



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 :  
**Ouamane Mohamed Ridha**

Le : jeudi 27 septembre 2018

## **Contrôle en continu des paramètres dynamique d'un prototype électro solaire avec transmission sans fil des données**

---

### **Jury :**

Mr	BOUMEHRAZ Mohamed	Pr	ST	Encadreur
Mme.	MAGHERBI Hassina	MCA	ST	Examinatrice
Mr	TOUBA Mostefa	MCA	ST	Président

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*

**Contrôle en continu des paramètres  
dynamique d'un prototype électro  
solaire avec transmission sans fil des  
données**

**Présenté par :**

**Ouamane Mohamed Ridha**

**Avis favorable de l'encadreur :**

**Pr. Boumehraz Mohamed**

**Avis favorable du Président du Jury**

# *Dédicaces*

C'est avec l'aide de Dieu tout puissant, que ce modeste projet a pu être réalisé, Dieu qui nous a donné foi, raison et lucidité. Dieu Merci. Je dédie ce travail :

Aux plus belles créatures que Dieu a créées sur terre,,,

A la source de tendresse, de patience, de sacrifices et de générosité,,,

A mes parents ! Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes adorables frères : Houssein, Adel, Takie et mes chères sœurs Houba et Soundous

A mes très chères grandes mères qui ne cessent pas de me combler par leur amour et leur tendresse.

A la mémoire de mes grands-parents. A mes tantes et mes oncles qui ont toujours été à mes côtés

A toute ma famille sans aucune exception.

A mes meilleurs amis : Ilyes, Sedik, Massinissa, Walid, Abd el Hak , Yakoub , Ramzi , Mohamed.

Que Dieu vous protège . . .

# Remerciements et reconnaissances

En premier lieu, Je voudrais adresser toute ma gratitude et mes remerciements à la Région Centre-Val de Loire pour avoir financée ma période de mobilité à l'IUT de Chartres, université d'Orléans.

Je saisi cette occasion pour adresser mes profonds remerciements aux responsables de l'Université d'Orléans qui mon fait bénéficier de ce stage au sein de l'IUT de Chartres.

Je remercie Monsieur Christian ORIEUX, directeur de l'IUT Chartres pour tous les efforts qu'il a déployé pour que je puisse effectuer mon stage dans de bonnes conditions.

Je tiens également à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance à Madame Ouafae BENNIS et Monsieur Dominique TRIHAN, les principaux intervenants dans l'expérience enrichissante qui m'a été offerte.

J'ai passé un stage de cinq mois vraiment extraordinaire avec Monsieur TRIHAN et Madame BENNIS, j'en garderai un très bon souvenir. Je les remercie encore pour leur disponibilité et leur assistance qui ont assuré le bon déroulement de mon stage. Je ne trouve pas les mots pour exprimer ma gratitude envers eux, leurs conseils et leurs encouragements ont permis à ce travail d'aboutir.

Je désire aussi remercier tout le personnel de l'IUT de Chartres qui m'ont fourni les outils nécessaires au bon déroulement de mon stage. Je tiens à remercier spécialement Madame Lara BUDAIN pour sa disponibilité et sa patience pour mettre à ma disposition les outils de travail de mon stage.

Je présente mes remerciements les plus profonds pour mon encadreur MR. BOUMEHRAZ Mohamed qui m'a suivi et soutenu durant les étapes de ce projet de fin d'étude.

Je tiens a remercié aussi les membres de jury d'avoir accepté d'examiner mon mémoire.

Mes remerciements s'adressent à toute personne qui m'a aidé de loin ou de près pour la réalisation de ce travail.

## Résumé

Dans le cadre de la coopération entre l'université d'Orléans (France) et l'université de Biskra (Algérie), un stage de courte durée (cinq mois) nous a été accordé pour participer au projet électro-solaire (Solaire Cup).

L'objectif du présent travail est consacré principalement à l'élaboration d'un moyen qui permet la supervision détaillée et en temps réel des performances d'un prototype électro-solaire, dans le but d'assurer un fonctionnement optimal donc une autonomie maximale avec un rendement optimal.

Ainsi, un système de transmission des données a été développé, dans le but d'observer l'état du prototype en temps réel. Ce système permet de mesurer les différentes grandeurs physiques, pour les transmettre par la suite vers une équipe de traitement en continu. Le but de la transmission des données comme la puissance, la vitesse, la tension de la batterie et l'autonomie estimée en temps réel est de pouvoir optimiser les performances de notre prototype électro-solaire en fonction de la recharge solaire ainsi que les phases de décélération.

Mots-clés: énergie, consommation, production, transmission sans fil, estimation, mesures, véhicule électrique.

## Abstract

As part of the cooperation between the University of Orleans (France) and the University of Biskra (Algeria), a short-term internship (five months) has been granted to participate in the electro-solar project (Solar Cup).

The objective of this work is mainly devoted to the development of a way that allows the detailed and real-time monitoring of the performance of an electro-solar prototype, in order to ensure optimal operation which leads to a maximum autonomy followed by an optimal performance.

Thus, a data transmission system has been developed, in order to observe the state of the prototype in real time.

This system makes it possible to measure the various physical magnitudes, to transmit them thereafter to a continuous treatment team.

The purpose of data transmission such as power, speed, battery voltage and estimated autonomy in real time is to optimize the performance of our electro-solar prototype based on solar charging and the phases of deceleration.

Keywords: energy, consumption, production, wireless transmission, estimation, measurements, electric vehicle.

## ملخص

في إطار التعاون بين جامعة اورليان (فرنسا) وجامعة بسكرة (الجزائر)، منح لنا تربص قصير المدى (خمسة أشهر) للمشاركة في المشروع الكهرو- شمسي (للسيارة الكهربائية) (Solaire Cup). الهدف من هذا العمل أساسا يتمحور حول تطوير وسيلة تسمح بمراقبة أداء مفصل وفي الوقت الحقيقي لمردود النموذج الكهرو- شمسي، من أجل أن يكون التشغيل الأمثل من أجل تمديد عمر البطارية و الأداء الأمثل. ولهذا، تم تطوير نظام نقل البيانات، من أجل مراقبة حالة النموذج في الوقت الحقيقي. يتيح هذا النظام قياس مختلف القياسات الفيزيائية، لنقلها بعد ذلك إلى فريق معالجة مستمر. والغرض من نقل البيانات مثل القوة والسرعة، وجهد البطارية والتشغيل المقدر في الوقت الحقيقي هو تحسين أداء النموذج الكهرو- شمسي لدينا على أساس شحن الطاقة الشمسية ومراحل التباطؤ.

الكلمات المفتاحية: الطاقة، الاستهلاك، الإنتاج، النقل اللاسلكي، التقدير، القياسات، السيارة الكهربائية.

# Table des matières

<b>DEDICACES</b> .....	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS ET RECONNAISSANCES</b> .....	<b>II</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>IX</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL ET DU CADRE DE PROJET</b> .....	<b>2</b>
1.1 L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE DE CHARTRES .....	2
1.1.1 Organisation générale .....	2
1.1.2 Description de la structure sociale .....	3
1.2 SOLAR-CUP, LA COURSE SOLAIRE .....	4
1.3 MA PLACE AU SEIN DE L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE DE CHARTRES .....	5
1.4 OBJECTIFS DE STAGE .....	5
<b>2 MESURE ET TRAITEMENT DES DONNEES EN TEMPS REEL</b> .....	<b>6</b>
2.1 LE SIGNAL ET LE BRUIT .....	6
2.2 TRAITEMENT DES SIGNAUX ANALOGIQUES.....	7
2.2.1 Définition .....	7
2.2.2 Fonctions principales du traitement du signal analogique .....	7
2.2.2.1 l'élaboration des signaux .....	7
2.2.2.2 l'interprétation des signaux.....	8
2.3 LA CONVERSION ANALOGIQUE-NUMERIQUE ET NUMERIQUE-ANALOGIQUE.....	8
2.3.1 Définition .....	8
2.3.2 Numérisation des signaux .....	8
2.3.2.1 l'échantillonnage idéal .....	9
2.3.2.2 Echantillonnage réel.....	9
2.3.2.3 Échantillonneur bloqueur (régulier).....	10
2.3.2.4 Le convertisseur analogique numérique (CAN) .....	11
2.3.3 De numérique vers l'analogique .....	11
2.3.3.1 Le convertisseur numérique analogique (CNA) .....	11
2.3.3.1.1 Le convertisseur a résistances pondérées.....	11
2.3.3.1.2 Le convertisseur à réseau en échelle R-2R .....	12
2.4 ACQUISITION DES DONNEES EN TEMPS REEL .....	14
2.4.1 Les capteurs .....	14
2.4.2 Les différents types de capteur.....	14
2.4.2.1 Capteur générateur de force électromotrice .....	15
2.4.2.2 Capteur générateur de courant .....	16
2.4.2.3 Capteur générateur de charge.....	16
2.4.2.4 Capteurs résistifs.....	17
2.4.3 Le conditionnement du signal .....	17
2.4.3.1 Conditionneur du capteur source de courant.....	18
2.4.3.2 Conditionneur du capteur source de charge .....	18
2.4.4 Les filtres .....	19
2.4.4.1 Les filtres réalisables.....	19
2.4.4.2 Les types des filtres analogiques.....	20
2.5 LA TRANSMISSION NUMERIQUE DES DONNEES .....	22
2.5.1 La transmission parallèle .....	22

2.5.1.1	La liaison GPIB.....	22
2.5.2	La transmission série.....	24
2.5.2.1.1	La transmission série asynchrone.....	24
2.5.2.1.2	La transmission série synchrone .....	25
<b>3</b>	<b>DESCRIPTION DE PROTOTYPE ET ANALYSE DES COMPOSANTS .....</b>	<b>27</b>
3.1	LE PROTOTYPE ELECTRO-SOLAIRE.....	27
3.2	DESCRIPTION DETAILLEE DES DIFFERENTS COMPOSANTS .....	28
3.2.1	La batterie .....	28
3.2.1.1	Les caractéristiques d'une batterie.....	29
3.2.1.2	La batterie utilisée pour le prototype .....	30
3.2.1.3	Les avantages et les inconvénients de la batterie LIFP.....	30
3.2.1.4	Les spécifications de la batterie LIFP .....	31
3.2.2	Le BMS.....	31
3.2.3	Le moteur utilisé dans le prototype.....	33
3.2.3.1	Les moteurs synchrones autopilotés.....	33
3.2.3.2	Moteur BRUSHLESS .....	34
3.2.3.3	Le cycle analyse.....	35
3.2.3.4	Le contrôleur de moteur.....	35
3.2.4	MPPT (Maximum Power Point Tracker).....	36
3.2.5	Les panneaux photovoltaïques .....	38
3.2.6	MYRIO .....	39
3.2.7	Le module radio fréquence TRF click .....	41
<b>4</b>	<b>REALISATION ET MISE AU POINT DES AMELIORATIONS .....</b>	<b>43</b>
4.1.	LA TELEMETRIE.....	43
4.1.1.	Système d'observation de la batterie.....	47
4.1.1.1	La partie hardware .....	47
4.1.1.2	La partie software : .....	49
4.1.2	Système de transmission des données.....	50
4.1.2.1	La partie software.....	50
4.1.2.1.1	phase de codage .....	50
4.1.2.1.2	Phase de décodage .....	51
4.1.3	Système de mesure.....	53
4.1.3.1	La partie software.....	53
4.1.3.2	La partie hardware .....	54
4.1.4	Système de calcule .....	56
4.1.4.1	Calcule d'énergie.....	56
4.1.4.2	Calcule et estimation des moyennes .....	57
4.1.4.2.1	Estimation pour tout le parcours .....	57
4.1.4.2.1.1	La moyenne de consommation wattheure par kilomètre .....	57
4.1.4.2.1.2	l'autonomie globale .....	57
4.1.4.2.2	Estimation durant cinq minutes.....	58
4.1.4.3	l'interface d'affichage des mesures .....	59
4.1.4.3.1	Tableau de bord.....	59
4.1.5	Phase d'affichage .....	60
	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>63</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>64</b>

# Table des figures

Fig. 1.1 : L'institut universitaire de Chartres.....	4
Fig. 1.2 : Slogan de la course Solar-Cup.....	4
Fig. 2.1 : Echantillonnage du signal $s(t)$ par la multiplication en peigne de Dirac.....	9
Fig. 2.2 : les différentes techniques d'échantillonnage.....	10
Fig. 2.3 : chemin de conversion numérique-analogique.....	11
Fig. 2.4 : Convertisseur N/A à résistance pondéré.....	12
Fig. 2.5 : Convertisseur N/A à réseau en échelle R-2R.....	12
Fig. 2.6 : Schéma équivalent de thévenin.....	13
Fig. 2.7 : Montage thermocouple.....	16
Fig. 2.8 : Capteur piézoélectrique.....	17
Fig. 2.9 : Convertisseur courant-tension.....	18
Fig. 2.10 : Convertisseur charge-tension.....	18
Fig. 2.11 : Diagramme de gain d'un filtre passe-bas 1er ordre.....	20
Fig. 2.12 : Diagramme de phase d'un filtre passe-bas 1er ordre.....	21
Fig. 2.13 : Diagramme de gain d'un filtre passe-haut 1er ordre.....	21
Fig. 2.14 : Diagramme de phase d'un filtre passe-haut 1er ordre.....	22
Fig. 2.15 : Trame de données pour la communication série asynchrone.....	25
Fig. 3.1 : le prototype réalisé.....	27
Fig. 3.2 : schéma d'une pile à lithium-ion (phase de décharge).....	29
Fig. 3.3 : La mise en série de 16 cellules LiFePO4 38120S.....	30
Fig. 3.4 : Schéma de connexion un BMS a une batterie 48V.....	32
Fig. 3.5 : illustration de fonctionnement du BMS.....	32
Fig. 3.6 : zone de fonctionnalité du BMS.....	33
Fig. 3.7 : principe de moteur autopiloté synchrone.....	33
Fig. 3.8 : description du principe de moteur BRUSHLESS.....	34
Fig. 3.9 : photo réel de moteur installé dans le prototype.....	34
Fig. 3.10 : afficheur de cycle analyste.....	35
Fig. 3.11 : contrôleur moteur.....	35
Fig. 3.12 : branchement d'un MPPT dans une installation photovoltaïque.....	36
Fig. 3.13 : Photo réel de MPPT installé dans le prototype.....	37
Fig. 3.14 : Schéma d'installation de MPPT dans le prototype.....	38
Fig. 3.15 : Interconnexion de sous-systèmes.....	38
Fig. 3.16 : disposition de fonction des composants de MYRIO.....	39
Fig. 3.17 : Indiction pins MYRIO.....	40
Fig. 3.18: Module RF TRF click.....	41
Fig. 4.1 Schéma bloc du système de télémétrie.....	44
Fig. 4.2 Organigramme de l'émission des données.....	45

Fig. 4.3 Organigramme de la réception des données .....	46
Fig. 4.4 La carte électronique et son schéma électrique.....	48
Fig. 4.5 Le programme LABVIEW d'acquisition des données.....	49
Fig. 4.6 Interface graphique de visualisation des états des cellules et de la batterie .....	50
Fig. 4.7 Programme LABVIEW de codage des données à transmettre .....	51
Fig. 4.8 Programme LABVIEW de décodage des données reçues.....	52
Fig. 4.9 Programme LABVIEW de filtrage des données non valides .....	53
Fig. 4.10 Programme LABVIEW de calcul de la valeur mesurée.....	53
Fig. 4.11 Interface graphique représentant les différentes grandeurs énergétiques .....	54
Fig. 4.12 La carte de mesure des courants des panneaux solaires et des moteurs et son schéma électrique.....	55
Fig. 4.13 Programme LABVIEW de calcul de l'énergie.....	56
Fig. 4.14 Programme LABVIEW d'estimation de l'énergie disponible dans la batterie.....	57
Fig. 4.15 Estimations des énergies pour tout le parcours .....	58
Fig. 4.16 Estimations des énergies pour les 5 dernières minutes .....	59
Fig. 4.17 Affichage par tableau de bord .....	59
Fig. 4.18 Afficheur LCD.....	60
Fig. 4.19 Commutateurs de commande et LEDs.....	61

# Liste des tableaux

Tableau.2.1 : les types des capteurs.....	15
Tableau 3.1 : Caractéristiques de prototype.....	28
Tableau 3.2 : Spécifications de la batterie LIFP .....	31
Tableau. 3.3 : caractéristiques de MPPT.....	37
Tableau. 3.4 : Caractéristiques panneau solaire .....	39
Tableau. 3.5 : caractéristiques MYRIO.....	40
Tableau. 3.6 : Spécifications module RF.....	41

# Introduction générale

Depuis plusieurs décennies, l'homme pensait à développer un véhicule plus efficace et moins polluant. Ceci est devenu une réalité. Le développement d'un tel véhicule a connu deux phases consécutives, la première correspond à la phase de développement du véhicule électrique hybride et la seconde au véhicule uniquement électrique. De nos jours les véhicules électriques sont les plus adaptés aux applications urbaines, et on peut dire c'est le véhicule le plus convenable pour le déplacement en ville sans pollution.

L'idée de construire un véhicule électrique n'est pas nouvelle. Depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle plusieurs modèles ont été expérimentées et ont tenté de rivaliser avec le véhicule thermique. Mais les principaux freins au développement de ce type de véhicule sont l'autonomie limitée et le temps de recharge qui sont les deux contraintes majeures à leur développement.

Grâce au développement remarquable des ordinateurs et des calculateurs, qui ont permis l'augmentation de la puissance de calcul et du traitement des données, il est devenu possible de créer des modèles virtuels, qui ont le même comportement que celui réel. La question qui se pose est comment modéliser le comportement d'un véhicule électrique en temps réel ?

D'autre part, l'optimisation des performances de ce type de véhicule nécessite la supervision instantanée de ces performances, pour pouvoir choisir la variante adéquate. Comment peut-on acquérir, traiter et transmettre ces données en continu et en temps réel ?

Ainsi, le présent travail se propose à donner des réponses à ces interrogations. Pour ce faire, ce travail a été divisé en trois parties distinctes.

- La première s'intéresse à la transmission sans fils des données, ainsi que les différentes manières d'acquisition des données en temps réel.

- La seconde est consacrée à l'analyse des composants d'un prototype électro-solaire.

- La troisième se rapporte à la réalisation d'une expérimentation par le biais d'un prototype électro-solaire conçu par l'IUT de Chartres. Celui-ci est équipé d'une série de capteurs pour la mesure des différentes grandeurs qui conduit à une bonne estimation de la consommation énergétique.

# Chapitre 1

## Présentation de l'entreprise d'accueil et du cadre de projet

Du 01/02/2018 au 30/06/2018, j'ai effectué un stage de fin d'étude au sein de l'institut universitaire de technologie de Chartres, France. Au cours de ce stage au département de génie industrielle et maintenance, j'ai pu enrichir mes connaissances en programmation, énergétique et câblage électrique.

Mon stage consiste essentiellement à construire un prototype électro-solaire afin de participer à la course Solar-Cup.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'organisme d'accueil dans laquelle nous avons réalisé notre travail.

Ensuite, nous allons passer à un bref descriptif de la course Solar-Cup. et à la fin Nous allons présenter le véhicule solaire en citant ses composants élémentaires.

### 1.1 L'institut universitaire de technologie de Chartres [Web 2]

L'Institut Universitaire de Technologie (IUT) 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.

#### 1.1.1 Organisation générale

##### 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).

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). (sous réserve de l'autorisation du Ministère)

### **1.1.2 Description de la structure sociale**

A la rentrée, l'IUT compte 275 étudiants inscrits dont :

- 87 étudiants en Génie Electrique et Informatique Industrielle.
- 60 étudiants en Génie Industriel et Maintenance.
- 95 étudiants en Gestion Logistique et Transport.
- 24 étudiants en Licence Professionnelle "Management et Conduite d'Unités de Production".
- 14 étudiants en Licence Professionnelle "Maîtrise de l'Energie et Energies Renouvelables".
- 30 étudiants en Licence Professionnelle "Organisation et Gestion des Achats".

L'accueil des étudiants est assuré par :

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



*Fig. 1.1 : L'institut universitaire de Chartres.*

## **1.2 Solar-Cup, La course solaire [Web 1]**

La Chartres Solar Cup est un événement annuel qui se déroule à Chartres le dernier week-end de juin. Son objectif est de promouvoir les énergies renouvelables, l'éco-mobilité et les véhicules électro-solaires.

Bien plus qu'un simple challenge d'endurance, cet évènement unique en France se veut un moyen de communication pour les formations scientifiques et technologiques, en rassemblant en un même lieu et sur un même thème l'enseignement universitaire et secondaire mais aussi des entreprises partenaires. Il permettra à un public non averti de découvrir les technologies actuelles et futures en rapport avec les énergies renouvelables et l'éco-mobilité.

La course solaire s'inscrit en parfaite adéquation avec le projet de territoire en matière de développement durable. En effet, depuis le mois de mai 2016, l'Agglomération chartraine est lauréate de l'appel à projet national «Territoire à Énergie Positive pour la Croissance Verte» (TEPCV).

Ainsi, la Chartres Solar Cup participe localement à la recherche et au développement des énergies renouvelables, tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.



*Fig. 1.2 : Slogan de la course Solar-Cup.*

## **1.3 Présentation de mon stage effectué au sein de l'institut universitaire de technologie de Chartres**

Le stage de fin d'études s'inscrit dans le cursus du Master II Automatique et informatique industrielle de l'université de Mohamed Khider - Biskra. Il a pour objet de permettre à l'étudiant de mettre en oeuvre les outils théoriques et méthodologiques acquis au cours de sa formation, d'identifier ses compétences et de conforter son objectif professionnel.

En ce qui me concerne, ce stage s'est déroulé au sein de département de génie industrielle et maintenance de l'institut universitaire de technologie de Chartres, Paris, sur la période du 1 février au 1 Juillet 2018. Le temps de travail au sein de l'entreprise était fixé à **35 heures hebdomadaires**. Mon encadrement se constituait d'une part, de l'équipe pédagogique de l'institut universitaire de technologie de Chartres et, d'autre part, de mon encadreur Boumehrez Mohamed, Professeur en automatisme à l'université de Mohamed Khider - Biskra.

Ma principale mission consistait à gérer la consommation électrique d'un véhicule électrique en s'appuyant sur le contrôle en continu des paramètres dynamiques de celui-ci et des conditions liées à l'environnement climatique.

Parallèlement, j'étais chargée d'effectuer un travail de recherche sur la mesure en temps réel, l'acquisition des signaux et filtrage, l'échantillonnage et le moyennage des mesures, l'optimisation et l'estimation de l'autonomie d'un véhicule.

En complément de ces missions, ma participation à quelques réunions et la participation à quelques tps et ainsi la participation à la course solaire Solar Cup m'ont permis d'aborder la notion d'intégration dans l'institut.

## **1.4 Objectifs de stage**

Les objectifs de mon stage sont :

- Acquérir, traiter et transmettre des données en continu.
- Modéliser le comportement d'un véhicule électrique en temps réel.
- Optimiser les performances du véhicule en fonction de sa recharge solaire et des phases de décélération.
- Estimer l'autonomie d'un véhicule en fonction de différents paramètres : vitesse, puissance, couple résistant, dénivellation...

# Chapitre 2

## Mesure et traitement des données en temps réel

Ce chapitre axé autour de traitement des signaux et l'acquisition des données, on présentera premièrement les notions de base du traitement de signal, par la suite nous expliciterons la conversion analogique-numérique ainsi que la conversion numérique-analogique, et comme une dernière partie, on va citer les différents composants d'une chaîne d'acquisition ainsi que les protocoles utilisés lors de transmission des données.

### 2.1 Le signal et le bruit

Un signal est le transporteur physique de l'information de la source au destinataire, avec une nature physique variable (acoustique, électronique, optique, etc.), l'information transportée par un signal représente une grandeur mesurable (courant, tension, force, température, pression, etc.) [1].

Le bruit est un phénomène aléatoire qui provoque une obstruction au niveau de la perception ou l'interprétation du signal, par exemple : les signaux émis par les poissons et les crustacés vont être considérés comme des bruits ou des perturbations pour un opérateur sonar, car le signal utile est celui émis par les sous-marins et les navires, la même chose pour un opérateur sonar d'un bâtiment de pêche, tous les signaux sauf ceux émis par les poissons sont des perturbations [2].

De ce fait, il existe un indicateur de qualité du signal, qui correspond au rapport signal sur bruit RSB :

$$RSB = \frac{P_S}{P_B}.$$

$P_S$  : Puissance du signal.

$P_B$  : Puissance du bruit.

et on dB :

$$RSB_{dB} = 10 \log \log \left( \frac{P_S}{P_B} \right).$$

## 2.2 Traitement des signaux analogiques

### 2.2.1 Définition

Le traitement du signal est la discipline qui rassemble les ressources de l'électronique, de l'informatique et de la physique appliquée pour l'élaboration et l'interprétation des signaux. Les domaines d'application de cette discipline sont nombreux, mais ont les mêmes objectifs qui sont : la perception, la transmission et l'exploitation des informations véhiculées par les signaux.

### 2.2.2 Fonctions principales du traitement du signal analogique [1]

Les fonctions du traitement du signal sont basées sur deux axes principaux :

#### 2.2.2.1 L'élaboration des signaux

L'élaboration des signaux s'appuie sur trois différents contextes :

- La synthèse : c'est la génération des signaux de forme appropriée à partir des signaux élémentaire (fonction signe, fonction échelon, fonction rectangle, etc.).

- La modulation : la modulation est la transportation de l'information sur une porteuse, généralement cette porteuse est un signal sinusoïdal connu.

- Pour la définition d'un signal sinusoïdal trois caractéristiques sont mises en place :

- Son amplitude A.

- Sa fréquence F.

- Sa phase  $\theta$ .

Le signal sinusoïdal peut être représenté en deux formes :

- Temporelle :  $v(t) = A \sin(2\pi ft + \theta)$ .

- Fréquentielle :  $V(f) = \frac{A}{2e^{j\theta}}$ .

Pour utiliser un signal sinusoïdal comme une porteuse il suffit de modifier une ou plusieurs caractéristiques précédentes par le signal à transmettre [3].

- Le codage : est l'association d'une plage des valeurs discrètes à une plage des éléments binaire (la quantification).

### **2.2.2.2 L'interprétation des signaux**

L'interprétation des signaux est située sur la partie de réception des signaux et contient :

- Le filtrage : c'est la première étape pour la conversion analogique - numérique des signaux, qui consiste à éliminer les composantes de fréquence les plus élevées ou indésirables du signal.
- La détection : c'est l'étape responsable de la séparation du signal utile d'un bruit de fond (corrélation).
- L'identification : c'est la définition de la source du signal.
- L'analyse : c'est la décomposition d'un signal complexe en des éléments utiles avec la méthode de la décomposition en séries de Fourier ou la transformation de Fourier pour les signaux non-périodiques.
- Mesure : la phase de calcul des valeurs moyennes ou estimées des grandeurs caractéristiques d'un signal.

## **2.3 La conversion analogique-numérique et numérique-analogique**

### **2.3.1 Définition**

On peut définir un signal numérique comme une suite de valeur numérique. Il existe deux types de signaux numériques, le signal numérique complexe dont ses valeurs sont complexes, et le signal numérique réel dont les valeurs sont réelles. D'autre part on peut dire qu'un signal numérique est un signal discret temporellement avec une amplitude quantifiée.

### **2.3.2 Numérisation des signaux**

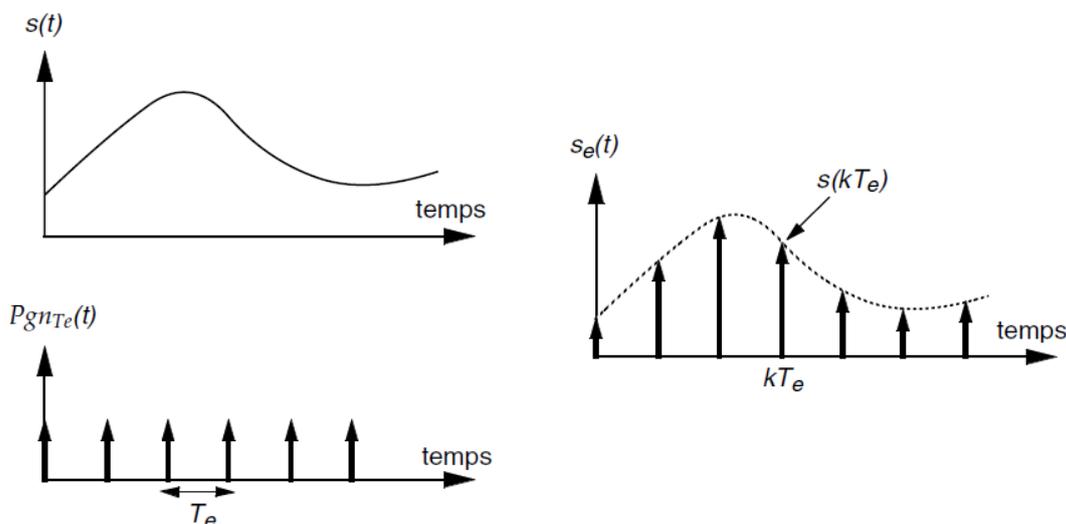
La numérisation se fait en trois étapes, la première étape c'est l'échantillonnage qui consiste à prélever les valeurs du signal continu  $s(t)$  à des instants multiples entiers d'une durée  $T$  qui s'appelle la période d'échantillonnage, par conséquent la représentation du signal va être remplacée par  $s(nT)$ . La deuxième étape c'est la quantification qui consiste à l'approximation de chaque valeur  $s(nT)$  par un multiple entier d'une quantité élémentaire  $q$  et comme une étape finale on trouve le codage qui sert à associer chaque valeur approchée à une valeur binaire [5].

### 2.3.2.1 L'échantillonnage idéal

L'échantillonnage idéal c'est l'opération qui sert à multiplier le signal continue  $s(t)$  par une suite des pics de Dirac avec une amplitude unité, par conséquent on obtient une succession d'impulsions dont l'amplitude est celle du signal échantillonné  $s_e(t)$ . Cette opération permet d'obtenir une représentation numérique du signal échantillonné [1].

La représentation numérique du peigne de Dirac espacé par un période  $T_e$  est donnée par:

$$Pgn_{T_e} = \sum_{K=-\infty}^{+\infty} \delta(t - KT_e) \quad (2.1)$$



*Fig. 2.1 : Echantillonnage du signal  $s(t)$  par la multiplication en peigne de Dirac.*

La représentation numérique du signal échantillonné  $S_e(t)$  est exprimée par :

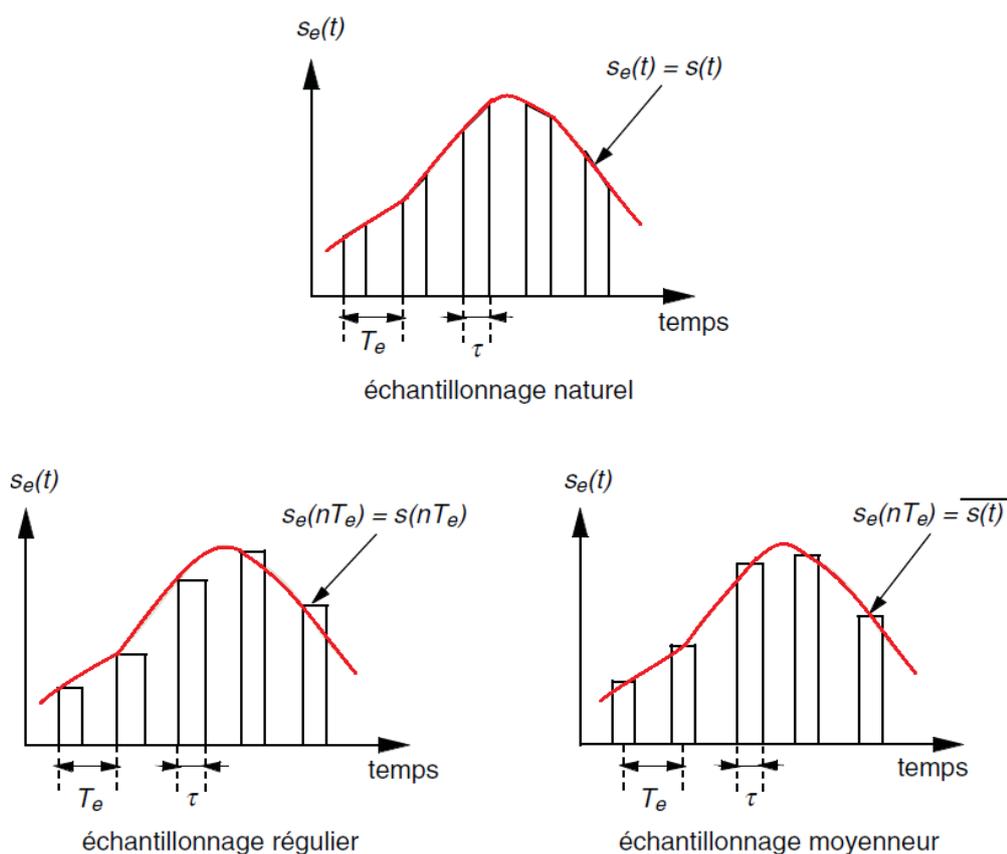
$$S_e(t) = \sum_{K=-\infty}^{+\infty} S(Kt) \cdot \delta(t - KT_e) \quad (2.2)$$

### 2.3.2.2 Echantillonnage réel

Dans la pratique, la réalisation d'une impulsion de durée quasiment nulle est impossible. Par conséquent l'échantillonnage par la multiplication par un peigne de Dirac est irréalisable. De ce fait en pratique, l'échantillonnage s'effectue par la commande d'un interrupteur à l'aide d'un train d'impulsions étroites. Il existe différents procédés d'échantillonnage réel. Le choix

dépend des moyens techniques disponibles et de la déformation tolérable lors de la restitution du signal.

- L'échantillonnage naturel : c'est le prélèvement de l'amplitude de  $s(t)$  à chaque période  $\tau$ .
- L'échantillonnage régulier : l'amplitude est constante et égale à  $s(nT_e)$  le long de la période.
- L'échantillonnage moyeneur : amplitude égale à la valeur moyenne du  $s(t)$  pendant la durée.



**Fig. 2.2 : les différentes techniques d'échantillonnage.**

### 2.3.2.3 Échantillonneur bloqueur (régulier)

L'échantillonneur bloqueur est le mode le plus souvent utilisé en pratique. Lors de l'utilisation de ce mode, la représentation numérique du signal utilisé se fera par une suite infinie de fonctions porte rectangulaire, avec une amplitude égale à celle de l'échantillon du signal.

$$S_e(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} [s(KT_e) \cdot \Pi_t(t - KT_e)] \quad (2.3)$$

Qu'on peut écrire sous la forme :

$$S_e(t) = [S(t) \cdot Pgn_{T_e}(t)] * \Pi_t(t) \quad (2.4)$$

### 2.3.2.4 Le convertisseur analogique numérique (CAN)

C'est le dispositif qui traduit des quantités analogiques, qui caractérisent la plupart des phénomènes dans le monde réel à la langue numérique utilisée par les calculateurs et les micro-ordinateurs. [8]

### 2.3.3 De numérique vers l'analogique

Une fois le système numérique a terminé la manipulation du signal, les codes numériques sont couplés avec un convertisseur numérique-analogique qui transforme ces codes à un signal analogique équivalent. Ensuite ce signal analogique sera couplé avec un conditionneur de signal qui modifie ses caractéristiques [6].

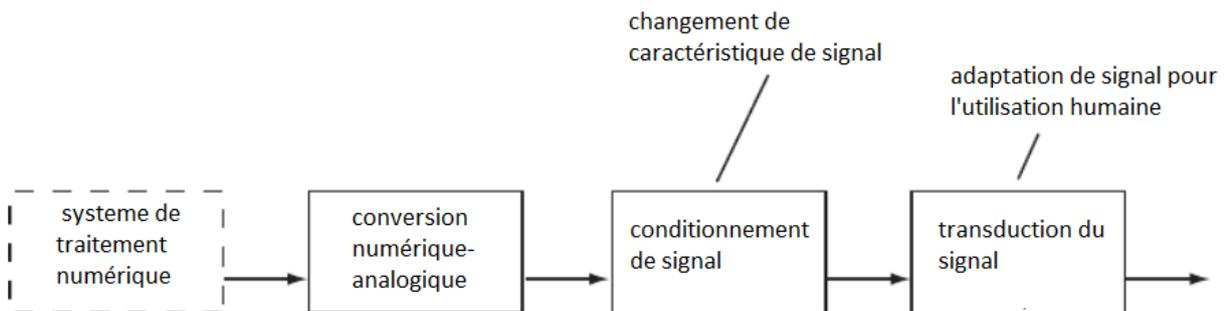


Fig. 2.3 : chemin de conversion numérique-analogique.

### 2.3.3.1 Le convertisseur numérique analogique (CNA)

C'est le dispositif responsable de la transformation d'un code binaire à une valeur analogique. Il existe plusieurs type de CNA on peut citer quelque uns :

#### 2.3.3.1.1 Le convertisseur a résistances pondérées

Le principe de fonctionnement de ce convertisseur est la sommation des courants qui passent par des résistances avec des valeurs croissantes dont le rapport est 2, chaque passage

de courant est commandé par un interrupteur qui correspond aux bits de  $a_0$  à  $a_{n-1}$ , puisque les résistances sont alimentées par la même tension  $V_{ref}$  le courant qui passe par la résistance  $2^k R$  est le double de courant qui passe par la résistance  $2^{k-1} R$ , donc chaque ligne représente le poids respectif des bits.

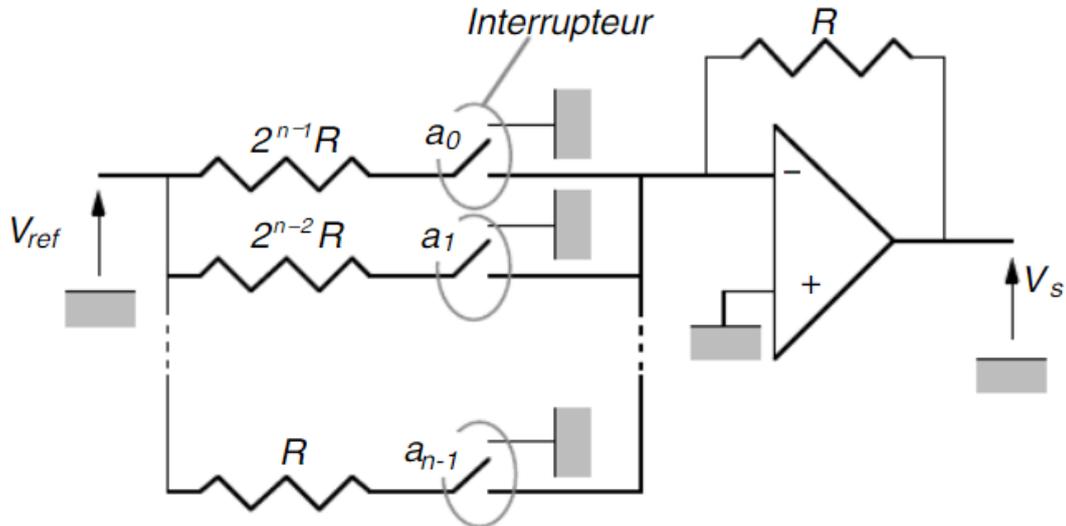


Fig. 2.4 : Convertisseur N/A à résistance pondéré.

On peut représenter la tension de sortie  $V_s$  par l'expression suivante :

$$V_s = -V_{ref} \cdot \left[ a_{n-1} + \dots + \frac{a_1}{2^{n-2}} + \frac{a_0}{2^{n-1}} \right]$$

### 2.3.3.1.2 Le convertisseur à réseau en échelle R-2R

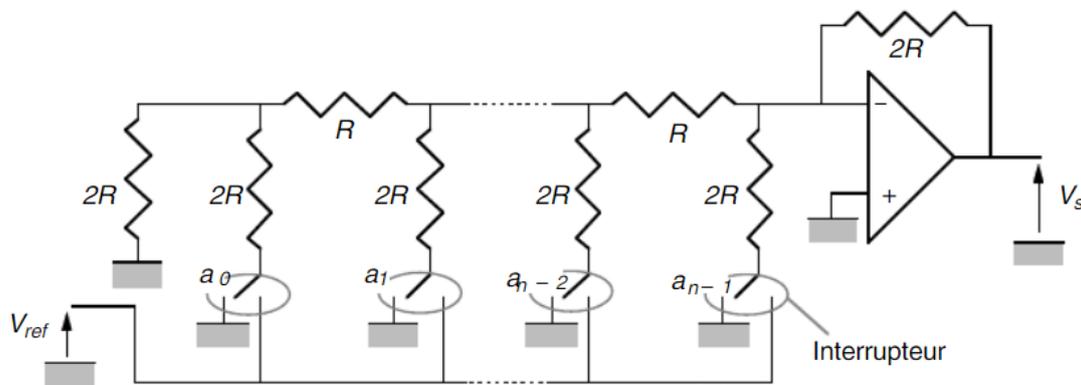


Fig. 2.5 : Convertisseur N/A à réseau en échelle R-2R.

Le calcul de la tension de sortie  $V_s$  peut être fait par le théorème de Thévenin comme suit :

On considère chaque intercepteur comme une source de tension a résistance interne nulle, la figure suivante illustre le calcul avec deux cellules successive **a** et **b**.

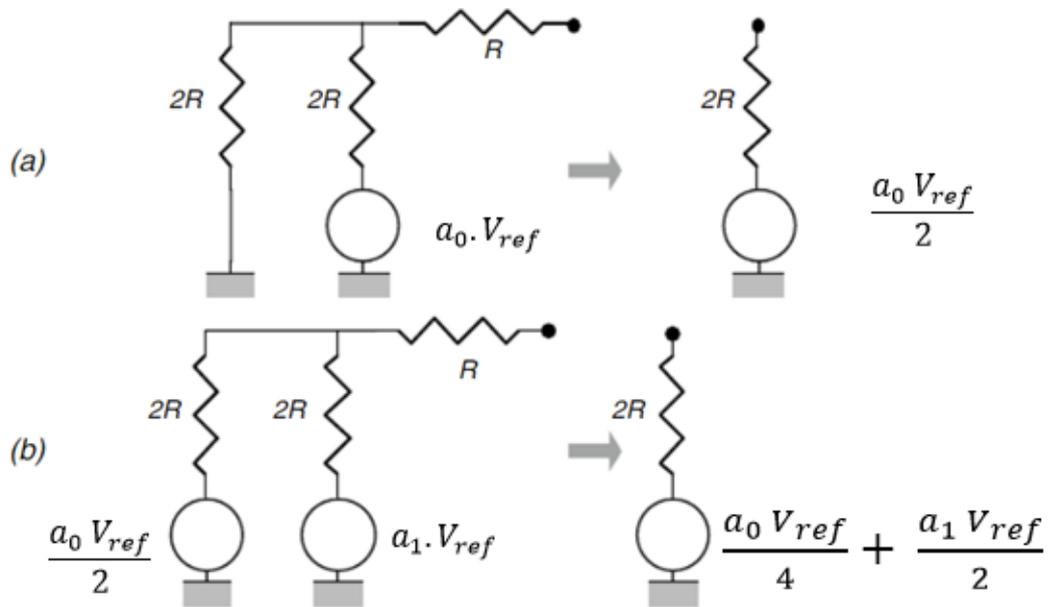


Fig. 2.6 : Schéma équivalent de thévenin.

On obtient :

$$V_s = \frac{V_{ref}}{2^{n-1}} \cdot (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0)$$

Les caractéristiques d'un CNA

- Nombre de bits ;
- Quantum de conversion  $q = \frac{-V_{ref}}{2^{n-1}}$
- La valeur maximale de la tension de sortie :  $V_{s,max} = 2 \cdot V_{ref} \cdot \left[1 - \frac{1}{2^{n-1}}\right]$  solution de convertisseur : c'est la plus petite valeur que le convertisseur peut délivrer  $r = \frac{1}{2^{n-1}}$ .

## 2.4 Acquisition des données en temps réel

Actuellement les applications d'acquisition, de traitement et de restitution des données sont faites par les micro-ordinateurs, puisque ces derniers offrent une très grande variété d'outils logiciels d'acquisition et des calculs très puissants, généralement ces logiciels sont équipés par des générateurs d'interface utilisateur graphique (**GUI en anglais**).

Pour la réalisation de l'acquisition de données une grande variété du matériel est disponible, mais le matériel le plus utilisé est la carte d'entrée/sortie numérique et/ou analogique. Cette carte peut communiquer avec les micro-ordinateurs par le bus d'extension. Pour un choix adéquat du type de carte plusieurs critères sont mis en œuvre (le nombre des pins d'entrées/sorties, la précision, la vitesse d'acquisition, etc...).

### 2.4.1 Les capteurs

La chaîne d'acquisition commence par le capteur, qui est associé à chaque mesurande. Son rôle est de traduire ce mesurande de valeur  $m$  en une grandeur électrique  $S(m)$ , fonction connue du mesurande [9].

- L'étendue de mesure : c'est la plage de valeurs de mesurandes, que le capteur peut mesurer, les limites de cette plage est déterminées par  $m_{min}$  et  $m_{max}$ .
- $E.M = m_{max} - m_{min}$  sensibilité d'un capteur  $S(m)$  : c'est le quotient de la variation de la sortie électrique par la variation correspondante du mesurande, pour une valeur de mesurande donnée.

$$S(m) = \left( \frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_m .$$

### 2.4.2 Les différents types de capteurs

Le tableau suivant représente les différents types des capteurs selon le phénomène physique à mesurer :

Phénomène physique	Capteur
<b>Position et déplacement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Potentiomètre ;</li> <li>● Capteur inductif ;</li> <li>● Capteur capacitif ;</li> <li>● Capteur optique incrémental ;</li> <li>● Télémètre ...etc.</li> </ul>
<b>Température</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Thermocouple ;</li> <li>● Détecteur résistif ;</li> <li>● Thermistance ;</li> <li>● Thermomètre à quartz ;</li> <li>● Pyromètre à infrarouge ;</li> </ul>
<b>Pression, force et son</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Jauge de contrainte (capteur extensio métrique);</li> <li>● Potentiomètre ;</li> <li>● Capteur piézo-électrique ;</li> <li>● Microphones, etc.</li> <li>●</li> </ul>
<b>Lumière</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cellule photoélectrique ;</li> <li>● Photo-élément ;</li> <li>● Surface photosensible ;</li> <li>● Camera CCD, etc.</li> </ul>
<b>Niveau et débit de fluide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capteur à flotteur ;</li> <li>● Conductimètre ;</li> <li>● Débitmètre mécanique ;</li> <li>● Débitmètre a ultra son ;</li> </ul>

*Tableau.2.1 : les diffèrent types des capteurs.*

#### 2.4.2.1 Capteur générateur de force électromotrice

Thermocouple : c'est un capteur formé de deux matériaux A et B de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures  $T_0$  et  $T_x$  est le siège d'une F.E.M. à cause de l'effet Seebeck.

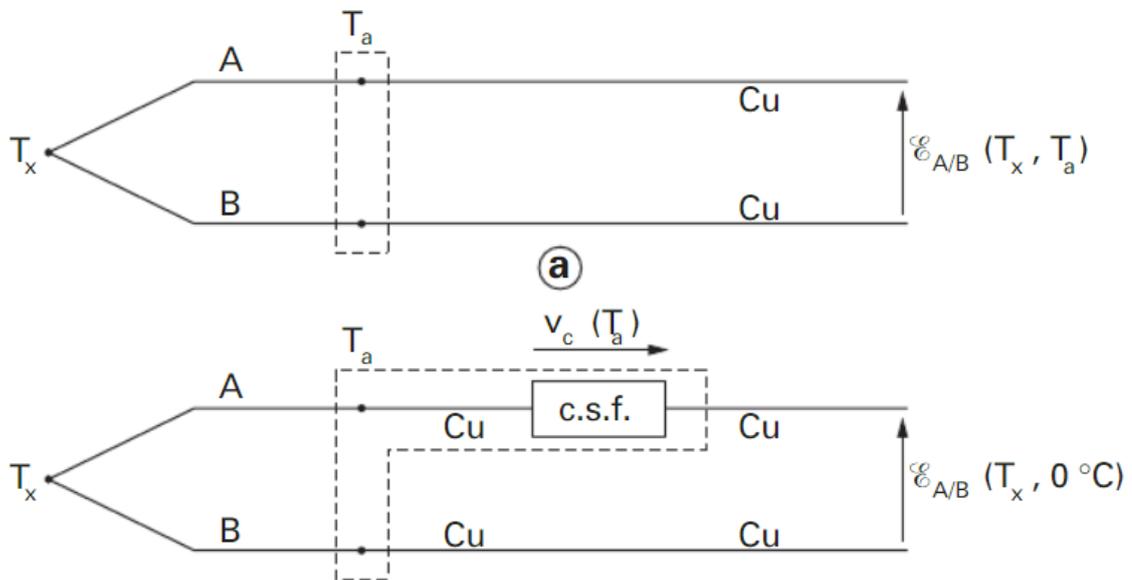


Fig. 2.7 : Montage thermocouple. [9]

#### 2.4.2.2 Capteur générateur de courant

Ce type de capteur fonctionne lorsque la grandeur physique (mesurande) provoque une génération de porteurs de charge libres dans un matériau conducteur. Par conséquent une modification concomitante du courant électrique traverse ce milieu.

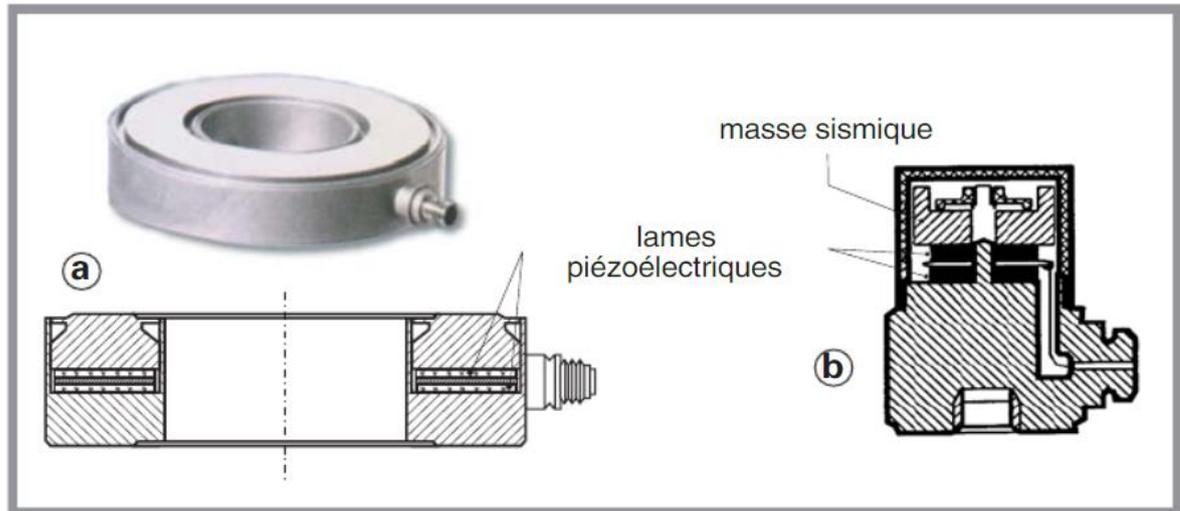
La valeur physique ou la mesurande qui engendre ce courant peut être :

- Un rayonnement nucléaire provoquant l'ionisation du milieu.
- Un rayonnement optique générant des porteurs libres par effet photoélectrique.
- Photodiode : c'est un composant semi-conducteur qui est sensible à la lumière, et grâce à cette propriété on peut l'utiliser comme un capteur de la lumière [9].

#### 2.4.2.3 Capteur générateur de charge

Ce sont des capteurs à effet piézoélectrique ou à effet pyroélectrique, qui provoque un changement au niveau de la polarisation diélectrique de certains matériaux et se traduisant par l'apparition de charges superficielles égales et de signes contraires sur les faces opposées d'une lame soumise à :

- une force, effet piézoélectrique du quartz, de certaines céramiques (PZT) ou certains polymères (PVDF);
- une variation de température : effet pyroélectrique du sulfate de tri glycine.



*Fig. 2.8 : Capteur piézoélectrique.*

#### 2.4.2.4 Capteurs résistifs

Pour la partie électrique ce type de capteur peut être considéré comme une résistance pure, variable en fonction des paramètres déterminée par l'expression suivante :

$$R = \frac{F(a, b, c)}{\sigma}$$

$F$  : fonction de la géométrie et des dimensions  $a, b$  et  $c$ .

$\sigma$  : la conductivité du matériau.

#### 2.4.3 Le conditionnement du signal

C'est la modification de certaines caractéristiques du signal, par exemple l'amplification qui augmente l'amplitude du signal, de sorte que le signal de la sortie de l'amplificateur devient en volt plutôt qu'en millivolt. D'autre part il existe des circuits de conditionnement qui servent à réduire le niveau du signal ou effectuer une sélection en fréquence (Filtrage) ou effectuer une conversion d'impédance [9].

### 2.4.3.1 Conditionneur du capteur source de courant

Pour ce type de capteur le conditionneur souvent utilisé est le convertisseur courant-tension à amplificateur opérationnel. La résistance  $R$  de bouclage, de la réaction négative engendrera une différence de potentiel quasi nulle, qui est aussi appliquée sur l'impédance  $Z_c$  du capteur (capacité  $C_c$  en parallèle sur une résistance  $R_c$ ) ainsi que, le cas échéant, à l'impédance  $Z_l$  (capacité  $C_l$ , en parallèle sur une résistance de fuite  $R_l$ ) du câble de liaison du capteur à l'amplificateur. Il en résulte qu'aucun courant ne parcourt  $Z_c$  et  $Z_l$ , tout le courant  $i(m)$  fourni par la source traverse  $R$  et détermine la tension de sortie  $v_o$  :

$$v_o = -i(m).R$$

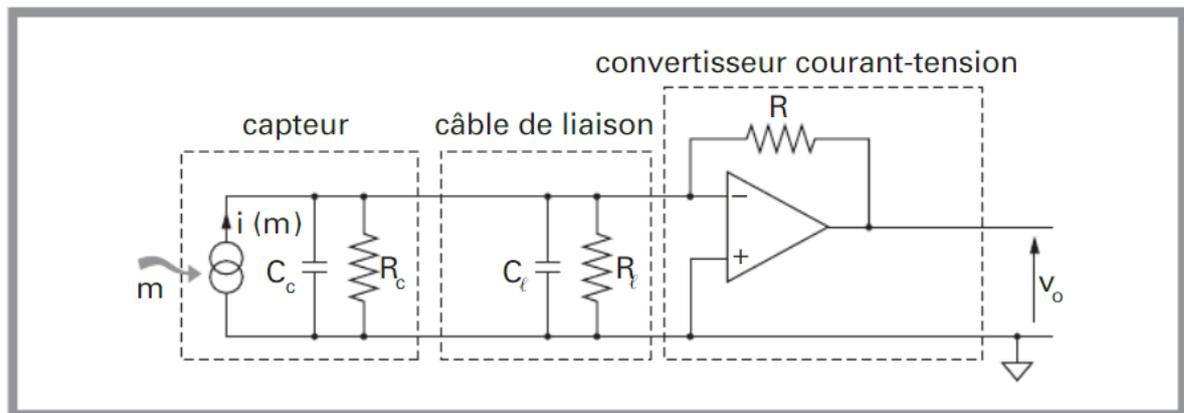


Fig. 2.9 : Convertisseur courant-tension.

### 2.4.3.2 Conditionneur du capteur source de charge

Comme pour le convertisseur courant-tension, on peut réduire l'influence de l'impédance des câbles de liaison ainsi que l'impédance interne du capteur, à l'aide d'un montage à réaction qui maintient une tension quasi nulle aux bornes de ces impédances. La figure suivante représente le convertisseur charge-tension à base d'un condensateur [9]:

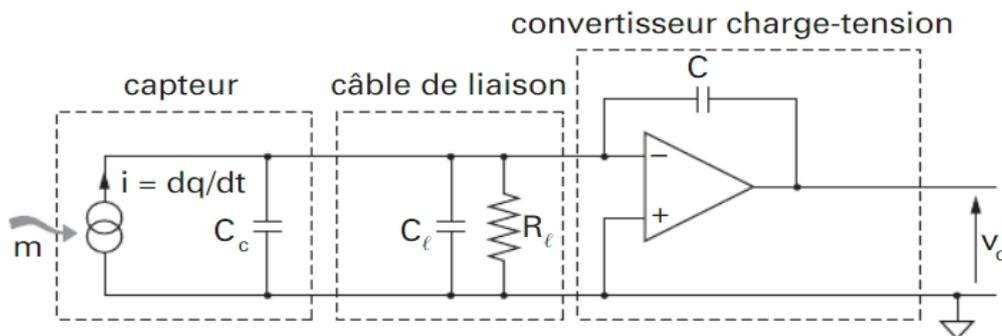


Fig. 2.10 : Convertisseur charge-tension.

On a :

$$q(t) = \int_0^t i dt = \int_0^t \frac{dq}{dt} dt .$$

La tension à la sortie de l'amplificateur est donnée par l'expression suivante :

$$v_0(t) = \frac{-q(t)}{C} .$$

## 2.4.4 Les filtres

Chaque signal de mesure qui transporte l'information est caractérisé par son spectre de fréquence, et il possède aussi un spectre utile qui est un ensemble de fréquences limité supérieurement par la fréquence haute  $F_h$ . Le rôle de filtre est d'éliminer l'ensemble de fréquence hors du spectre utile [10].

On peut écrire la fonction de transfert d'un filtre passe-bas, à l'aide de l'expression suivante :

$$G(w) = \frac{G_0}{A(w)}$$

$A(w)$ : l'atténuation en fonction de la pulsation  $w$ .

Pour les filtres polynomiaux les plus utilisés,  $A(w)$  représente un polynôme d'ordre  $k$  en même temps l'ordre de filtre. On peut représenter  $A(w)$  sous forme d'un produit de termes quadratiques si et seulement si  $k$  est paire. En posant  $p = jw$  :

$$A(p) = \left[ a_1 \left( \frac{p}{w_0} \right) + b_1 \frac{p}{w_0} + 1 \right] \dots \left[ a_j \left( \frac{p}{w_0} \right)^2 + b_j \frac{p}{w_0} + 1 \right] \quad \text{ou } j = \frac{k}{2}$$

### 2.4.4.1 Les filtres réalisables

On dit qu'un filtre est réalisable si sa réponse impulsionnelle est causale c'est-à-dire nulle pour  $t < 0$ .

Les systèmes physiques possèdent une réponse impulsionnelle quelconque  $h(t)$ , avec  $H(f)$  la fonction de transfert qui est obligatoirement complexe :

$$H(f) = |H(f)| \cdot e^{-j\varphi(f)}$$

On peut représenter le spectre  $S(f)$  de la réponse  $s(t)$  pour une entrée  $e(t)$  par l'expression suivante :

$$S(f) = E(f) \cdot H(f) = E(f) \cdot |H(f)| e^{-j\varphi(f)} \quad [10].$$

### 2.4.4.2 Les types des filtres analogiques

Ce sont des filtres fréquentiels réalisables à base des composants électroniques (résistance, inductance, capacité). Parmi les différents types des filtres on cite les deux types les plus souvent utilisés :

- Filtre passe-bas 1<sup>er</sup> ordre : ce type de filtres est géré par l'équation différentielle suivante :

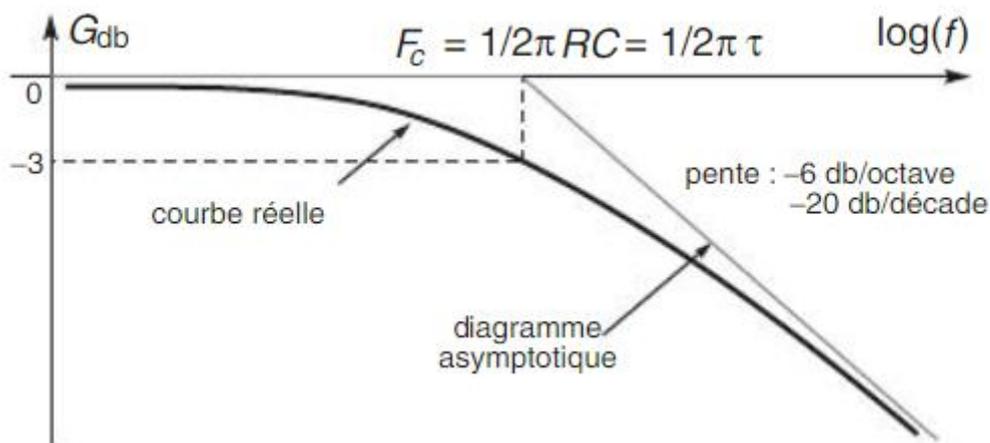
- $e(t) = R.C. \frac{ds(t)}{dt} + s(t)$

Avec :  $\tau = RC$  la constante de temps de filtre.

A partir de l'équation différentielle on peut déterminer la fonction de transfert de système, comme suit:

$$H(f) = \frac{S(f)}{E(f)} = \frac{1}{1 + j2\pi\tau f} \text{ ou } H(p) = \frac{1}{1 + \tau p} \text{ avec } \tau = RC$$

On peut étudier le comportement des filtres à l'aide de l'étude de l'évolution de la phase et du module de la fonction de transfert en fonction de la fréquence [10].



**Fig. 2.11 : Diagramme de gain d'un filtre passe-bas 1er ordre.**

D'après le diagramme de gain on peut constater que tous signal d'entrée qui a une fréquence plus que la fréquence de coupure  $F_c = \frac{1}{2\pi RC}$  sera éliminé par le filtre [10].

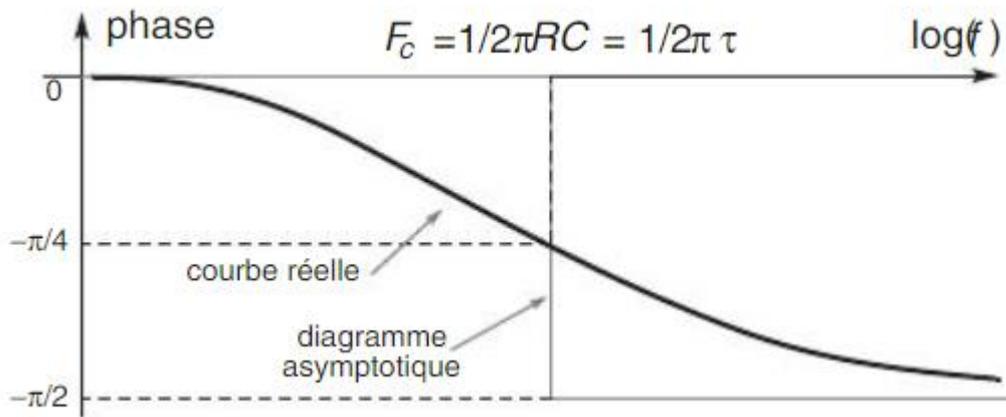


Fig. 2.12 : Diagramme de phase d'un filtre passe-bas 1er ordre.

A partir de la fréquence de coupure on aura un déphasage de  $-\frac{\pi}{2}$  de la sortie par rapport au signal d'entrée.

- Filtre passe-haut 1<sup>er</sup> ordre : comme son nom indique c'est un filtre qui ne fait passer que les signaux à haute fréquence, son équation différentielle est représentée par l'expression suivante :

$$R.C. \frac{de(t)}{dt} = R.C. \frac{ds(t)}{dt} + s(t)$$

A l'aide de la transformée de Laplace de l'équation différentielle on obtient la fonction de transfert représentée par l'expression suivante :

$$H(f) = \frac{S(f)}{E(f)} = \frac{j2\pi\tau f}{1 + j2\pi\tau f}$$

A partir de l'expression de module de la fonction de transfert on peut tracer le diagramme de l'évolution de l'amplitude en fonction de la fréquence.

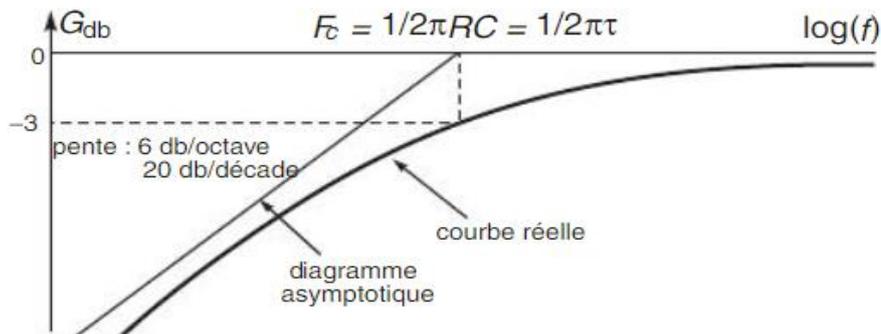


Fig. 2.13 : Diagramme de gain d'un filtre passe-haut 1er ordre.

A partir de la fréquence de coupure  $F_c$  le gain en décibel devient nul, par conséquent tous les signaux appartenant à cet intervalle de fréquence passeront en sortie de filtre sans aucune modification au niveau d'amplitude.

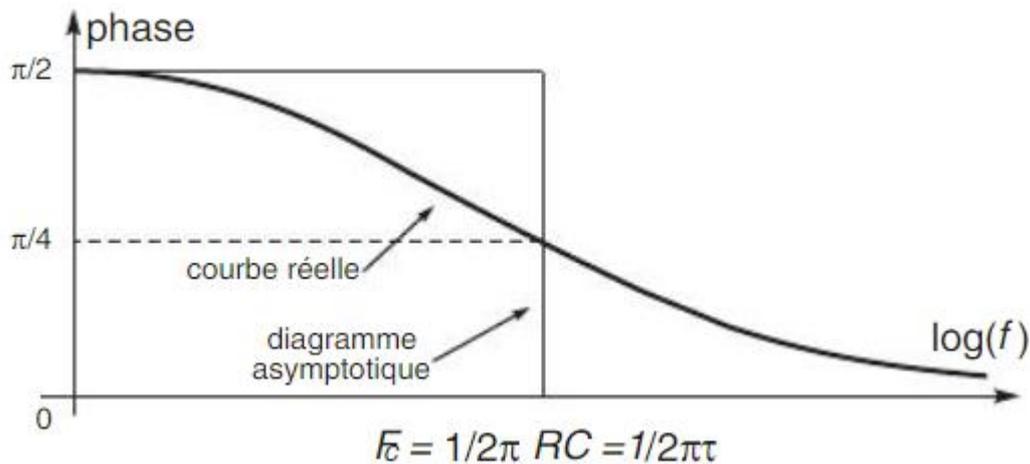


Fig. 2.14 : Diagramme de phase d'un filtre passe-haut 1er ordre.

Il existe un déphasage de  $\frac{\pi}{2}$  de la sortie par rapport à l'entrée de filtre pour les signaux à une fréquence inférieure à la fréquence de coupure  $F_c = \frac{1}{2\pi RC}$  [10].

## 2.5 La transmission numérique des données

Il existe deux différents types de la transmission numérique qui sont :

### 2.5.1 La transmission parallèle

Ce type de transmission est le plus rapide, car les huit bits d'un octet sont transmis simultanément sur huit lignes, mais le seul inconvénient pour ce type de transmission est la distance limitée, due au coût élevé de câblage de huit lignes en parallèle. Pour cela on trouve un système de transmission **GPIB (General Purpose Instrumentation Bus)** [9].

#### 2.5.1.1 La liaison GPIB

Chaque appareil de ce système peut avoir une des trois fonctions (contrôleur, émetteur, récepteur).

- **Le contrôleur** : est le responsable de la commande et la supervision des échanges (configuration des appareils, séquençement des opérations; il peut y avoir plusieurs contrôleurs mais un seul est actif à la fois; l'ordinateur est toujours un contrôleur;
- **L'émetteur** : c'est le dispositif qui envoie des messages à des destinataires, il peut être un voltmètre, ampèremètre ou un autre appareil de mesure qui envoie ses résultats par message.
- **Le récepteur** : c'est le dispositif qui reçoit les données envoyées par les autres appareils il peut être une imprimante.
- Chaque appareil peut être désigné comme un récepteur ou émetteur par le contrôleur mais il ne peut y avoir les deux fonctions [9].

La liaison entre les appareils est une liaison bus, le bus est constitué de 8 lignes reliées à la masse et 16 lignes de signal regroupés en trois groupes :

- **Ligne de données** : c'est la ligne qui sert au transfert bidirectionnelle des adresses ou des données codés en **ASCII**.
- **Les lignes de synchronisation** : il est composé de trois différentes lignes :
- **DAV (Data Valid)** : active si un octet est placé sur la ligne de données.
- **NRFD (Not Ready For Data)** : active s'il y a un récepteur qui n'est pas prêt à recevoir un message.
- **NDAC (Not Data Accepted)** : active pendant la période de transmission des données, s'il est désactivé une autre donnée peut être envoyée.
- **Les lignes de command-contrôle** : ces lignes conduisent cinq différents signaux qui sont :
- **ATN (Attention)** : ce signal est au niveau haut lorsque le contrôleur utilise les lignes de données pour envoyer une adresse ou une commande.
- **IFC (Interface Clear)** : ce signal est utilisé pour initialiser les interfaces.
- **SRQ (Service Request)** : signal utilisé par les appareils pour la demande d'intervention de contrôleur.
- **EOI (End of Identify)** : c'est un signal qui indique la fin d'un message.
- **REN (Remote Enable)** : c'est le signal qui indique la nature

- La connexion des dispositifs peut être faite en mode étoile ou guirlande [9].

## 2.5.2 La transmission série

Pour ce type de transmission tous les informations (données, commande, adresse) serrent envoyés bit par bit dans une seule ligne, donc deux fils suffisants pour réaliser ce type de transmission (la masse et le signal).

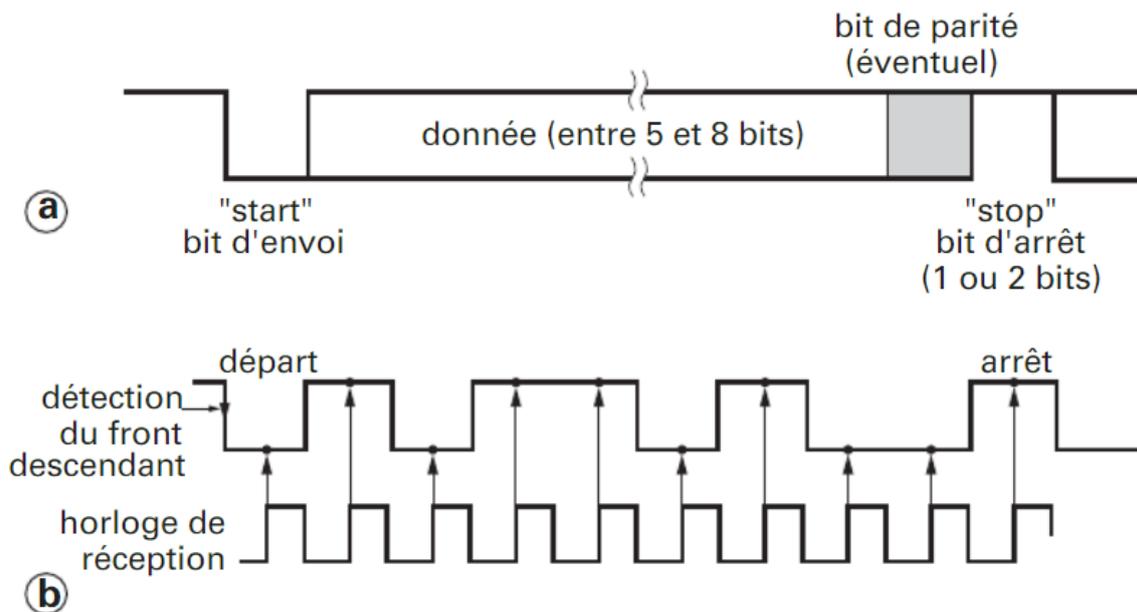
### 2.5.2.1.1 La transmission série asynchrone

La trame de données est constituée de 11 bits au maximum, 8 bits au maximum pour la donnée qui est en générale un caractère codé par le code **ASCII** et un bit parité. La trame est encadrée par un bit de START BIT ou de démarrage et deux bits d'arrêt STOP BIT [9].

Le bit de démarrage remet l'horloge de récepteur en phase avec l'horloge de l'émetteur. L'état 0 ou 1 de chacun des bits est testé à l'instant milieu du bit. Cependant l'horloge de réception n'étant pas asservie à celle de l'émission, leurs fréquences étant légèrement différentes, il se produit un glissement progressif de l'instant de test qui impose une limite au nombre de bits d'une trame. Les valeurs obtenues pour les 8 bits du caractère sont placées dans un registre à décalage qui assure la conversion série-parallèle. Le bit stop signale la fin de la transmission d'un caractère. L'intervalle de temps séparant la transmission de deux caractères peut être quelconque. Le contrôleur de liaison asynchrone est désigné comme UART, ACIA ou ACE

Il comporte [9]:

- des registres à décalage assurant les transformations parallèle-série ou série-parallèle;
- un générateur qui fournit la fréquence d'émission ou de réception par division de fréquence d'une horloge de référence;
- des circuits d'addition (à l'émission) ou de suppression (à la réception) des bits STAR et STOP;
- un contrôleur de parité de caractère
- Ce type de liaison est très simple pour la mise en œuvre, le seul inconvénient est la vitesse de transmission limitée à 19.2 kbps au maximum



*Fig. 2.15 : Trame de données pour la communication série asynchrone.*

### 2.5.2.1.2 La transmission série synchrone

La transmission synchrone est un peu compliquée, elle nécessite l'implémentation des signaux de synchronisation, ces signaux seront ajoutés depuis l'émetteur sur la trame données, ensuite seront détectés par le récepteur, pour mettre l'horloge de ce dernier en verrouillage avec l'horloge de l'émetteur. Grâce à ce synchronisme on peut envoyer des trames longues qui peuvent atteindre  $10^3$  caractères, avec une vitesse de transmission élevée jusqu'au 500 kbps. Il existe deux grands types de protocoles pour la transmission synchrone :

Les protocoles BCP : pour ce protocole chaque champ est constitué de caractères ayant une signification définie.

Les protocoles BOP : c'est le protocole où chaque bit de la trame est capable d'être un porteur d'une information spécifique [9].

## Conclusion

D'après ce qu'on a vu dans ce chapitre, on peut déduire qu'il existe plusieurs techniques pour traiter l'information au but d'améliorer la qualité de la transmission. Ce chapitre a été consacré à la description des différents composants constituant la chaîne d'acquisition des données, ainsi que la mise en œuvre des différentes équations et modèles mathématiques utilisés en traitement du signal. Enfin on peut conclure que la chaîne d'acquisition du capteur à l'ordinateur nécessite un traitement intensif de l'information pour avoir de bons résultats.

# Chapitre 3

## Description de prototype et ses composants

Le prototype électro-solaire utilisé est réalisé par l'IUT de chartres, le présent chapitre est dédié à la description détaillé avec l'analyse des différents composants de ce prototype.

### 1.1 Le prototype électro-solaire

Le prototype sur lequel on a travaillé sur a été réalisé par l'IUT de chartres. Ce prototype est constitué de deux grandes parties:

- **La partie puissance** : c'est la partie qui contient la batterie, MPPT, moteur électrique, les panneaux solaires.
- **La partie télémétrie** : (faible puissance): c'est la partie de traitement et envoi des données, cette partie contient la MYRIO, le module RF et les cartes électronique développé.



*Fig. 3.1 : le prototype réalisé.*

Les caractéristiques principales de ce prototype sont résumées dans le tableau suivant :

Vitesse maximale	50 KM/H
Capacité de la batterie	500 Wh. LiFePO4
Dimension	Hauteur : 1.5 m. Largeur : 1.5 m. Longueur : 5 m.
Puissance moteur	Deux moteur <b>BRUSHLESS</b> 500 Watts

*Tableau 3.1 : Caractéristiques de prototype.*

## 3.2 Description détaillée des différents composants

### 3.2.1 La batterie

Le panneau solaire fournit une puissance électrique variable en fonction de l'heure, de la journée, de la saison et des conditions météorologiques. Cette énergie électrique sera injectée dans le réseau, et à cause de la variation du puissance qui n'est pas ajustée à la demande (la consommation), il est nécessaire d'utiliser un dispositif de stockage d'énergie pour assurer l'adéquation entre l'offre et la demande.

La batterie utilisée dans notre prototype est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques placés en série. L'accumulateur électrochimique délivre l'énergie électrique à partir d'une réaction chimique interne. La réaction chimique interne est une réaction d'oxydoréduction basée sur deux grands axes :

- L'oxydation c'est la réaction ou il y a une perte d'électron.



- La réduction est la réaction ou l'espèce gagne un ou plusieurs électrons



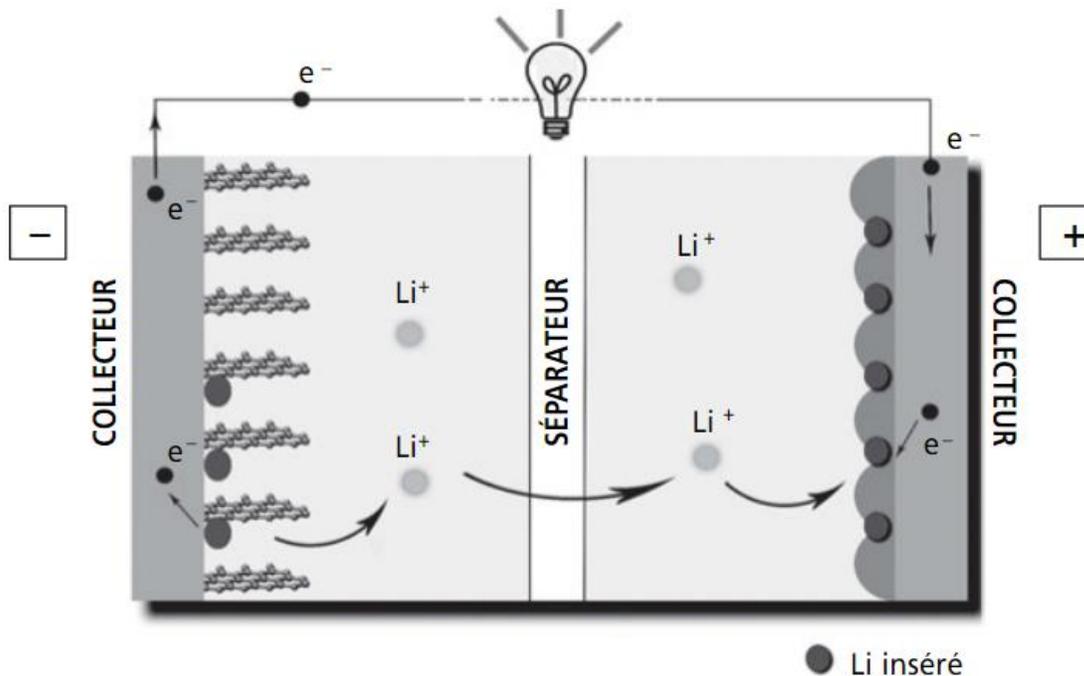


Fig. 3.2 : schéma d'une pile à lithium-ion (phase de décharge).

### 3.2.1.1 Les caractéristiques d'une batterie

On peut caractériser une pile ou batterie par :

- La tension nominale : c'est le voltage aux bornes de la batterie lorsqu'elle est à 50% de sa charge maximale.
- La tension à vide : c'est la tension aux bornes de la batterie seule sans charge branché.
- La tension de fin de décharge : c'est la tension qui caractérise le point de déchargement totale de la batterie.
- La résistance interne : elle est due au matériel interne ainsi que la réaction chimique interne.
- La capacité nominale : c'est la charge électrique maximale que la batterie peut stocker.
- Etat de charge : c'est une expression qui détermine l'état de charge dans un moment donné.
- Le taux C : c'est une valeur qui sert à déterminer le temps nécessaire pour la charge et le décharge d'une batterie.

### 3.2.1.2 La batterie utilisée pour le prototype

Pour la liaison des cellules de la batterie on a choisi la liaison en série dans le but d'augmenter la tension globale de la batterie. Pour notre prototype nous avons une batterie constituée de 16 cellules de 3.3 V et de capacité de 10 Ah, par conséquent on a une tension globale de 52.8V et une capacité globale de 10 Ah.



*Fig. 3.3 : La mise en série de 16 cellules LiFePO4 38120S.*

### 3.2.1.3 Les avantages et les inconvénients de la batterie LIFP

#### Les avantages :

- 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 sûre : 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].

**Les inconvénients :**

- Prix élevé, car la technologie est complexe.
- Chargeur spéciale ou compatible.
- Besoin d'un BMS (Battery Management System).

**1.2.1.4 Les spécifications de la batterie LIFP**

<b>Spécification</b>	
Tension nominale	3.2 V
Capacité nominale	10000 mAh
poids (Approximatif)	330g
Dimension (Diamètre * Hauteur)	38±1mm * 132 ± 1mm
<b>Décharge standard</b>	
Max. Courant Continu	3C (30A)
Max. 5 sec. Impulsion	100A (10C)
Tension fin de décharge	2.5 V
<b>Charge standard</b>	
Tension de charge	3.65 V±0.05 V
Temps de charge	45 min
<b>Résistance et taux</b>	
Résistance interne	≤6mΩ
taux d'auto-décharge	≤5% par Mois

*Tableau 3.2 : Spécifications de la batterie LIFP***1.2.2 Le BMS**

C'est un outil de surveillance des cellules de la batterie dans les deux phases charge et décharge, son rôle est d'assurer la sécurité de la batterie ainsi qu'un fonctionnement optimale.

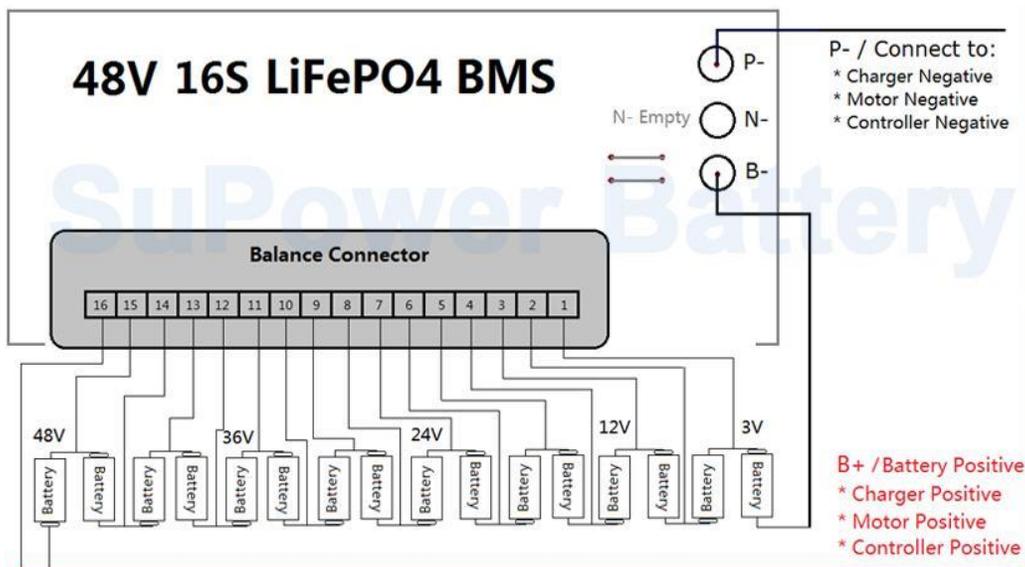


Fig. 3.4 : Schéma de connexion un BMS a une batterie 48V.

Pour avoir un fonctionnement optimale d'une batterie qui se compose d'une série des cellules, il est nécessaire d'ajuster la tension de chaque cellule avec la tension des autres cellules, et c'est ça la fonction principale du BMS (l'équilibrage).

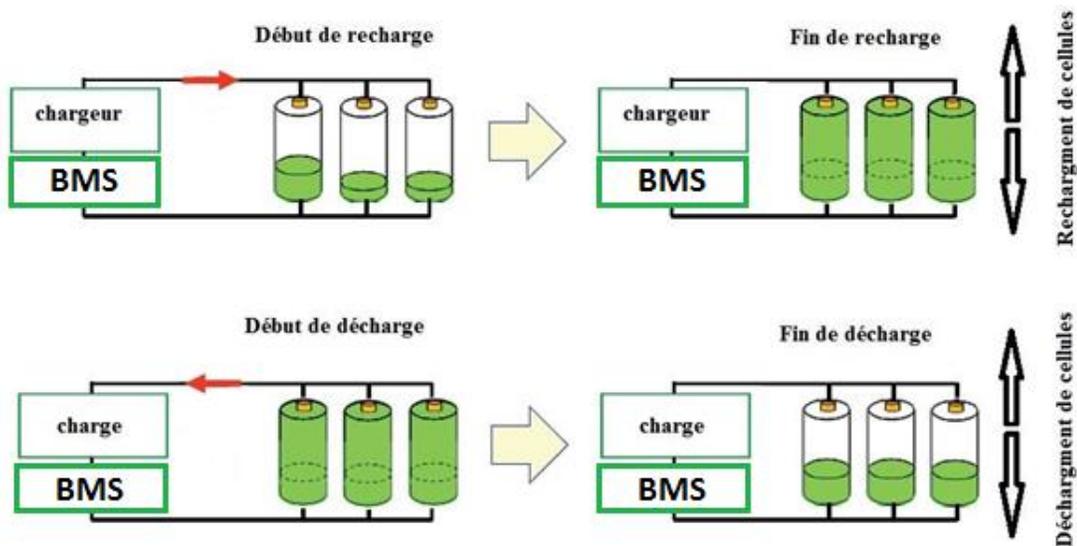


Fig. 3.5 : illustration de fonctionnement du BMS.

Pour notre prototype on a couplé le BMS avec la batterie pour la protéger contre la sous-tension et la surtension. En revanche si une cellule LFP atteint une tension moins de 2.5V sera

endommagée. La figure suivante illustre la variation de tension de la cellule en fonction de sa capacité :

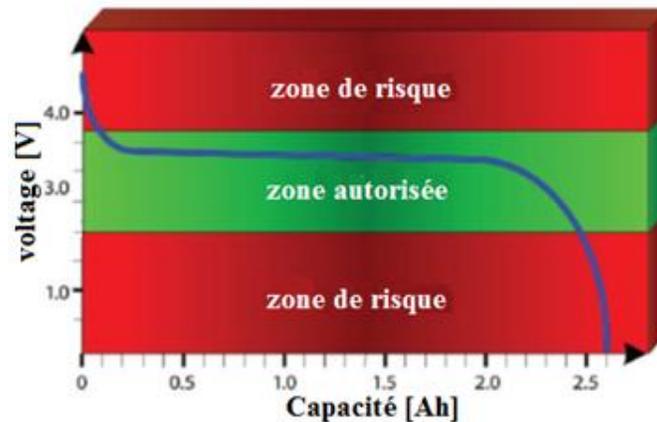


Fig. 3.6 : zone de fonctionnalité du BMS.

### 3.2.3 Le moteur utilisé dans le prototype

#### 3.2.3.1 Les moteurs synchrones autopilotés

Le principe de fonctionnement est basé sur la localisation à chaque instant de la position du rotor à l'aide d'un capteur résolveur, par la suite cette information sera envoyée vers un convertisseur électronique de fréquence qui alimente le stator, dans le but de rétablir l'équilibre entre la vitesse de rotation de rotor et le champ tournant (synchronisme), ainsi que pour atteindre un déphasage de  $90^\circ$  ou le couple électromagnétique est maximal.

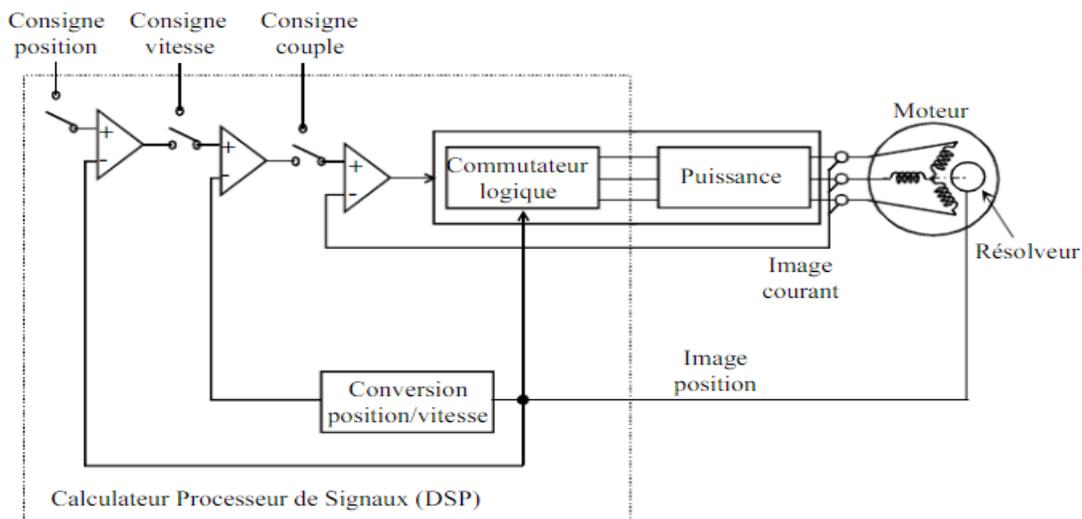
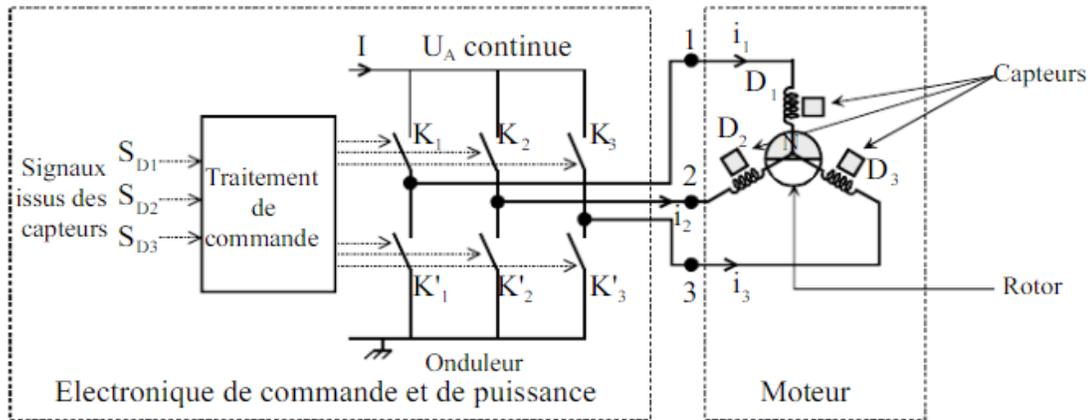


Fig. 3.7 : principe de moteur autopiloté synchrone.

### 3.2.3.2 Moteur BRUSHLESS

Ce moteur est considéré comme un moteur autopiloté synchrone, avec un aimant permanent au niveau de rotor, et une alimentation de bobinage statorique en courant alternatif avec une fréquence variable en fonction de la position du rotor détecté.



*Fig. 3.8 : description du principe de moteur BRUSHLESS.*

Le moteur utilisé possède une puissance nominale 500 Watts. La figure suivante montre une image de ce dernier :



*Fig. 3.9 : photo réelle de moteur installé dans le prototype.*

### 3.2.3.3 Le cycle analyste

Le Cycle Analyste est un dispositif de stockage compact conçu pour prendre le flux de sortie de données d'un analyseur de cycle et l'enregistrer sur une carte mémoire flash microSD, permettant une analyse des données de consommation et de performance d'un véhicule électrique. Comme il a une sortie TX pour la récupération des données par le protocole UART.

On l'a utilisé comme un tableau de bord qui affiche la vitesse de déplacement, l'énergie consommée, la tension de la batterie, la puissance de consommation...etc. Les grandeurs affichées sont illustrées par la figure suivante :



*Fig. 3.10 : afficheur de cycle analyste.*

### 3.2.3.4 Le contrôleur de moteur

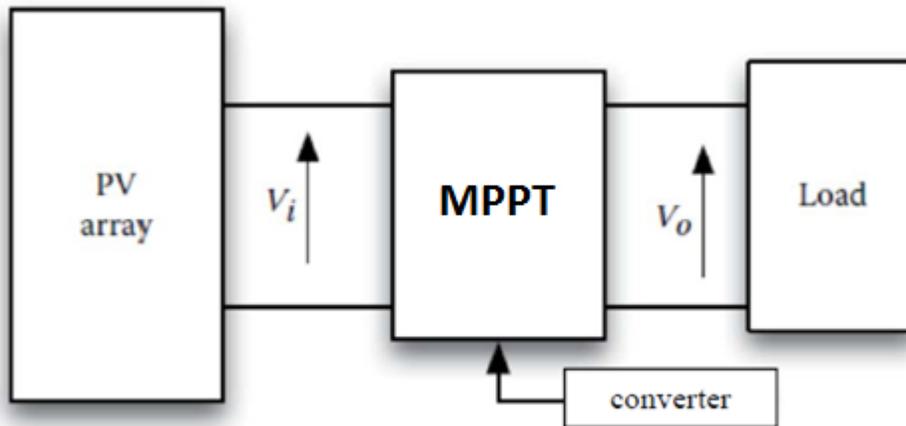
Le contrôle de la vitesse du moteur se fait par un contrôleur spécial pour les moteurs brushless. C'est un dispositif électronique qui sert à modifier le rapport cyclique de la commande PWM, par la variation du coefficient Kv. Dans but de commander la vitesse de rotation de moteur, le contrôleur a la possibilité aussi de récupérer l'énergie vers la batterie pendant la phase de freinage. Le contrôleur est présenté par la figure suivante :



*Fig. 3.11 : contrôleur moteur.*

### 1.2.4 MPPT (Maximum Power Point Tracker)

Le MPPT est un dispositif indispensable dans l'installation solaire photovoltaïque, Ce dispositif de Maximum Point Power Tracking recherche le point de puissance maximale de panneau solaire en modifiant la tension et l'intensité de ce dernier selon l'état de charge de la batterie.



*Fig. 3.12 : branchement d'un MPPT dans une installation photovoltaïque.*

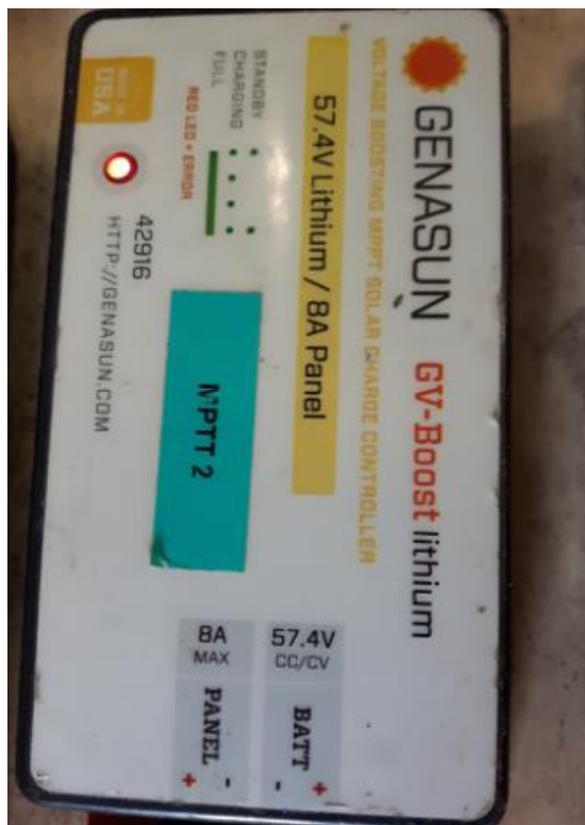
En théorie, la plupart des générateurs photovoltaïques sont conçus pour la production de courant électrique sous une tension de 12 Volts, mais en réalité la tension peut varier entre 16 Volts et 36 Volts. D'une manière générale les batteries fonctionnent sous une tension nominale de 12 Volts théoriquement, en réalité c'est entre 10.5 Volts et 12.7 Volts ça dépend de son état de charge. Pour pouvoir charger la batterie complètement il faut une tension entre 13.2 Volts et 14.2 Volts, ces valeurs sont sensiblement différentes des valeurs nominales produites par la plupart des panneaux solaires photovoltaïques. Par exemple on suppose qu'on a un panneau solaire caractérisé par une puissance de production de 120 Watts ayant un courant de 7.1 Ampères sous une tension de 16.9 Volts, par un simple calcul on trouve la puissance délivrée  $P = U \times I = 7.1 \times 16.9 = 120 \text{ Watts}$ . D'une autre part la batterie se charge sous une tension de 12 Volts, si on calcule la puissance absorbée on trouve  $P = 7.1 \times 12 = 85$ . Par conséquent on trouve qu'il y a 35 Watts qui ne sont pas produits, puisque le panneau et la batterie ne sont pas calés de façon intelligente ou optimale.

Dans notre prototype, on a utilisé le MPPT GENASUN : 57.4 Volts Lithium / 8A Panel dont les caractéristiques sont données par le tableau suivant :

Tension nominale de la batterie	48 Voltes 16S LiFePo4
Voltage maximum des panneaux	48 Voltes
La puissance maximale recommandée pour panneaux	350 Watts
Efficacité électrique	99%-99% typicale
Consommation en mode nuit	50 mA
Efficacité de poursuite	99+%
Vitesse de poursuit	15 Hz

**Tableau. 3.3 : caractéristiques de MPPT.**

La figure suivante montre le MPPT utilisé :



**Fig. 3.13 : Photo réel de MPPT installé dans le prototype.**

Pour le branchement des MPPT on a lié chaque paire des panneaux en série puis on a lié les MPPTs en parallèle. La figure suivante présente l'installation photovoltaïque dans le prototype:

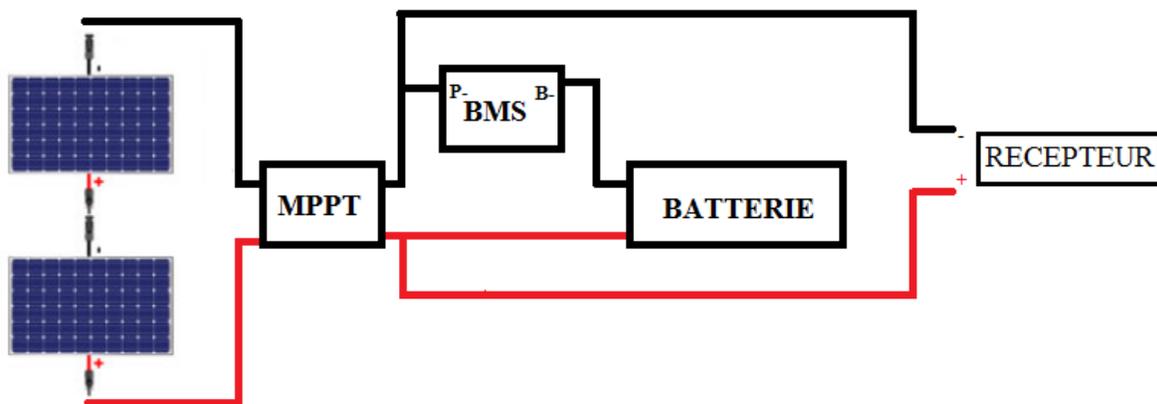


Fig. 3.14 : Schéma d'installation de MPPT dans le prototype.

### 1.2.5 Les panneaux photovoltaïques

Un module photovoltaïque est constitué à partir des cellules solaire encapsulées sous verre, et qui sont associées entre eux en série et en parallèle. Puis ces modules seront interconnectés pour obtenir une unité produisant une puissance électrique continue ce qu'on appelle les générateurs PV.

Les générateurs PV disponible dans le marché sont généralement constitué par des sous-réseau des cellules connecté en série, les cellules PV dans les sous-réseaux sont aussi connecté en série entre eux même.

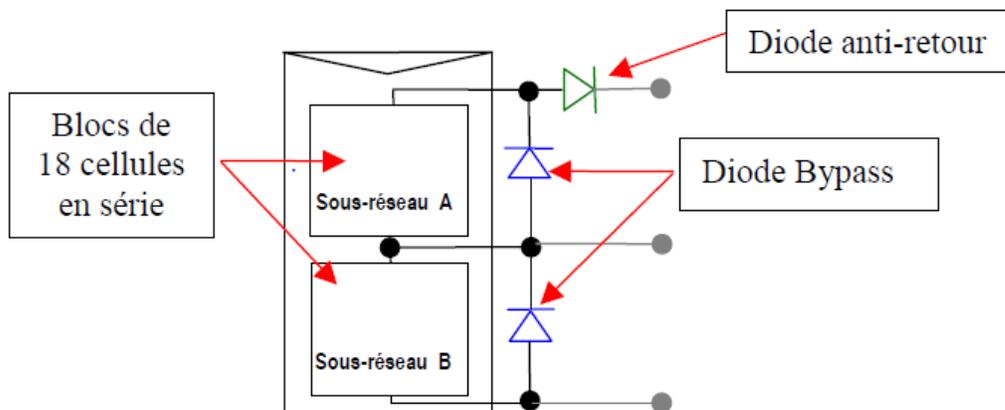


Fig. 3.15 : Interconnexion de sous-réseau.

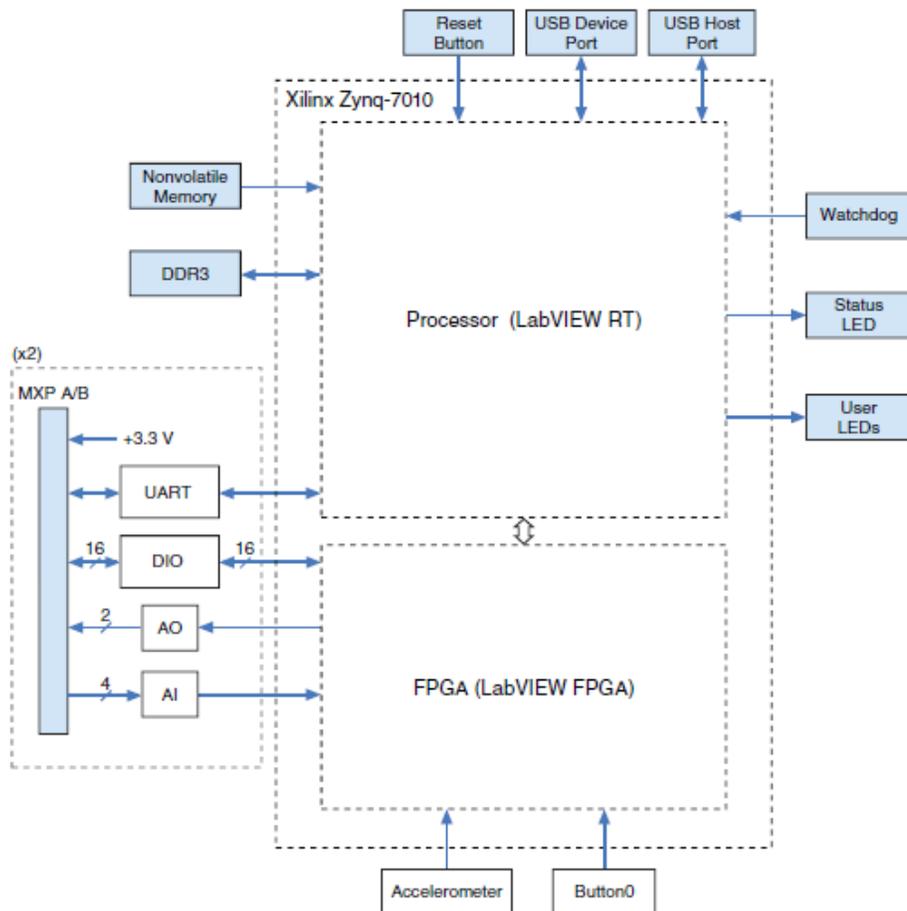
Pour les panneaux utilisé dans notre prototype, ce sont les panneaux monocristalline grâce à son rendement élevé ce type des panneaux répond bien à nos besoin, ses caractéristiques sont présenté par le tableau suivant:

Puissance nominale	100 Watts
Rendement	20%
Voltage MPP	18 Volts
Intensité MPP	5.55 Ampères
Tension max	1000VDC
Température d'utilisation	-40 °C à +80 °C

*Tableau. 3.4 : Caractéristiques panneau solaire.*

### 3.2.6 MYRIO

Le myRIO-1950 de National Instruments est un périphérique d'E / S reconfigurable intégré, il comporte des entrées analogiques (AI), des sorties analogiques (AO), des entrées et des sorties numériques (DIO). La figure suivante montre la disposition et les fonctions des composants du MYRIO :



*Fig. 3.16 : disposition de fonction des composants de MYRIO.*



### 3.2.7 Le module radio fréquence TRF click

Ce module est utilisé pour la communication sans fil des données. Il est équipé par le protocole Listen-Before-Talk, pour éviter le chevauchement des données pendant l'envoi sans fil. La configuration de ce module se fait par le protocole UART. La figure suivante représente ce module.



*Fig. 3.18: Module RF TRF click.*

Les caractéristiques de ce module sont présentées dans le tableau suivant:

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

*Tableau. 3.6 : Spécifications module RF.*

## Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la description détaillée du prototype électro solaire et de ses composants. On a vu aussi dans ce chapitre que le prototype réalisé est constitué de deux parties principales qui sont la télémétrie et la partie puissance.

Dans le chapitre suivant on s'intéressera à la description de chaque dispositif réalisé, ainsi que l'explication du code LABVIEW développé.

# Chapitre 4

## Réalisation et mise en point des améliorations

Dans le but d'élargir la zone de couverture, on a utilisé la radio fréquence comme porteur physique de l'information. Grâce à la radio fréquence on peut observer l'état de notre véhicule en temps réel quel que soit l'emplacement du véhicule dans le circuit de la course.

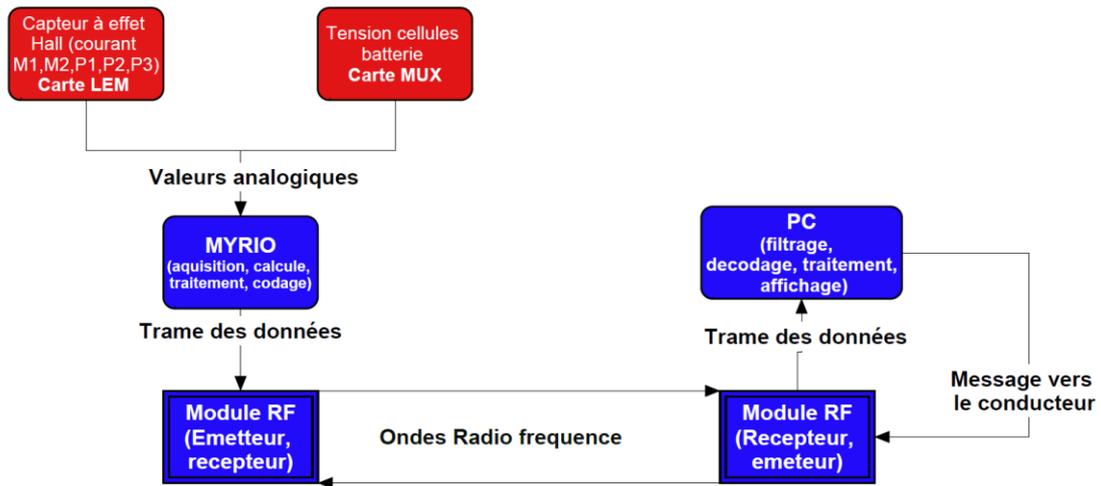
D'une autre part, pour assurer un bon fonctionnement de la batterie, on a réalisé un système permettant d'observer l'état de la batterie d'une manière plus précise et plus détaillée (cellule par cellule).

Pour la partie des calculs on a développé un programme qui sert à calculer les différentes grandeurs (l'énergie consommée, l'énergie produite, la moyenne de consommation WH/KM, etc) du véhicule.

Pour la partie des mesures on a construit une carte comportant des capteurs de courant à effet hall et des filtres, cette carte mesure les courants des différents panneaux solaires et les courants des deux moteurs.

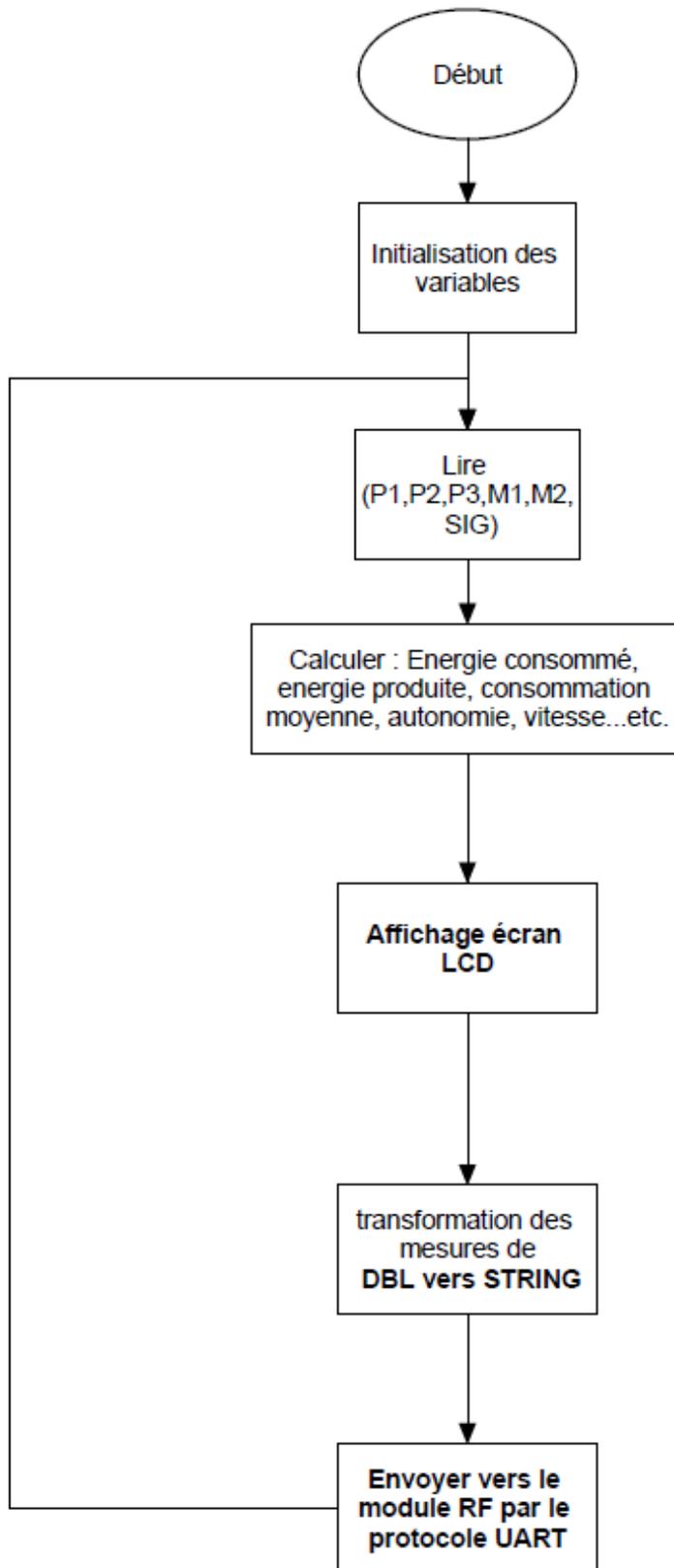
### 4.1. La télémétrie

La télémétrie est la mesure à distance, le rôle du système de télémétrie est la supervision, à distance, de l'état du véhicule ou d'un autre système en continu et en temps réel. Dans notre projet on a développé un système de télémétrie qui nous permet d'observer en temps réel l'état de notre prototype électro-solaire. Le principe de fonctionnement du système de télémétrie est représenté par le schéma bloc suivant :



*Fig. 4.1 Schéma bloc du système de télémétrie*

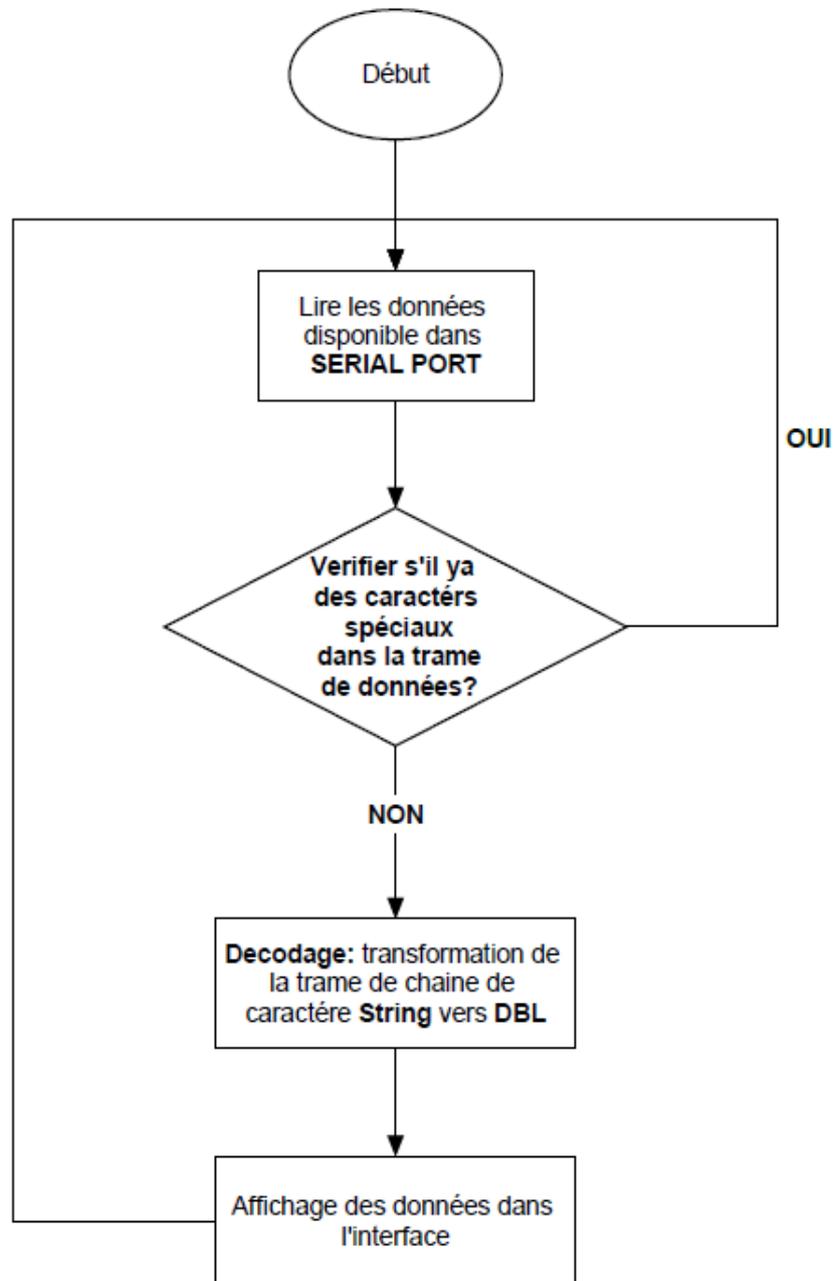
L'organigramme suivant est une description du programme installé dans la MYRIO responsable de la mesure et l'émission des données.



*Fig. 4.2 Organigramme de l'émission des données*

M1,M2,P1,P2,P3 : sont les courants de moteur 1, moteur 2, panneau 1, panneau 2 et panneau 3 respectivement.

Le programme de réception, installé dans le PC, peut être représenté par l'organigramme suivant:



*Fig. 4.3 Organigramme de la réception des données*

On distingue quatre différents sous-systèmes qui constituent notre télémétrie:

#### 4.1.1. Système d'observation de la batterie

Pour l'observation de la tension aux bornes de chaque cellule on a construit un système comportant deux parties différentes :

##### 4.1.1.1 La partie hardware

La partie hardware comporte une carte électronique qui contenant des filtres pass-bas connectés à un multiplexeur 16-1. Des fusibles sont utilisés pour des mesures de sécurité en cas de passage de courants forts dus à l'augmentation de la résistance des cellules. La tension à la sortie SIG varie en fonction du code binaire appliqué aux entrées (S0,S1,S2,S3). La figure suivante représente la carte réalisée et le schéma électrique de cette carte.



*Fig.4.4 : Système d'observation.*

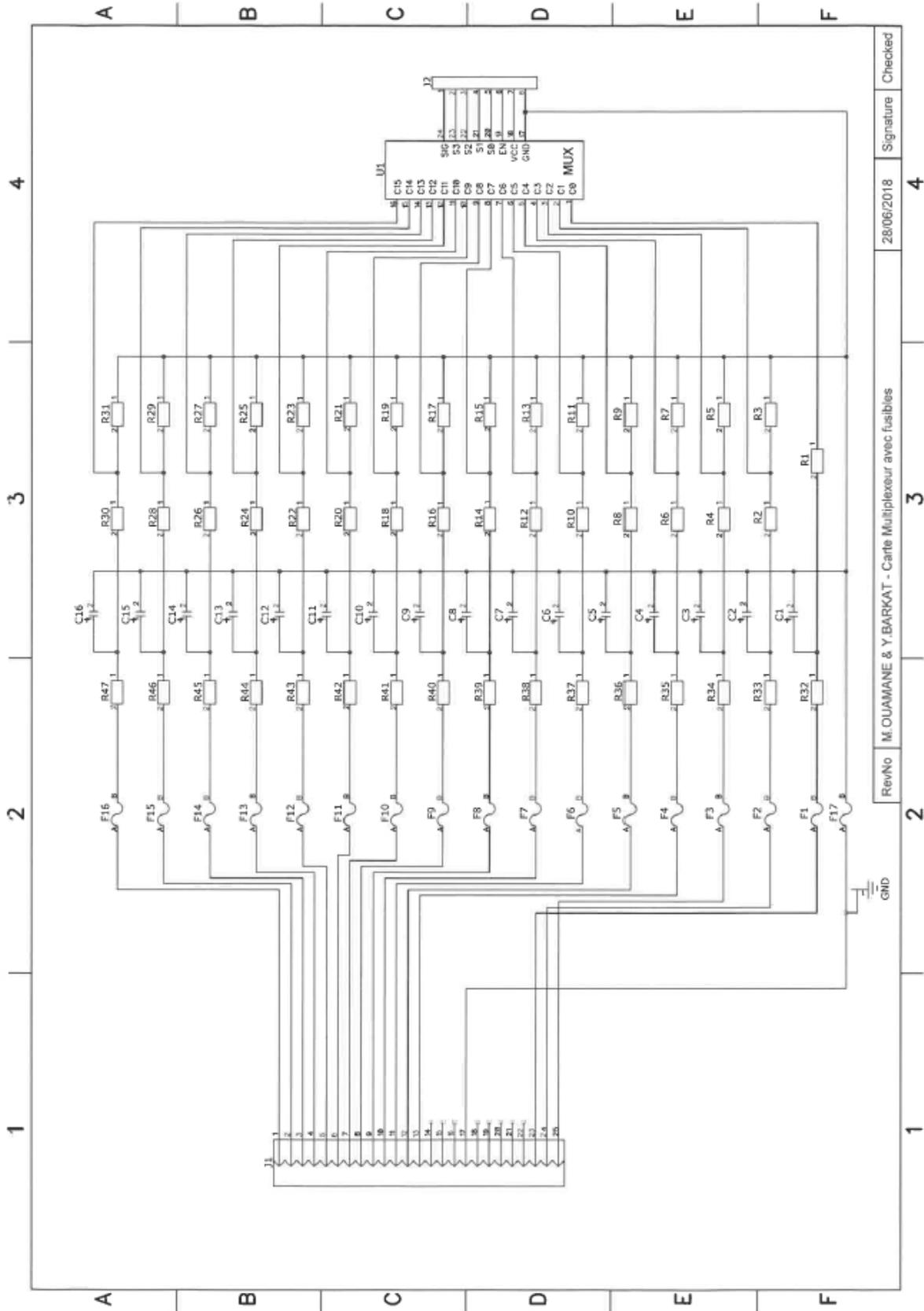


Fig. 4.4 La carte électronique et son schéma électrique

Les filtres pass-bas sont utilisés pour éliminer les parasites dus à la charge et la décharge de la batterie.

#### 4.1.1.2 La partie software :

L'idée du programme est de faire un balayage de prélèvement de la tension de chaque cellule à l'aide du multiplexeur.

La cellule qu'on veut mesurer la tension est sélectionnée par un code binaire de quatre bits. Par la suite on lit la valeur analogique présentée dans la sortie de multiplexeur. La fréquence de balayage des cellules la batterie est 1 Hz (un balayage chaque 1s).

La figure suivante représente la partie du programme LABVIEW responsable de cette opération.

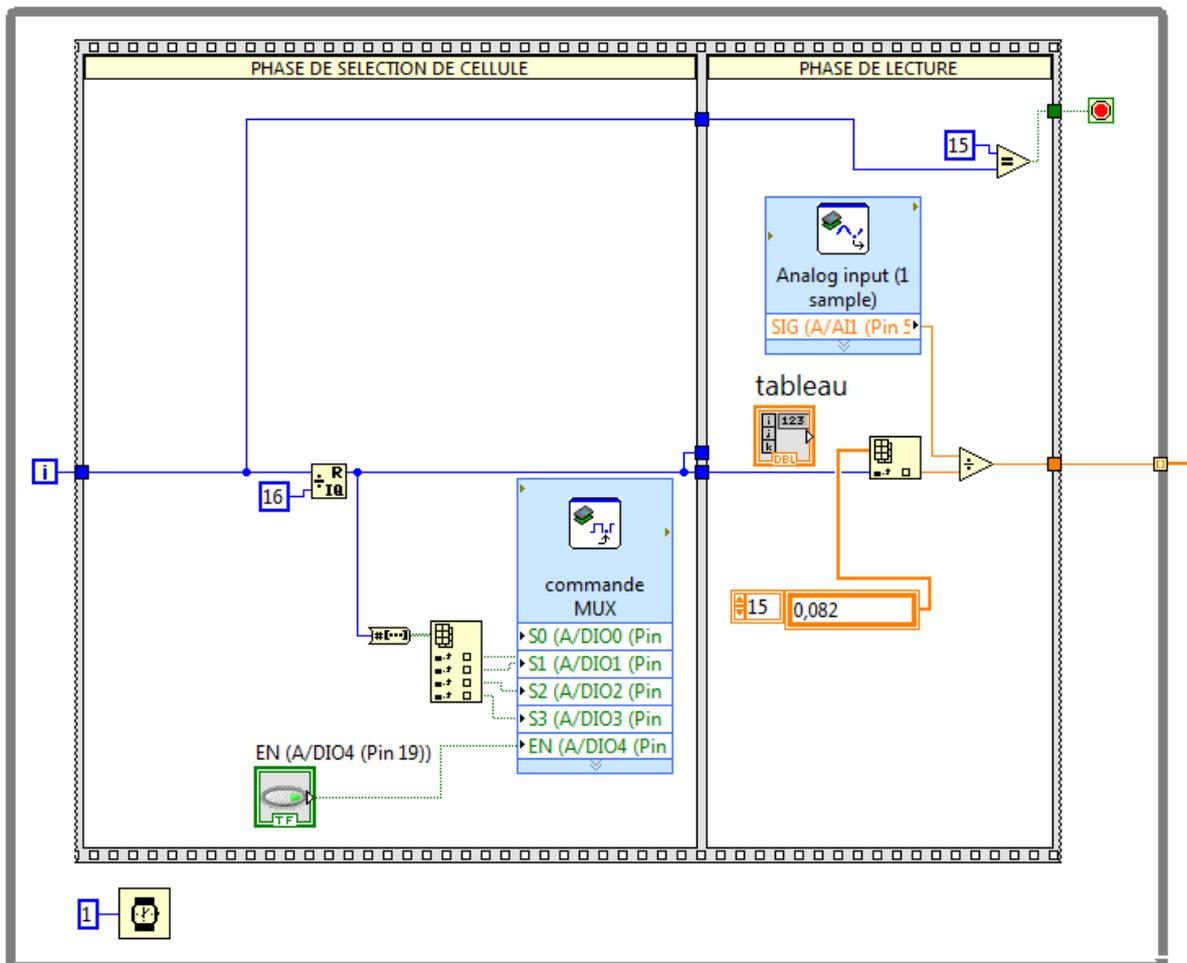
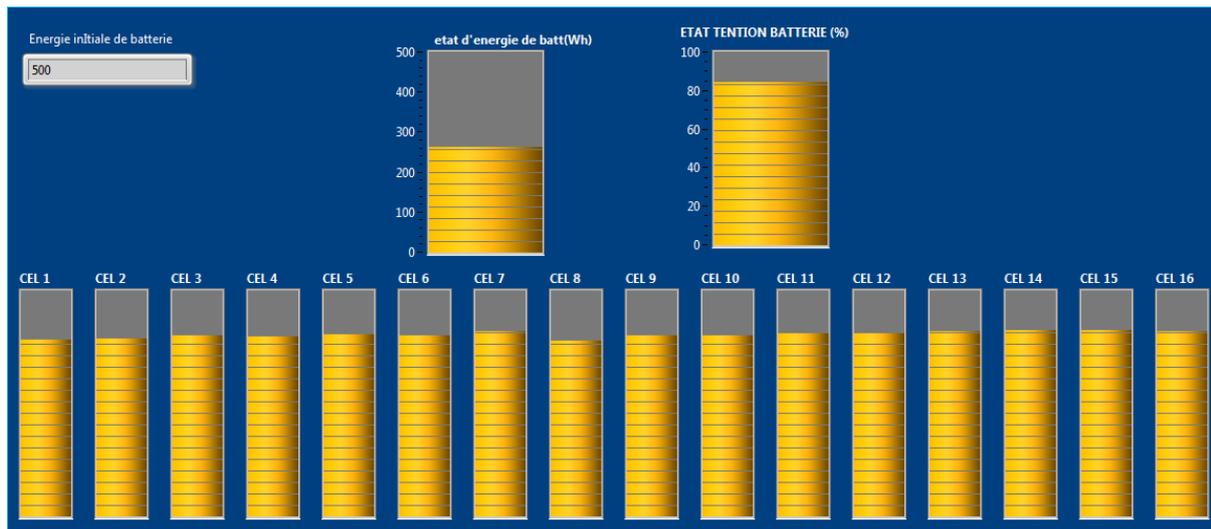


Fig. 4.5 Le programme LABVIEW d'acquisition des données

Dès que toutes les mesures des tensions des cellules sont reçues, elles sont affichées dans l'interface graphique représentée par la figure suivante.



*Fig. 4.6 Interface graphique de visualisation des états des cellules et de la batterie*

## 4.1.2 Système de transmission des données

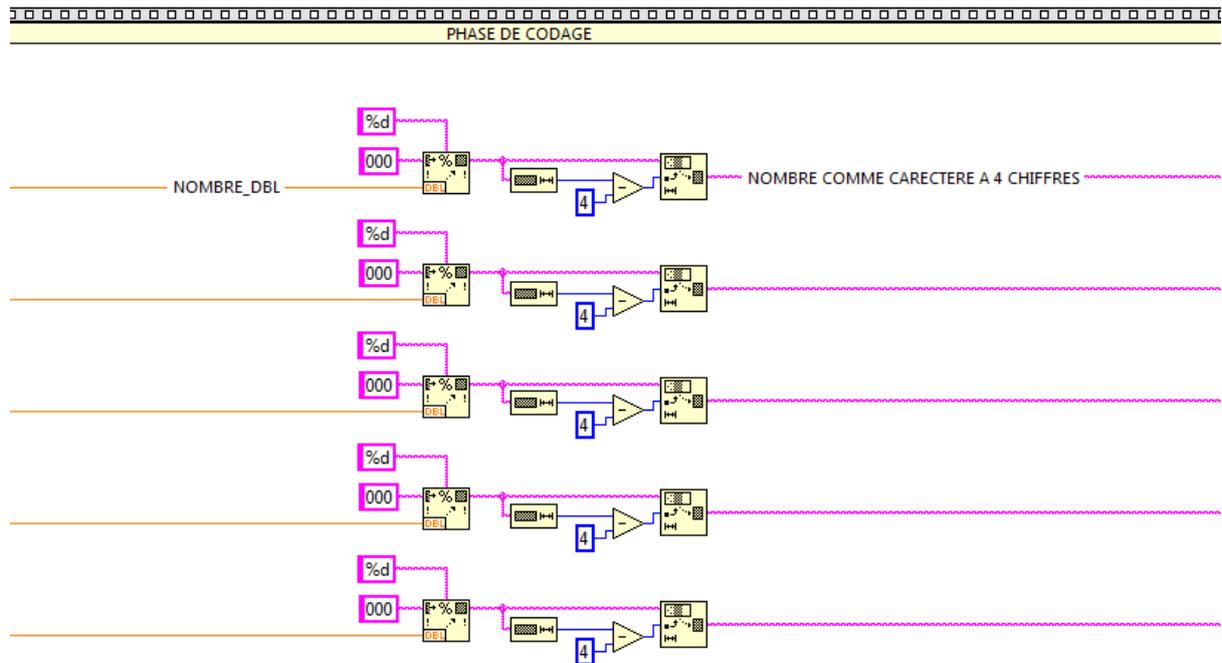
Le système de transmission est à base du module radio fréquence TRF Click qui peut être connecté avec les autres dispositifs par le protocole série UART.

### 4.1.2.1 La partie software

Le module radio fréquence envoie les données sous forme d'une chaîne de caractères en code ASCII. Pour cela on a créé deux phases principale dans le programme au niveau de la transmission, la phase de codage dans la partie émission et la phase de décodage dans la partie réception.

#### 4.1.2.1.1 phase de codage

Dès que toutes les mesures sont effectuées, les données numériques sont transformées en chaînes de caractères pour les pouvoir envoyer au module de radio fréquence à l'aide du protocole UART , la figure suivante montre cette opération codée en **LABVIEW**.



*Fig. 4.7 Programme LABVIEW de codage des données à transmettre*

#### 4.1.2.1.2 Phase de décodage

Le rôle de cette phase est de restituer les nombres à partir de la chaîne de caractères reçus à l'aide d'une fonction installée sur LABVIEW ( Balayage).

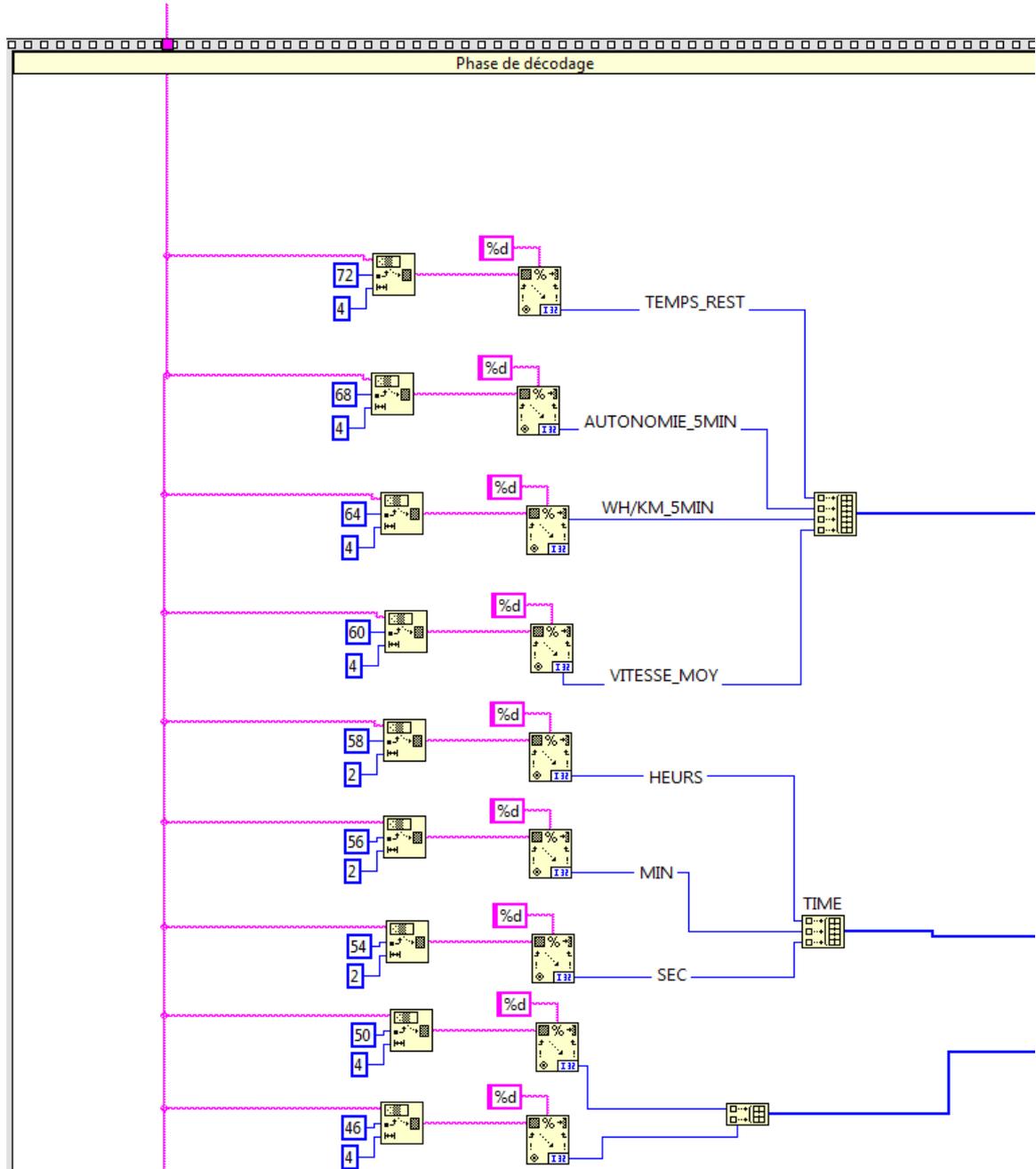


Fig. 4.8 Programme LABVIEW de décodage des données reçues

Afin d'éviter le dysfonctionnement du programme une étape de filtrage a été ajoutée avant l'étape de décodage, cette phase sert à détecter et éliminer les caractères spéciaux. La réception de caractères spéciaux signifie un échec de transmission et que les données ne sont pas valides.

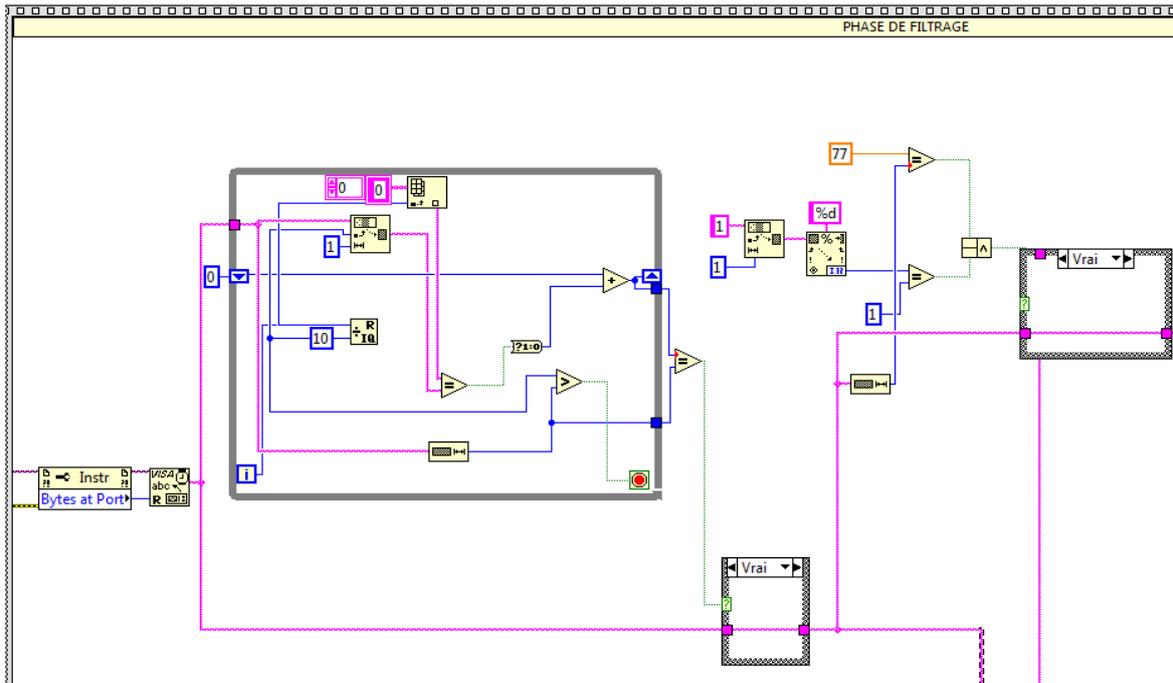


Fig. 4.9 Programme LABVIEW de filtrage des données non valides

### 4.1.3 Système de mesure

#### 4.1.3.1 La partie software

Afin de minimiser les parasites dus aux capteurs à effet Hall, la valeur de la grandeur mesurée est obtenue par le calcul de la valeur moyenne de plusieurs mesures chaque seconde. La figure suivante représente le code LABVIEW développé pour cette opération.

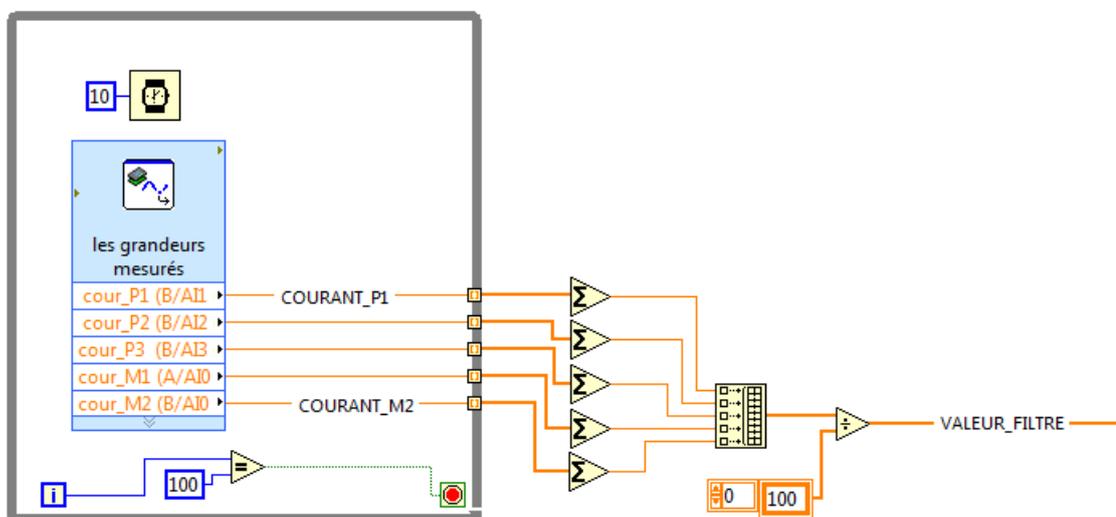


Fig. 4.10 Programme LABVIEW de calcul de la valeur mesurée

A la réception toutes les mesures énergétiques envoyées et calculées après réception sont affichées dans l'onglet énergétique de l'interface graphique développée comme le montre la figure 4.10.

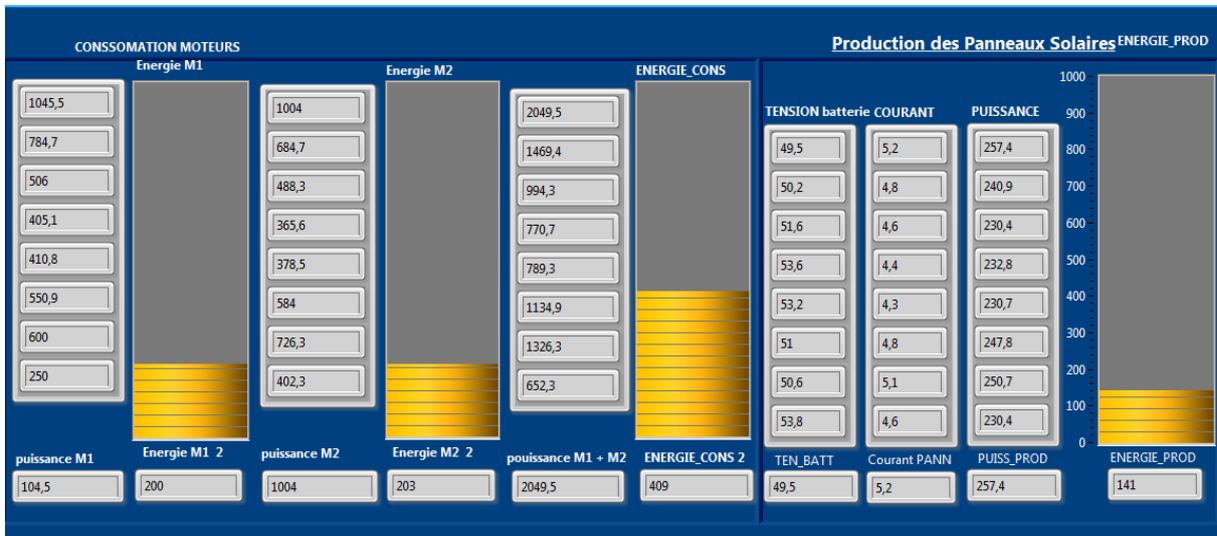
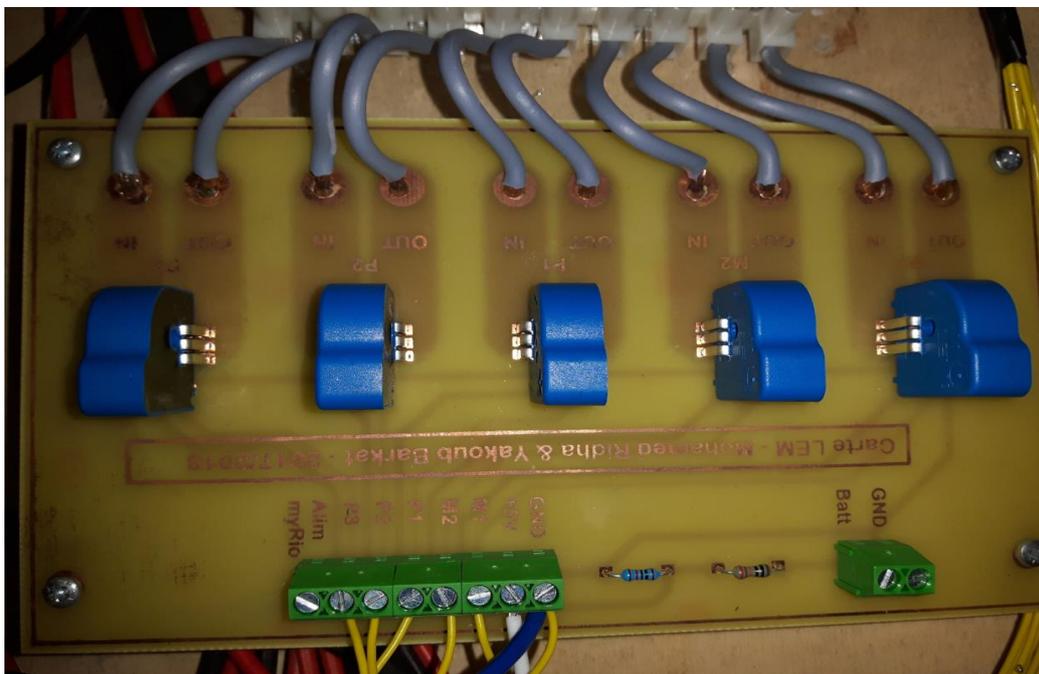
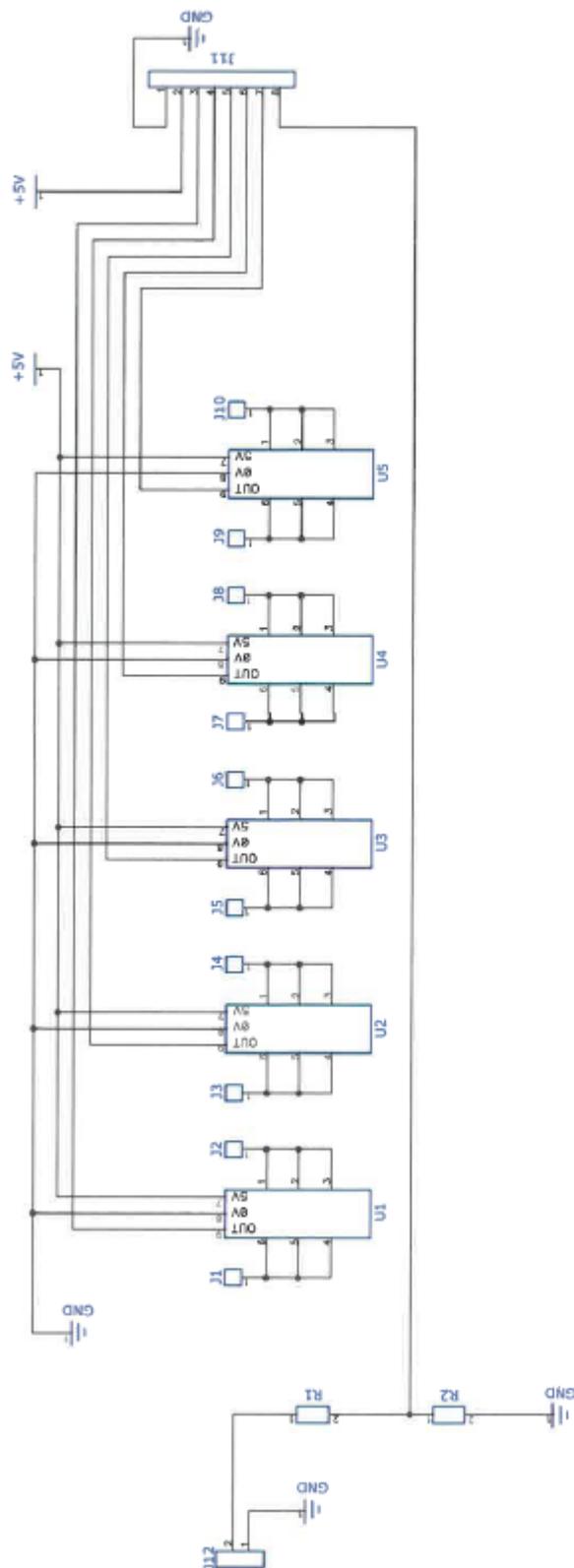


Fig. 4.11 Interface graphique représentant les différentes grandeurs énergétiques

#### 4.1.3.2 La partie hardware

Pour la partie matérielle, on a développé une carte électronique, qui contient une série de capteurs de courant à effet Hall, on l'a appelé la carte des LEM. A l'aide de cette carte on peut mesurer les courants délivrés par les panneaux solaires ainsi que le courant qui circule dans chaque moteur.





Carte LEM			
ZONE	DESCRIPTION	DATE	STATUT
V1		17/04/2018	APPROVED
Mohamed Ouamane & Yakoub Barkat 2017/2018			

*Fig. 4.12 La carte de mesure des courants des panneaux solaires et des moteurs et son schéma électrique*

#### 4.1.4 Système de calcul

Le système de calcul est basé sur les opérations principales de LABVIEW. On peut diviser les calculs en deux catégories

##### 4.1.4.1 Calcul de l'énergie

Les calculs de l'énergie commencent une fois toutes les valeurs analogiques de la carte LEM ont été converties par la carte MYRIO. La puissance produite à partir des courants des panneaux est calculée par la relation suivante :

$$P_{produite} = I_p \times V_{batterie}$$

En supposant que la puissance délivrée est constante pour un intervalle de temps donné. L'énergie est la multiplication de la puissance par le temps

$$E_{produite} = P_{produite} \times t$$

Si le temps global d'une itération du programme est une seconde, l'énergie produite de véhicule sera calculée par le code LABVIEW représenté par la figure 4.12.

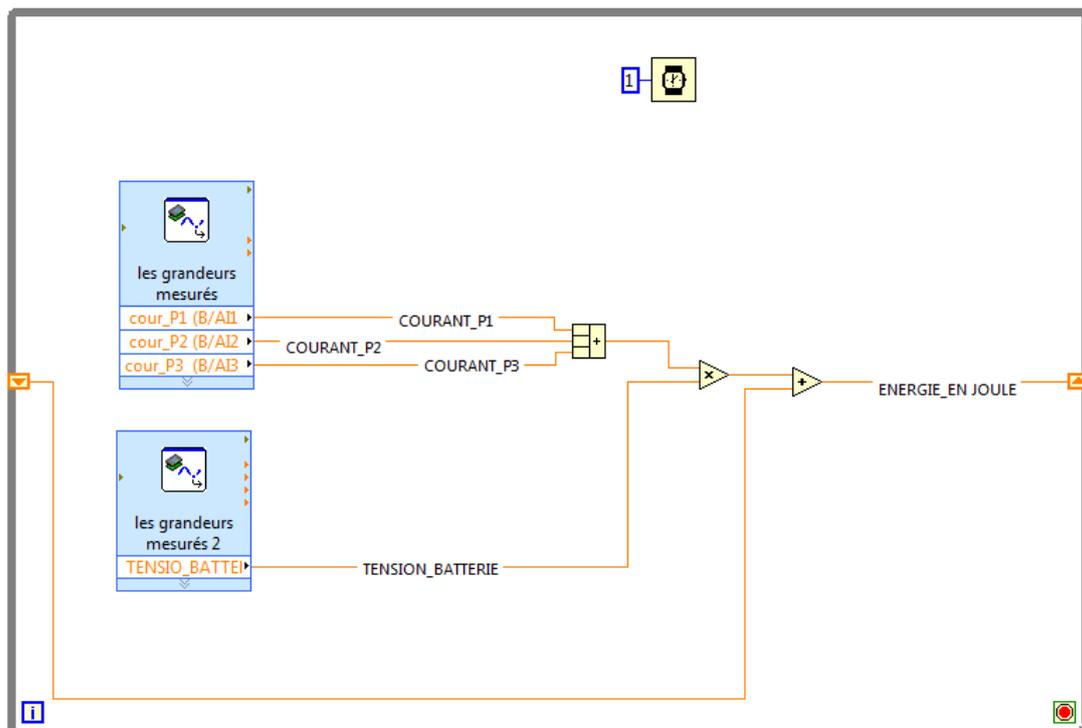


Fig. 4.13 Programme LABVIEW de calcul de l'énergie

On peut aussi calculer l'énergie consommée par le véhicule de la même manière que l'énergie produite par les panneaux solaires. Pour l'énergie disponible dans la batterie, on peut la déduire à partir de l'énergie consommée et l'énergie produite, si on suppose que l'énergie initiale disponible dans la batterie est de 500 Wh. la figure 4.13 représente la méthode d'estimation en LABVIEW :

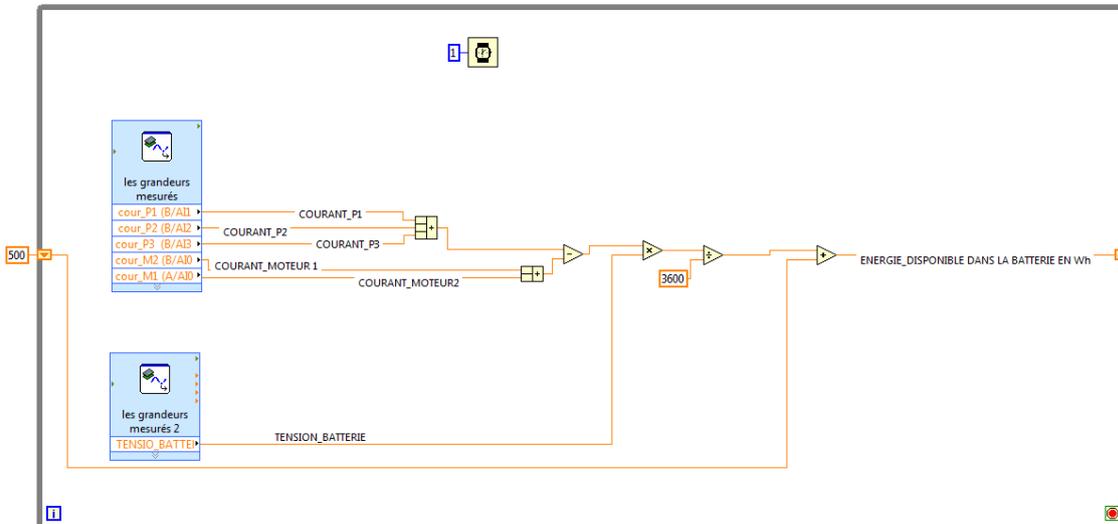


Fig. 4.14 Programme LABVIEW d'estimation de l'énergie disponible dans la batterie

#### 4.1.4.2 Calcule et estimation des moyennes

Pour les estimations, on a deux types d'estimation :

##### 4.1.4.2.1 Estimation pour tout le parcours

Ce type d'estimation commence lors du départ du véhicule, donc cette estimation nous donne une moyenne globale. Dans ce type on calcule :

**La moyenne de consommation watt-heure par kilomètre** comme son nom indique c'est une estimation de la consommation du véhicule pour un kilomètre. On calcule cette moyenne à partir de l'énergie consommée depuis le départ de véhicule et la distance parcourue, par la relation suivante :

$$\text{moyenne} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{Km}} \right) = \frac{\text{consommation globale (Wh)}}{\text{la distance parcourue}}$$

##### 4.1.4.2.1.1 L'autonomie globale

C'est la distance, en kilomètre, restant pour que la batterie soit totalement vide. Cette estimation peut être calculée à partir de l'énergie disponible dans la batterie et la moyenne de consommation du véhicule en watta-heure par kilomètre à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Autonomie (Km)} = \frac{\text{energie disponible}}{\text{la moyenne de consommation} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{km}}\right)}$$

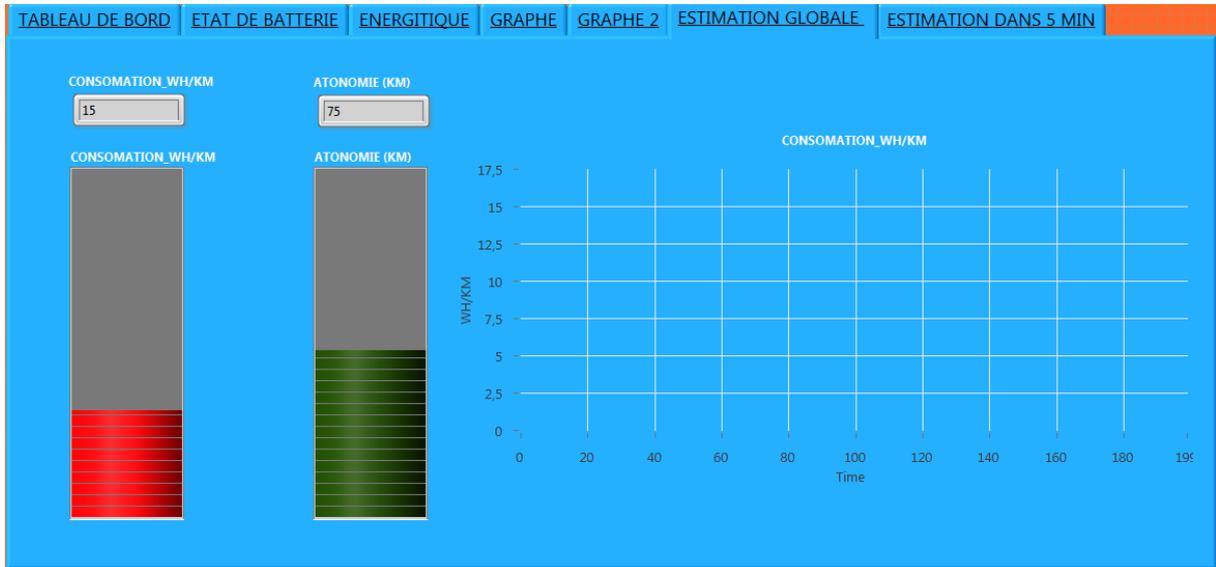


Fig. 4.15 Estimations des énergies pour tout le parcours

#### 4.1.4.2.2 Estimation durant cinq minutes

Dans ce type d'estimation, on estime la moyenne pour les derniers cinq minutes seulement. Grâce à cette courte estimation on peut déduire le comportement instantané du conducteur. Cette estimation contient l'autonomie, la vitesse moyenne, la consommation moyenne et le temps restant en utilisant les relations suivantes :

$$\text{Autonomie dans cinq minutes} = \frac{\text{energie restante dans la batterie}}{\text{consommation par kilomètre dans cinq minutes}}$$

$$\text{La consommation moyenne dans cinq minutes} = \frac{\text{energie consommé dans cinq minutes}}{\text{la distance parcourue dans cinq minutes}}$$

$$\text{La vitesse moyenne} = \frac{\text{la distance parcourue dans cinq minutes}}{\text{cinq minutes}}$$

$$\text{Le temps restant} = \frac{\text{autonomie dans cinq minutes}}{\text{la vitesse moyenne}}$$

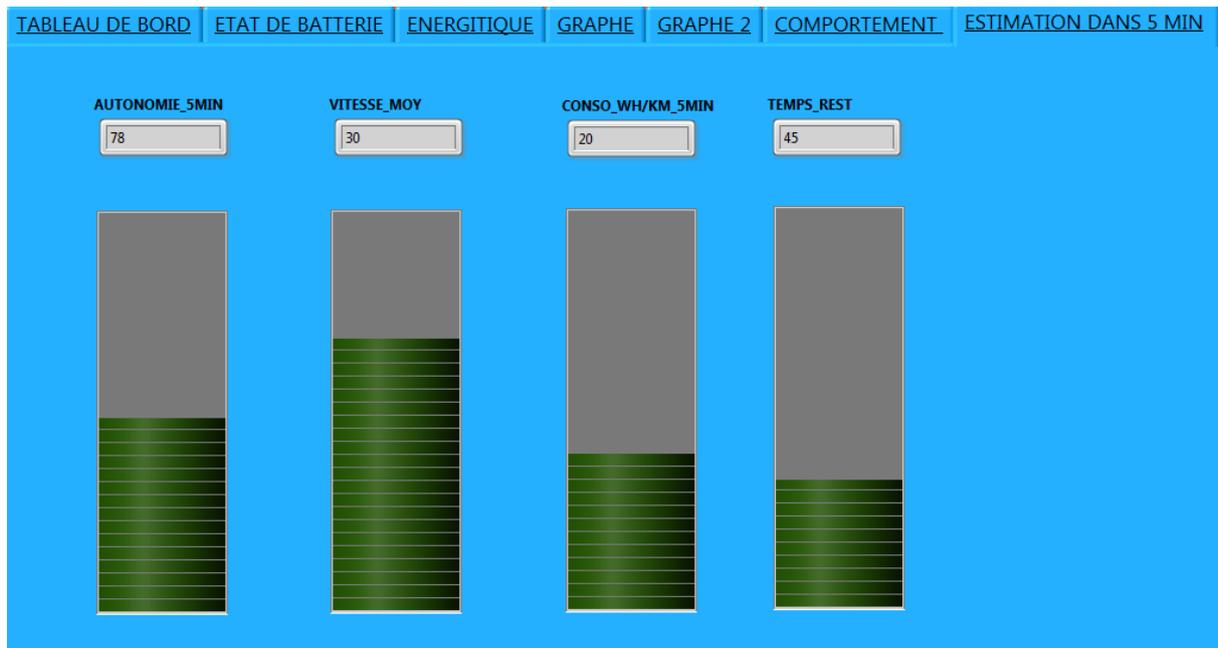


Fig. 4.16 : Estimation des énergies pour les 5 dernières minutes .

#### 4.1.4.3 L'interface d'affichage des mesures

Pour simplifier l'affichage à l'équipe installé au stand, on a divisé l'affichage en des onglets.

##### 4.1.4.3.1 Tableau de bord

C'est une interface qui contient les informations principales telles que : la vitesse instantané, le temps écoulé depuis le départ, l'énergie restante, l'autonomie, la distance parcourue, la tension de la batterie...etc.

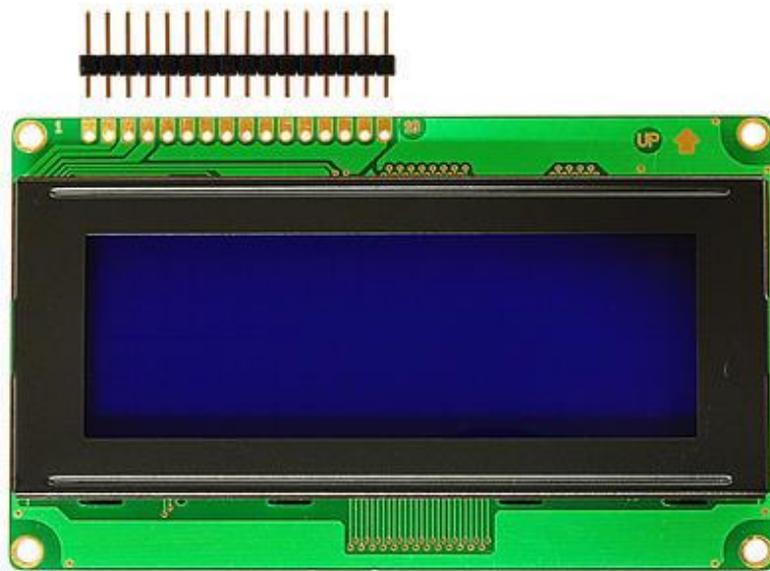


Fig. 4.17 : Affichage par tableau de bord.

### 4.1.5 Phase d'affichage

Pour améliorer le comportement du conducteur instantanément on a construit une boîte qui contient des commutateurs, des LED et un écran LCD. L'utilité de cette boîte est de donner une idée au conducteur à ce qui se passe dans la voiture, par exemple l'énergie restante dans la batterie, la vitesse moyenne de la voiture, la différence entre la puissance de production et consommation...etc. Les trois LEDs installées indiquent le comportement du conducteur, par exemple : rouge = mauvais, orange = moyen et vert = bon.

L'afficheur utilisé est un afficheur LCD UART 20X4 caractères.



*Fig. 4.18 Afficheur LCD*

On trouve aussi en bas de la boîte des commutateurs pour la sélection de la direction de la voiture ; marche avant ou marche arrière et des boutons réservés pour d'autres fonctions pour des futures améliorations. Dans le côté gauche de la boîte on trouve les boutons de klaxon, un bouton pour effectuer un appel au stand et le bouton de régulateur de vitesse qui sert à fixer la vitesse de déplacement.



*Fig. 4.19 Commutateurs de commande et LEDs*

## Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la description détaillée de la télémétrie, qui est un outil efficace à l'optimisation de fonctionnement de véhicule. On peut déduire que grâce à la supervision en temps réel, on peut contrôler optimiser le fonctionnement de véhicule ce que nous a permis d'économiser l'énergie de notre prototype, ainsi que bien répartie l'énergie disponible le long de la course.

# Conclusion générale et perspectives

A cause de la haute augmentation du coût des produits pétroliers ainsi que le niveau de pollution à cause des émissions CO<sub>2</sub>, il est devenu nécessaire de construire le véhicule de demain. Un véhicule propre à zéro émission CO<sub>2</sub> et qu'il fonctionne avec l'énergie renouvelable, la solution électrique répond à ces exigences [11].

Les VEs ont connu un développement rapide au cours de la dernière décennie, alors que les voitures hybrides commerciales ont été rapidement exposées sur le marché. Et comme toujours le grand obstacle de développement du véhicule électrique est son autonomie.

Notre projet est essentiellement basé sur l'optimisation de la décharge de la batterie ainsi que la bonne gestion de la consommation énergétique de notre prototype. Pour atteindre cet objectif on a développé un système de transmission des données, qui nous a permis de bien observer l'état de notre prototype en temps réel.

L'objectif est d'acquérir les mesures des différentes grandeurs physiques, pour les transmettre par la suite vers une équipe de traitement en continu. Le but de la transmission des données comme la puissance, la vitesse, la tension de la batterie et l'autonomie estimée en temps réel est de pouvoir optimiser les performances de notre prototype électro-solaire en fonction de la recharge solaire ainsi que les phases de décélération.

Dans ce projet de fin d'étude, nous avons commencé par une étude bibliographique sur le traitement de signal et l'acquisition des données ainsi que les différentes étapes de mesure et de traitement des données en temps réel.

Par la suite, nous avons fait une analyse des différents composants de notre prototype. Enfin comme une dernière partie nous avons décrit la réalisation et les améliorations réalisées.

Dans ce travail nous avons atteint les objectifs fixés au départ. Néanmoins chaque travail nécessite une amélioration et comme perspective nous proposons :

- remplacer le facteur humain au niveau de stand pour le traitement des données et la prise de décision par un système automatisé.
- ajouter un système qui évalue les pilotes, en leur attribuant des notes, en fonction de leurs comportements pendant la conduite.

# Bibliographie

[1] FRANCIS, Cotte, *Traitement des signaux et acquisition de données*, 3<sup>e</sup> Edition, Paris : DUNO, 2009, 392 p.

[2] JUTTEN, Christian, *Théorie du signal*, Université Joseph Fourier - Poly Tech' Grenoble, Cours de deuxième année (3i4) du département 3i, 2009, 126 p.

[3] LAUNAY, Frédéric, *cour modulation analogique*, 37p.

[4] MURAT, Knut, *Traitement numérique des signaux*, 3<sup>e</sup> Edition, Lausanne : presses polytechniques et universitaires Romandes, 1996, 402 p.

[5] MAURICE, Bellanger, *Traitement numérique du signal*, 8<sup>e</sup> Edition, Paris : DUNO, 2006, 464 p.

[6] BERNARD, Serge, *Test intégrer pour convertisseurs Analogique/Numérique. Micro et nanotechnologies/Microélectronique. Université Montpellier II : Sciences et Techniques du Languedoc*, 2001, 179p.

[7] KRAA, Okba. *Control and energy management of an electrical vehicle. Thèse de doctorat : gestion d'énergie. Biskra : université Mohamed Khider*, 2015, 117p.

[8] LUECKE, Jerry. *Analog and digital circuits for electronic control system applications. Elsevier Science*, 2004, 326. (ISBN: 978-0-7506-7810-0).

[9] ASCH, Georges. *Acquisition de données du capteur a l'ordinateur. 3<sup>ème</sup> Edition. Paris : DUNOD*, 2011, 534. (ISBN : 978-2-10-052331-3).

[10] FRANCIS, Cotte, *Traitement du signal. 3<sup>ème</sup> Edition. Paris : DUNOD*, 2017, 304. (ISBN : 978-2-10-076948-3).

[web 1] Chartres Solar-Cup. Disponible sur : <https://www.chartres-solarcup.com/>.

*[web 2] IUT de Chartres. Disponible sur : <http://www.univ-orleans.fr/iut-chartres/>.*

*[11] Mohamed Ikkiss et Redouane El ferrare. Techniques d'Exploitation des Énergies Renouvelables. Agadir : Université Ibn Zohr, 2013, 34p.*

*[12] National Instrument, User guide and specifications NI myRIO- 1900, 2016, 31p.*