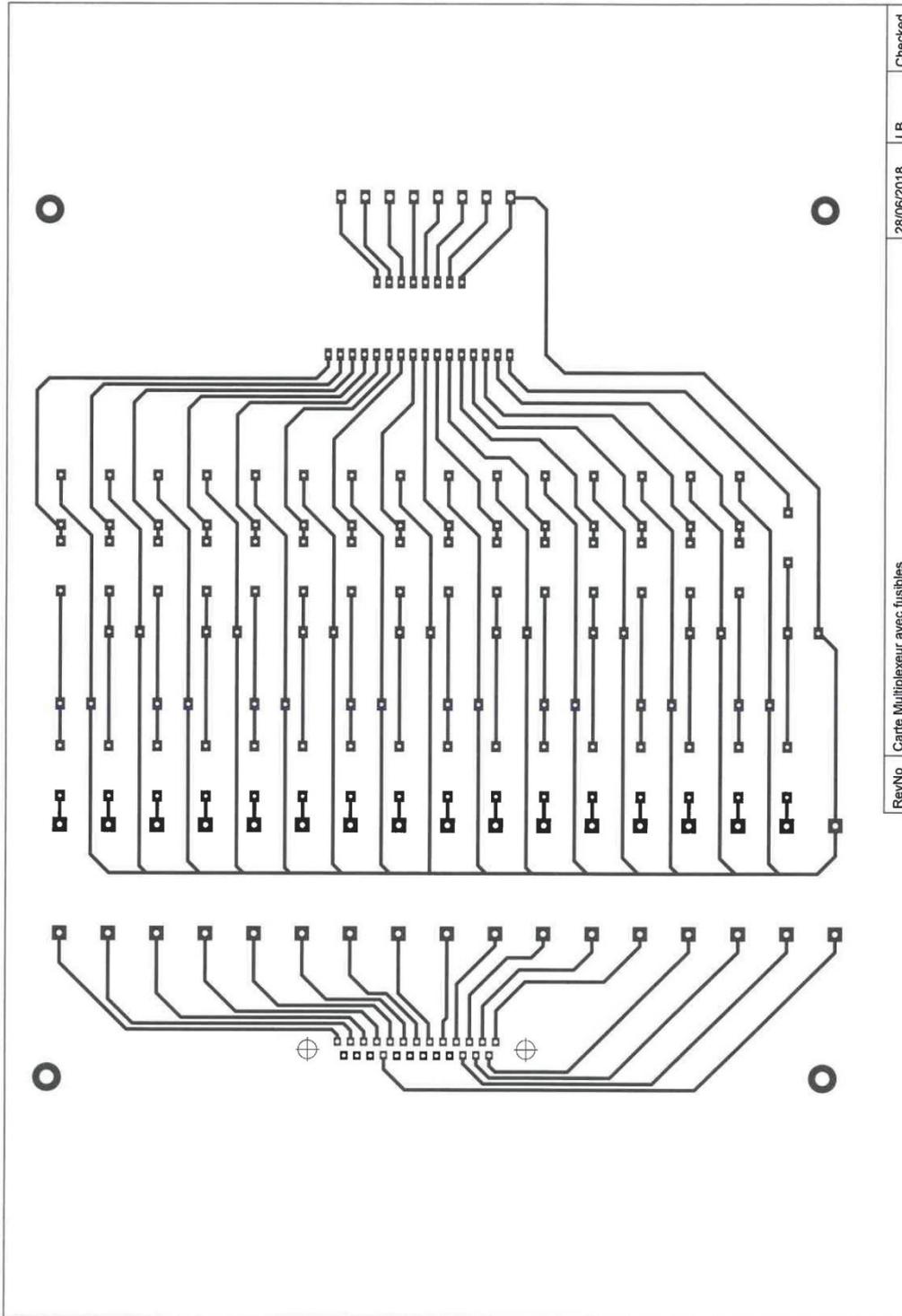
Diptrace V1.50 – Fichiers Mux & fuse.dch & Mux & fuse.dip



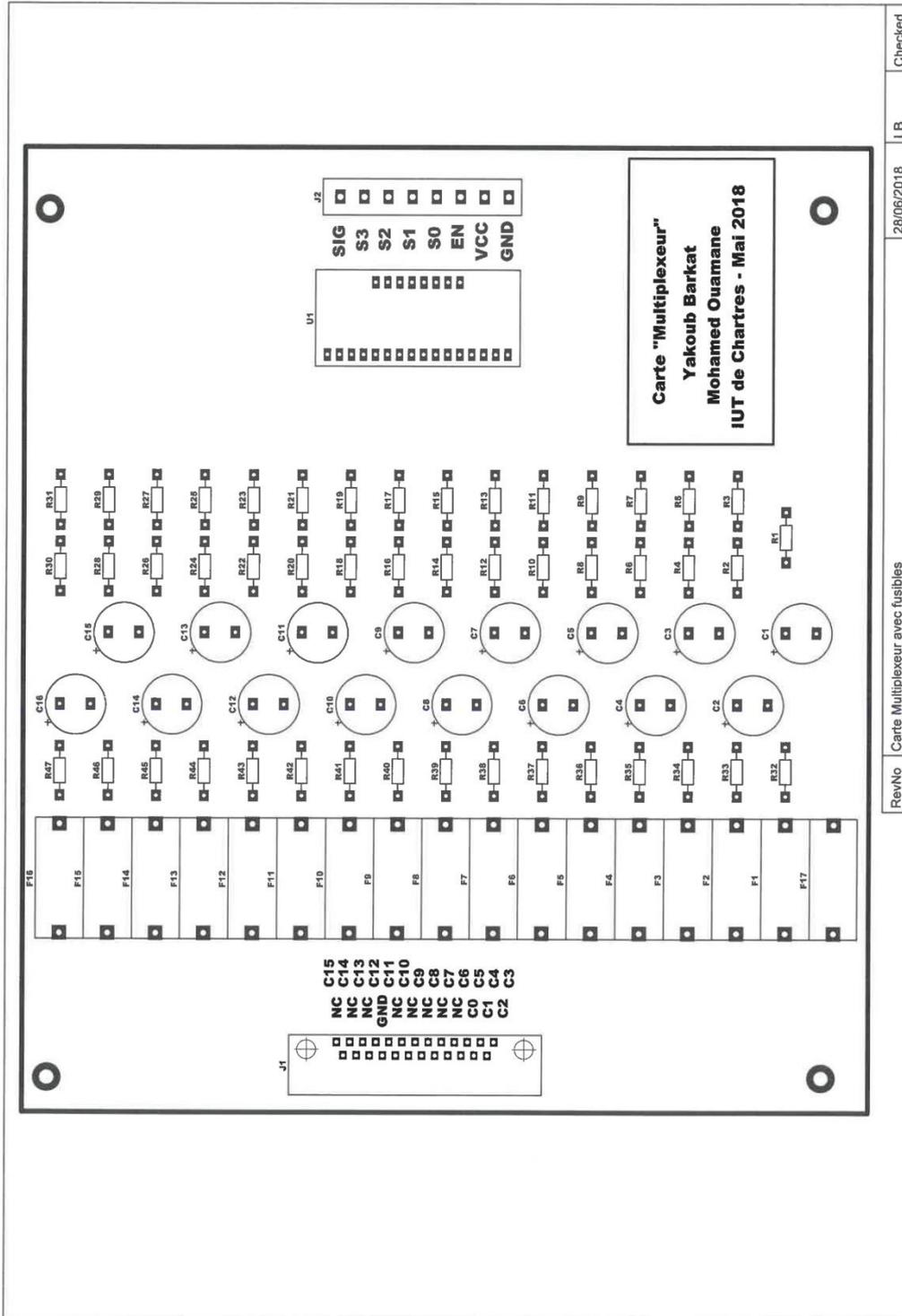
RevNo	M.OUAMANE & Y.BARKAT - Carte Multiplexeur avec fusibles	28/06/2018	Signature	Checked
2		3	4	

RefDes	Value	Pattern
C1	1000µF	CAP6.35+
C10	1000µF	CAP6.35+
C11	1000µF	CAP6.35+
C12	1000µF	CAP6.35+
C13	1000µF	CAP6.35+
C14	1000µF	CAP6.35+
C15	1000µF	CAP6.35+
C16	1000µF	CAP6.35+
C2	1000µF	CAP6.35+
C3	1000µF	CAP6.35+
C4	1000µF	CAP6.35+
C5	1000µF	CAP6.35+
C6	1000µF	CAP6.35+
C7	1000µF	CAP6.35+
C8	1000µF	CAP6.35+
C9	1000µF	CAP6.35+
F1	250mA	Porte fusible
F10	250mA	Porte fusible
F11	250mA	Porte fusible
F12	250mA	Porte fusible
F13	250mA	Porte fusible
F14	250mA	Porte fusible
F15	250mA	Porte fusible
F16	250mA	Porte fusible
F17	250mA	Porte fusible
F2	250mA	Porte fusible
F3	250mA	Porte fusible
F4	250mA	Porte fusible
F5	250mA	Porte fusible
F6	250mA	Porte fusible
F7	250mA	Porte fusible
F8	250mA	Porte fusible
F9	250mA	Porte fusible
J1	Connecteur Batterie	SUBD25M
J2		CON8 5.08
R1	10K	Résistance
R10	47K	Résistance
R11	10K	Résistance
R12	47K	Résistance
R13	10K	Résistance
R14	56K	Résistance
R15	10K	Résistance
R16	68K	Résistance
R17	10K	Résistance
R18	68K	Résistance
R19	10K	Résistance
R2	1K	Résistance
R20	68K	Résistance
R21	10K	Résistance
R22	100K	Résistance
R23	10K	Résistance
R24	100K	Résistance
R25	10K	Résistance
R26	100K	Résistance
R27	10K	Résistance
R28	100K	Résistance

RefDes	Value	Pattern
R29	10K	Résistance
R3	2K	Résistance
R30	100K	Résistance
R31	10K	Résistance
R32	1K	Résistance
R33	1K	Résistance
R34	1K	Résistance
R35	1K	Résistance
R36	1K	Résistance
R37	1K	Résistance
R38	1K	Résistance
R39	1K	Résistance
R4	15K	Résistance
R40	1K	Résistance
R41	1K	Résistance
R42	1K	Résistance
R43	1K	Résistance
R44	1K	Résistance
R45	1K	Résistance
R46	1K	Résistance
R47	1K	Résistance
R5	10K	Résistance
R6	33K	Résistance
R7	10K	Résistance
R8	33K	Résistance
R9	10K	Résistance
U1	BOB-09056	MUX4067

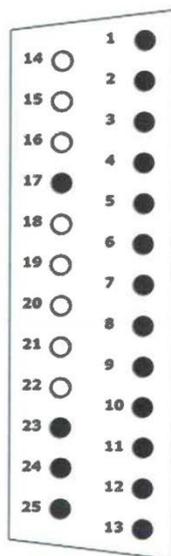


RevNo	Carte Multiplexeur avec fusibles	28/06/2018	LB	Checked
-------	----------------------------------	------------	----	---------



Rev/No Carte Multiplexeur avec fusibles 28/06/2018 LB Checked

Câblage du connecteur Sub-D 25
Carte « Multiplexeur avec fusibles »



Pin	Repère	N°fil
1	C15	16
2	C14	15
3	C13	14
4	C12	13
5	C11	12
6	C10	11
7	C9	10
8	C8	9
9	C7	8
10	C6	7
11	C5	6
12	C4	5
13	C3	4
14	NC	
15	NC	
16	NC	
17	GND	Vert/jaune
18	NC	
19	NC	
20	NC	
21	NC	
22	NC	
23	C0	1
24	C1	2
25	C2	3

Coût de réalisation - carte Mux finale

Désignation	Fournisseur	Référence	Nbr	Prix HT	Prix Tal HT
Barrette femelle droite 8 voies pas 2,54	L'Impulsion	BJ108DD	3	0,58 €	1,74 €
Bornier à vis 2 voies pas 5,08	L'Impulsion	PK3502	1	0,50 €	0,50 €
Bornier à vis 3 voies pas 5,08	L'Impulsion	PK3503	2	0,80 €	1,60 €
Câble 19G0,75 numéroté	Tabur	400151	1	2,39 €	2,39 €
Capôt pour porte-fusible	L'Impulsion	0032.0025	17	0,09 €	1,53 €
Capôt Sub-D 25	L'Impulsion	SDC25	1	0,84 €	0,84 €
Carte époxy double face 16/10 200x300	L'Impulsion	150.216	1	15,23 €	15,23 €
Condensateur 1000µF 50V Ø12.5x25mm	L'Impulsion	RGA102M1HSA1325	16	0,62 €	9,92 €
Connecteur mâle 40 picots	Lextronic	CC078	1	0,54 €	0,54 €
Connecteur Sub-D 25 coudé mâle pour CI	L'Impulsion	DB25P500P72V02	1	5,00 €	5,00 €
Connecteur Sub-D 25 femelle	L'Impulsion	DB25S	1	0,90 €	0,90 €
Entretroise FF M3x10 (lot x10)	L'Impulsion	301310040050	1	3,15 €	3,15 €
Fusible 5x20 250mA	RS Components	563-469	20	0,20 €	4,00 €
Persulfate d'ammonium en poudre 1 litre	L'Impulsion	150.275	1	10,70 €	10,70 €
Plaqué polycarbonate 400x500 ép 1,5	Conrad	22980462	1	9,58 €	9,58 €
Platine Multiplexeur	Lextronic	B0B-09056	1	4,18 €	4,18 €
Porte-fusible	L'Impulsion	0032.0020	17	0,32 €	5,44 €
Résistance 10kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0104A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 10kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0103A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 15kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0153A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 1kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0102A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 2kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0202A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 33kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J033A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 47kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0473A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 56kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0563A50	1	0,96 €	0,96 €
Résistance 68kOhms (0,25W 5% 2,5x7) (lot x100)	L'Impulsion	CFR0W4J0683A50	1	0,96 €	0,96 €
Vis acier zingué tête pozidriv M3x6 (lot x100)	L'Impulsion	M520023006	1	4,01 €	4,01 €
Prix total hors taxe				89,89 €	
TVA 20%				17,98 €	
Prix TTC					107,87 €

Lara BUDAIN - IUT de Chartres - 1 place Roger Joly - 28000 CHARTRES
 tél : 02 37 91 83 32 - mél : lara.budain@univ-orleans.fr