

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Electrotechnique Industrielle
Présenté par :

DJOUDI Abdelilah

KEMARI Ahmed

Thème:

Surveillance en ligne du fonctionnement de Batterie au Lithium-Ion 18650 Durant la phase de Décharge

Soumis au jury composé de :

M ^r KOURAS Sid Ali	MAA	Président	UKM Ouargla
M ^r REZOUG Mohamed Redha	MCA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^r TAIBI Djamel	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

DÉDICACE

Je dédie mon travail

*à la source de tendresse, l'exemple de dévouement,
la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur
maman que j'adore.*

A mon cher binôme dans cette mémoire **AHMED**

DJOUDI.Abdelilah

DÉDICACE

Je dédie ce travail

À mes chers parents Pour leur soutien moral et matériel, Les encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés dans les moments les plus difficiles.

A tous mes frères et sœurs, je dédie ce travail qui les réjouit avant tout pour leurs conseils, leur aide et leurs encouragements.

A mon encadrant Mr. Rezoug Mohamed Redha

*A mon cher binôme dans cette mémoire **ABDELILAH***

Et à tous mes amis

KEMARI.Ahmed

REMERCIEMENTS

Avant tout, on remercie ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures Conditions.

Nous adressons un immense Merci spatialement Mon encadreur Mr : REZOUG MOHAMED REDHA notre encadreur pour ces précieux conseils qu'ils n'ont cessé de me prodiguer tout à la longe la réalisation de ce travail ainsi que pour sa disponibilité quotidienne.

Sans oublions on remercie les jurys qui nous ferons l'honneur de jugère travail. Nos gratitude va particulièrement à tous les enseignants de Département de Génie électrique (UKM Ouargla) pour toute efforts durent ces années.

Enfin, dans ces dernières lignes on tient à remercier nos parents, nos sœurs et nos frères, nos amies pour les conseils et les encouragements qu'ils nous ont toujours

Prodigués ainsi que pour leur soutien tant moral que financier. Sans eux, on n'en serait pas où on 'en est et ce qu'on est.

.Merci encore à tous...

LISTE DES ACRONYMES

Li-Po : Lithium polymère.

NiCd : Cadmium-Nickel.

NiMH : Nickel-Métal Hydrure.

LiCoO₂ : l'oxyde de lithium et de cobalt.

CF : le fluorure de carbone.

li-ion : lithium – ion.

C_d : débitée a la décharge.

C_e : la quantité d'électricité.

C : capacité de stockage.

C_n : la capacité de stockage résultante pour une nombre de décharge ' n '.

CC : courant constant.

SOC : State Of Charge.

LCD : liquide Chrystelle display.

Q : transistor.

R : Résistance.

I : le courant.

T : le temps.

Q : la quantité de charge utilisable.

V: le voltage

E : l'énergie.

PWM : modulation de largeur d'impulsion.

CAO : conception assistée par ordinateur.

Java, C++, C : langages de programmation.

REF : la tension de référence d'Arduino.

p : Puissance.

CE : Coulombic Efficiency.

CR : Capacity retention.

I-E : Intensité-Potentiel.

LMO : l'intérieur du matériau spinelle.

V : volumique.

DC : direct current.

IDE : Integrated Development Environment.

LISTE DES FIGURES

FIGURES	TITRES DES FIGURES	PAGES
CHAPITRE I		
Figure I.1	Différents types des batteries	3
Figure I.2	Quelques types de cellules 18650	7
Figure I.3	Package « séries, parallèles et mixte»	8
Figure I.4	Principe de fonctionnement d'une batterie Lithium-ion	11
Figure I.5	Courbes intensité-potentielle et courbes de charge-décharge	13
CHAPITRE II		
Figure II.1	Schéma synoptique du testeur	15
Figure II.2	Afficheur LCD 20×4 I2C	17
Figure II.3	Message de démarrage de notre application sous l'environnement ISIS Proteus	17
Figure II.4	Montage d'affichage	18
Figure II.5	Le module MAX471	19
Figure II.6	Batterie lithium-ion 18650	20
Figure II.7	Résistance de puissance	21
Figure II.8	La carte Arduino Nano	22
Figure II.9	Module micro SD	23
Figure II.10	Réalisation pratique qui relie le module SD avec la carte Arduino Nano	23
Figure II.11	Photo sous ISIS Proteus du module SD utilisé	24
Figure II.12	Réponse sur le moniteur série de l'IDE de l'Arduino	24

Figure II.13	La réalisation pratique du notre dispositif à vide	25
Figure II.14	La réalisation pratique du notre dispositif lors de la phase de décharge de la cellule lithium ion 18650	26
Figure II.15	Les informations récoltées sur le port série du moniteur de l'IDE de l'Arduino	26
CHAPITRE III		
Figure III.1	Organigramme de mesure de la tension et du courant	29
Figure III.2	librairies utilisées	30
Figure III.3	Déclaration des variables	31
Figure III.4	Illustration de la fonction « setup	32
Figure III.5	Procédure de calibrage de la tension	33
Figure III.6	Procédure d'affichage sur le port série	33
Figure III.7	La boucle conditionnelle « loop	34
Figure III.8	La boucle principale « loop » de notre application	35
Figure III.9	Fenêtre du fichier Excel créé	36
Figure III.10	Tension de la cellule lors de la phase de décharge	36
Figure III.11	Courant de la cellule lors de la phase de décharge	37
Figure III.12	Puissance de la cellule lors de la phase de décharge	37
Figure III.13	Energie consommée par la résistance lors de la phase de décharge	38

Sommaire

	Introduction générale	1
1	Généralités	1
2	Position du problème	1
3	Objectif du projet	1
4	Présentation du mémoire	2
	Chapitre I	
	Généralité sur les Batteries au Lithium-Ion	
I.1	Introduction	3
I.2	Historique sur les accumulateurs	3
I.3	Les différents types des batteries	3
I.3.1	Batteries au Plomb	4
I.3.2	Batteries Nickel-Cadmium	4
I.3.3	Batteries Lithium ion	4
I.3.4	Batteries Lithium polymère (Li-Po)	4
I.3.5	Batteries Nickel-Métal Hydrure	5
I.4	Les batteries au lithium-ion	5
I.5	Principe de fonctionnement des batteries lithium-ion « 18650 »	5
I.6	Avantages et inconvénients des batteries lithium-ion « 18650 »	6
I.6.1	Les avantages des batteries au lithium-ion « 18650 »	6
I.6.2	Inconvénients des batteries lithium-ion « 18650 »	7
I.7	Package « séries, parallèles et mixte»	7
I.7.1	Les Package « séries » Addition des tensions	9
I.7.2	Package « parallèle »	9
I.7.3	Package «en série et en parallèle (combinées ou mixte) »	10
I.8	Principe de fonctionnement d'une batterie Lithium-ion	10
I.9	Evaluation des performances des batteries Lithium-ion	11
I.9.1	Critères d'évaluation	11
I.9.2	Tests en cyclage	12
I.9.3	Courbes de charge/décharge	12
I.10	Conclusion	13
	Chapitre II	
	La pratique d'un testeur de batterie li-ion 18650	
II.1	Introduction	14
II.2	L'idée proposée de testeur	14
II.2.1	Fonctionnalités	14
II.2.2	Spécifications	14
II.2.2	Batterie et cellule	14
II.3	Phase de décharge de batterie Lithium-Ion 18650	15
II.4	Réalisation du dispositif	15
II.4.1	Réalisation virtuelle	16
II.4.2	Démarche logique de la réalisation	16
II.4.2.1	Réalisation d'affichage	16
II.4.2.2	Réalisation de récolte et traitement d'informations	18
II.4.2.2.a	Le module MAX471	18
II.4.2.2.b	Batterie lithium-ion 18650	20
II.4.2.2.c	La résistance de puissance	21
II.4.2.2.d	Le microcontrôleur Atmel	21
II.4.2.3	Réalisation de sauvegarde d'informations	22
II.5	Réalisation globale	25
II.6	Conclusion	27

Chapitre III		
Description et analyse de programme		
III.1 Introduction		28
III.2 Langage de programmation		28
III.3 Présentation de l'organigramme		29
III.4 Présentation du programme		30
III.5 Résultats expérimentaux		35
III.6 Conclusion		38
Conclusion générale		
1 Généralités		39
2 Problèmes rencontrés		39
3 Perspectives du projet		39
Annexes		
Les Logiciels Utilisés		41
Bibliographie		
Bibliographie		40

Introduction générale

1 Généralités

Contrairement au carbone, au pétrole et au gaz, avant le stockage de l'électricité était difficile sous sa forme chimique pour le réutiliser plus tard comme une quantité énergétique. Cependant, avec l'évolution technologique il est devenu possible de stocker l'électricité sous plusieurs formes (mécanique, chimique, thermique) conduisant à un transfert d'énergie de manière inverse dans le but de l'utiliser ultérieurement.

Parmi les principales raisons du développement de la technologie des batteries leurs vastes utilisations interviennent dans plusieurs domaines d'applications comme source autonome.

Deux types populaires de stockage d'électricité le premier est fixe «stationnaire » et le second dit embarqué dans les véhicules électriques ou les appareils portables. Alors que les systèmes de stockage stationnaire ont en général des capacités importantes « qui peuvent se compter en centaines de MWh », par contre le stockage embarqué est limité par des capacités de l'ordre du kWh. Dans notre cas nous sommes sur la base unitaire de cette catégorie avec l'utilisation de la batterie aux lithium-Ion comme prototype d'accumulation et précisément la cellule au lithium 18650 dont ses caractéristiques distinctes (densité d'énergie, âge, etc.) sont attrayantes.

2 Position du problème

Les caractéristiques distinctives des batteries Lithium-Ion ont entraîné une augmentation de la demande en raison du grand nombre d'utilisations nécessitant une alimentation autonome. Cette dernière a conduit à l'émergence de fausses batteries qui ne portaient pas les caractéristiques réelles de la batterie au lithium d'origine, mais les scientifiques ont un autre avis, car le laboratoire mesure et vérifie la validité de la capacité des batteries en fonction de l'état fonctionnel du fabricant, et pour cela, on a essayé de travailler sur cet axe à notre niveau et à notre point de vue, on s'est engagé dans ce projet visant à vérifier les batteries au lithium en mesurant, le courant et la tension dont un mini système embarqué comme plate-forme hard est responsable de l'exécution d'un algorithme de mesure et de calcul.

3 Objectifs du projet

Comme but visé durant ce travail c'est de construire un testeur de courant et tension de batterie lithium-Ion 18650 « avec ses propre caractéristiques d'affichage et sauvegardes » avec l'utilisation minimale des modules et composants électriques.

Comme un autre objectif, on a mis en évidence quelques modules électriques comme le capteur de courant et tension le « MAX471 » et le fameux adaptateur de la carte SD.

Le principal objectif consiste à collecter suffisamment des données sur le comportement de la batterie au lithium 18650 lors de sa phase de décharge afin d'enregistrer toutes informations pour les traiter ultérieurement.

4 Présentation du mémoire

Pour développer ce projet, on a divisé le travail en trois chapitres dont le premier chapitre est consacré à une étude descriptive des batteries en général les types de batteries portables et de leurs caractéristiques leurs fonctionnements leurs avantages et inconvénients etc.

Le deuxième chapitre vise à étudier les modules électriques utilisés, expliquer le fonctionnement du dispositif expérimental réalisé en éclaircissant chaque bloc de circuits par des images réelles sous l'environnement ISIS comme plateforme virtuelle suivie par des photos réelles de la pratique.

Dans le troisième chapitre, on présentera l'algorithme et son explication ainsi que le programme principal réalisé sous l'environnement IDE de l'Arduino.

Enfin, on terminera par une conclusion générale qui résume l'intérêt de notre travail et les différents résultats obtenus expérimentalement sous forme d'images sous Excel.

Chapitre I

Généralité sur les Batteries au Lithium-Ion

I.1 Introduction

Stocker du gaz naturel, du pétrole ou du carbone est très facile, mais en revanche, stocker de l'électricité en grande quantité est plus difficile.

Les chercheurs mènent de nombreuses études pour trouver une solution au stockage de l'électricité et éventuellement créer des batteries capables de stocker l'électricité sous forme chimique. Au fur et à mesure que la technologie évolue, on trouve des applications décentralisées qui nécessitent des sources d'alimentation autonomes ainsi les batteries s'adaptent à cette évolution. Dans la technologie des batteries, on trouve celles nommées batteries lithium-ion qu'on découvre dans ce chapitre.

I.2 Historique sur les accumulateurs

Gaston Planté était un physicien français qui a inventé la première batterie plomb-acide en 1859, elle est conçue d'un ensemble de deux feuilles de plombs enroulées en spirales, séparées par une toile de lin et immergées dans une solution d'acide sulfurique.

I.3 Les différents types des batteries

L'évolution de la technologie a entraîné des améliorations considérables en matière d'accumulateur. Ainsi, il existe aujourd'hui divers types de batteries sur le marché.



Figure I.1 Différents types des batteries

I.3.1 Batteries au Plomb

Une batterie au plomb est un groupe de batteries au sulfate de plomb montées en série pour obtenir la tension voulue et placées dans le même boîtier. Les plaques en grilles positives de plomb sont en fait en plomb durci, elles sont utilisées pour contenir la matière active et comme collecteur de courant.

I.3.2 Batteries Nickel-Cadmium

Les batteries nickel-cadmium ou Ni-Cd ont été découvertes en Suède par l'inventeur et ingénieur Ernst Waldemar Jungner. De 1899 à 1901, l'invention mettait en œuvre de l'hydroxyde de nickel Ni(OH)_2 à l'électrode positive, un mélange de cadmium et de fer à la négative et un électrolyte aqueux, KOH (hydroxyde de potassium ou potasse). L'appellation consacrée par l'usage, accumulateur nickel-cadmium, est donc approximative. [1]

Les batteries Ni-Cd sont aujourd'hui relativement dépassées en termes d'autonomie, elles ont été supplantées vers 1990 par les batteries NiMH, elles-mêmes aujourd'hui concurrencées par les batteries Lithium-ion.

I.3.3 Batteries Lithium ion

Les batteries à base de lithium exploitent des technologies en cours de mise au point, dévoilant un très grand potentiel électrochimique. On différencie la technologie Lithium métal où l'électrode négative est constituée de lithium métallique (matériaux qui posent des problèmes de sécurité), et la technologie lithium ion, où le lithium reste à l'état ionique grâce à l'emploi d'un composé d'insertion aussi bien à l'électrode négative généralement en graphite qu'à l'électrode positive.[2]

I.3.4 Batteries Lithium polymère (Li-Po)

Les batteries au lithium-polymère (LiPo, LIP ou Li-Poly) sont une gamme de batteries rechargeables dans un format de poche. Elles peuvent aussi faire référence à des batteries lithium-ion utilisant un polymère en gel comme électrolyte ce qui les rend un peu moins risquées que le lithium ion. Elles ont une densité énergétique et des caractéristiques presque similaires que les lithiums ion. Elles sont beaucoup utilisées dans le modélisme pour une raison de poids. Cette technologie est un peu plus stable que celle de lithium-ion. Elles nécessitent un chargeur adapté dû à sa complexité lors de la phase de chargement et déchargement.

I.3.5 Batteries Nickel-Métal Hydrure

Les batteries nickel métal hydrure ou NiMH présentent une énergie volumique supérieure d'au moins 30% par rapport aux batteries NiCd (Cadmium-Nickel). Actuellement elles sont dépassés en termes d'énergie massique par les batteries Lithium-ion et Lithium-Polymère. [3]

Elles possèdent de meilleures performances dues à l'absence des deux matériaux polluants cadmium et de plomb ainsi qu'une absence d'effet mémoire qui les rend avantageuses en termes d'environnement dans leurs structures.

Ces batteries NiMH utilisent comme électrolyte une solution d'hydroxyde de potassium (potasse - KOH) ainsi qu'un alliage liquide à base lanthane (terre rare) et de nickel de type LaNi_5 .

I.4 Les batteries au lithium-ion

La batterie lithium-ion ou batterie Lithium-ion est un type de batterie rechargeable constituée de cellules dans lesquelles les ions lithium se déplacent de l'électrode négative à travers un électrolyte vers l'électrode positive pendant la décharge et l'inverse lors de la charge. Les cellules Lithium-ion utilisent un composé de lithium intercalé comme matériau à l'électrode positive et généralement du graphite à l'électrode négative. Les batteries Lithium-ion ont une densité d'énergie élevée, pas d'effet mémoire (autre que les cellules LiFePO_4) [4] et une faible autodécharge.

Les cellules peuvent être fabriquées pour donner la priorité à l'énergie ou à la densité de puissance. Elles peuvent cependant constituer un danger pour la sécurité car elles contiennent des électrolytes inflammables et si elles sont endommagées ou mal chargées, elles peuvent provoquer des explosions et des incendies.

I.5 Principe de fonctionnement des batteries lithium-ion « 18650 »

Une cellule est l'élément unitaire de ce type de batteries, elle se compose d'une anode, d'une cathode, d'un séparateur, d'un électrolyte et de deux collecteurs de courant (positif et négatif). L'anode et la cathode stockent le lithium. L'électrolyte transporte des ions lithium chargés positivement de l'anode à la cathode et l'inverse à travers le séparateur. [5]

Le déplacement des ions lithium crée des électrons libres dans l'anode qui donnent ensuite un potentiel au niveau du collecteur de courant positif. Le séparateur bloque le flux d'électrons à l'intérieur de la cellule.

Des réactions de réduction-oxydation (redox) ont lieu à l'intérieur d'une cellule lithium-ion. La réduction a lieu du côté de la cathode. L'oxyde de cobalt se combine aux ions de lithium pour former de l'oxyde de lithium et de cobalt (LiCoO₂). [6]

Ce qui nous donne une demi-réaction comme suit :



L'oxydation a lieu de côté de l'anode. Le composé d'intercalation de graphite (LiC₆) forme du graphite (C₆) et des ions de lithium. Ce qui donne la demi-réaction suivante :



Et voici la réaction complète (de gauche à droite = décharge, de droite à gauche = charge) :



I.6 Avantages et inconvénients des batteries lithium-ion « 18650 »

Comme tout élément en électronique, les cellules au lithium-ion ont leurs avantages et inconvénients.

I.6.1 Les avantages des batteries au lithium-ion « 18650 »

- Une densité d'énergie élevée permet aux appareils électroniques (Smartphones, ordinateurs portables, véhicules électriques etc.) d'être fonctionnels plus longtemps sans utiliser de batteries de petites tailles pour se recharger. Lors de leur utilisation, elles ne présentent aucun impact environnemental. [7]
- Le principal problème des piles rechargeables est qu'elles perdent leur charge (autodécharge) lorsqu'elles ne sont pas utilisées. Un point positif caractérisant le comportement de ces cellules dû à une autodécharge très faible. Le taux d'autodécharge des batteries Lithium-ion est presque imperceptible. Il est généralement admis que Lithium-ion a une autodécharge de 5 % dans les 4 premières heures après la charge, puis chute à 1-2 % par mois. [5]
- La composition unitaire de la batterie lithium (figure I.2) présente une cellule d'environ 3,7 Volts, son coût est moins cher, plus facile et plus sûr à utiliser ainsi que la souplesse lors du montage en série et en parallèle.

- D'une façon générale, l'utilisation de batteries Lithium-ion nous porte de nombreux avantages évidents ; elles sont portables / sans fil, légers, durables et rechargeables. Elles ont la meilleure densité d'énergie de stockage que toute autre batterie.
- Dans des conditions optimales, une cellule lithium-ion peut être utilisée pendant 5 années ou jusqu'à 1 200 cycles de charge/ décharge pour les cellules possédant une tension de 3.7Volts par contre pour celles qui un potentiel de 3.9Volts elles peuvent atteindre 2.400-4.000 cycles. [5]



Figure I.2 Quelques types de cellules 18650

I.6.2 Inconvénients des batteries lithium-ion « 18650 »

Ces types de batteries présentent certains risques en cas de fuite (électrolyte), de surchauffement ou de formation d'une structure cristalline de lithium entre les électrodes. Différents systèmes électromécaniques équipent ce type de batterie pour éviter des risques tels que l'incendie, l'explosion etc. [8]

I.7 Package « séries, parallèles et mixte»

Le package optimal de batteries étant plus simple, il consiste en une rangée de cellules uniquement en série ou en parallèle ou mixte. Cette conception réduit l'entretien des batteries et l'impact des défauts aléatoires de fabrication car les cellules ne sont jamais parfaitement identiques.



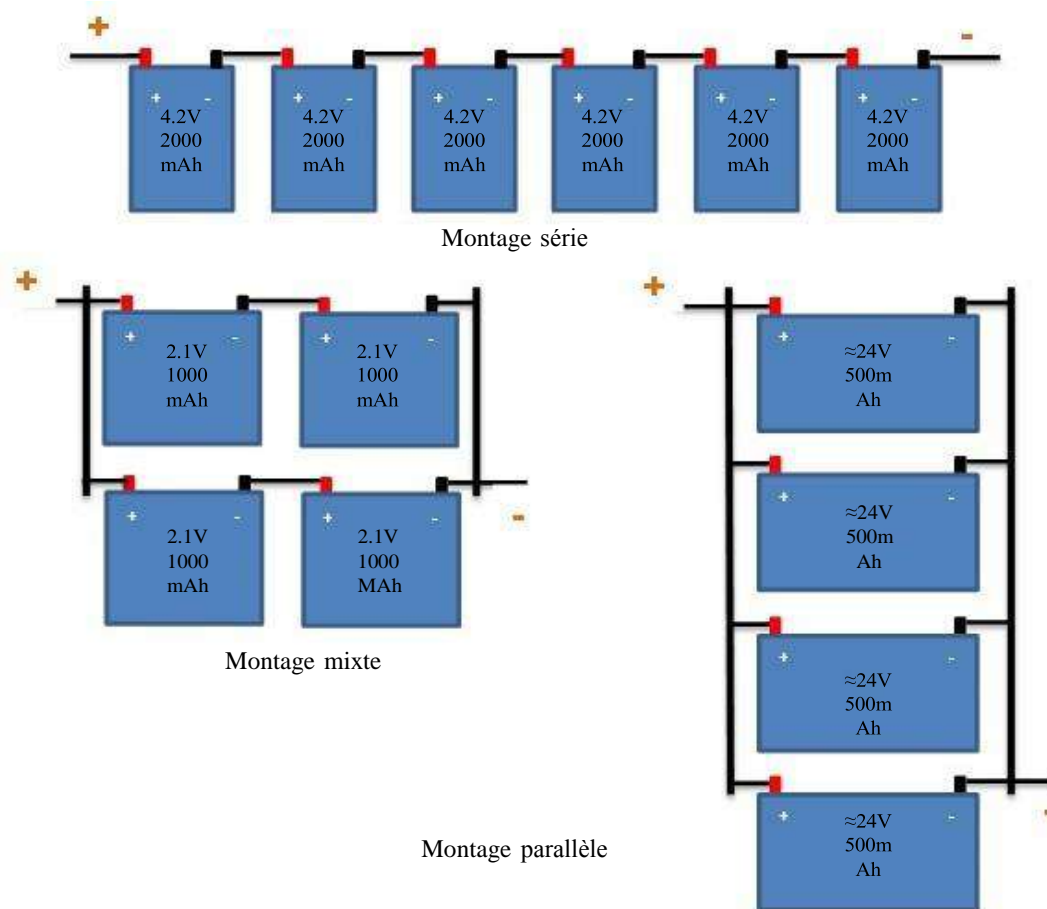


Figure I.3 Package « séries, parallèles et mixte »

Supposons que nous avons besoin d'une capacité de 2000mAh en 24Volts. Nous pouvons l'obtenir avec une seule rangée de 6 cellules de 4.2Volts de 2000mAh en série ou deux rangées parallèles composées de 2 piles 2.1Volts 1000mAh ou 4 rangées parallèles de batteries 24V 500mAh. Le diagramme ci-dessus montre ces trois variantes. [5]

L'erreur fréquente consiste à utiliser des petites batteries et à les installer en parallèle vu que cette approche paraît moins coûteuse. Le problème est que quand le courant se répartit, il n'est jamais exactement égal entre les différentes rangées de batteries.

Généralement une batterie un peu plus résistive ou une corrosion des bornes feront qu'une rangée entière de batteries va recevoir moins de charge. Cette rangée va se dégrader avant les autres parce qu'un remplacement partiel aggrave les déséquilibres, comme solution pratique on peut remplacer la rangée entière des batteries.

Afin de réduire ou d'éviter la mise en parallèle des batteries, on utilise la plus haute tension possible. A titre d'exemple, les mêmes batteries qui forment deux rangées parallèles à 24Volts peuvent être reliées en une seule rangée en série pour former une source de 48Volts, d'où la quantité d'énergie stockée reste la même, mais la configuration obtenue est plus simple et le courant est réduit de moitié (diminution des pertes liées aux résistances électriques d'un facteur 4 : $P = RI^2$).

Comme précaution si nous devons installer plusieurs rangées parallèles de batteries il est évident d'éviter d'empiler les cosses à œillet sur les bornes (négatives et positives) pour établir les connexions.

I.7.1 Package « séries » Addition des tensions

Le package série ou autrement dit l'additionnement des tensions présente le montage en série (couplage en série), les tensions de chacune des batteries s'additionnent pour pouvoir réaliser un réseau de bord avec raccordement positif-négatif.

Comme prudence, il faut prendre en considérations les points suivants :

- Les deux batteries ou cellules doivent être de même type.
- Les deux batteries ou cellules doivent avoir environ le même âge.
- Les deux batteries ou cellules doivent avoir le même état de charge.
- Les câbles d'interconnexion doivent être de dimensions suffisantes et aussi courts que possible.

Le non-respect des points cités, les résistances internes propres à chaque batterie ou cellule dans un montage en série conduiront la répartition en conséquence de la tension d'où une mise à contribution asymétrique pendant la phase de charge et de décharge.

Si l'asymétrie est inévitable (à cause de températures divergentes dans les batteries ou des besoins partiels de la tension), il est obligé d'utiliser l'égaliseur de charge (chargeur Imax B6 comme titre d'exemple). Ce dernier règle la tension de charge des batteries ou cellules à niveau égal.

I.7.2 Package « parallèle »

L'addition des capacités et des courants de démarrage à froid autrement dit montage parallèle implique que les capacités et les courants de démarrage à froid de chacune des batteries s'additionnent.

Comme prudence, il faut prendre en considération les mêmes points cités précédemment pour le montage série, sinon les résistances internes propres à chaque batterie entraîneront la répartition en conséquence du courant et donc une mise à contribution asymétrique pendant la phase de charge et de décharge.

Des courants compensateurs très élevés peuvent circuler entre les cellules en montage parallèle.

I.7.3 Package «en série et en parallèle (combinées ou mixte) »

Le branchement mixte ou en série et en parallèle c'est le branchement qui s'impose lorsqu'on a besoin d'une certaine puissance à une tension voulue, les règles du montage en série et celles du montage en parallèle s'appliquent dans le cas du montage mixte.

Il est nécessaire d'avoir des produits de même tension et de même intensité/capacité. Un ensemble monté en série s'appelle un « string », il est possible d'ajouter des cellules de même tension dans les strings pour augmenter la tension ou bien d'ajouter un ou plusieurs strings si nous avons besoin de plus d'intensité pour plus de puissance.

Comme précaution, les batteries mises en série ou en parallèle doivent être de la même marque, même type et avoir la même capacité et état de charge et de ne pas combiner d'anciennes cellules avec des nouvelles.

I.8 Principe de fonctionnement d'une batterie Lithium-ion

Sur la figure ci-dessous présente la configuration standard de batterie au lithium (4.2Volts) proposée et brevetée en 1977 pour la première fois avec (2 Volts) par S. Whittingham assemblant du lithium métallique et un matériau d'intercalation, premièrement le disulfure de tantale puis le disulfure de titane [9]. A l'intérieur de ce matériau lamellaire (Une structure d'une substance macromoléculaire formée de feuillets parallèles), les ions lithium peuvent être insérés et stockés de façon réversible. Lors de la phase de décharge, les ions lithium sont déplacés à l'intérieur de l'électrolyte depuis l'électrode négative où ils sont produits par oxydation dissolutive du lithium métallique (avec éjection d'un électron e-), vers l'électrode positive où ils peuvent s'insérer (avec injection simultanée d'un électron e-). Les électrons circulent de l'anode vers la cathode par le circuit nommé « extérieur », pour produire un courant.

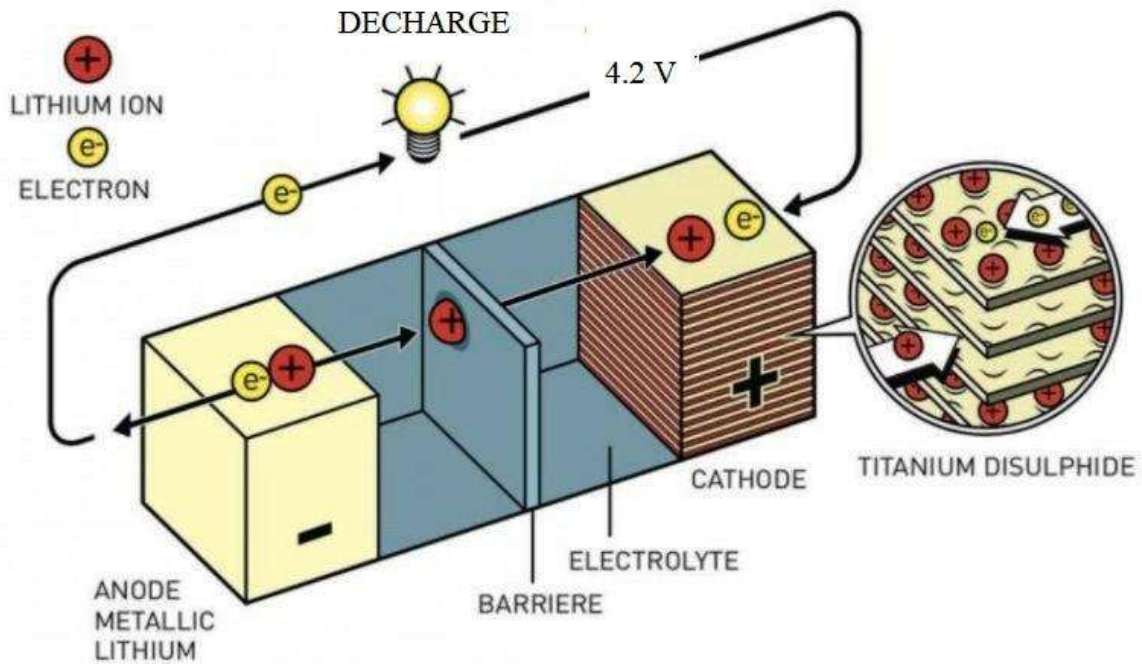


Figure I.4 Principe de fonctionnement d'une batterie Lithium-ion

I.9 Evaluation des performances des batteries Lithium-ion

Le stockage de l'énergie électrochimique en technologie Lithium-ion reflète l'évaluation des performances des batteries Lithium-ion. Les principaux critères d'évaluation d'une batterie Lithium-ion sont sa capacité spécifique, sa tension, sa puissance accessible, sa cyclabilité ainsi que sa tenue en température.

I.9.1 Critères d'évaluation

Les performances des matériaux d'électrodes sont évaluées à plusieurs niveaux, soit en demi-cellule (une des électrodes est du lithium métallique) ou bien en batteries Lithium-ion complètes selon les critères, tels que :

- La capacité spécifique ou charge pouvant être extraite par unité de masse ou de volume ;
- La tension d'où la puissance accessible ;
- La cyclabilité qui est le nombre de cycles de charge/décharge accessibles avec évaluation de l'efficacité coulombique (en anglais « Coulombic efficiency » : CE) à chaque cycle de charge et décharge (où $Q_{\text{décharge}} / Q_{\text{charge}}$ exprimée en %) et de la capacité de

rétenion du lithium (en anglais « Capacity retention » : CR) évaluée par rapport à sa capacité initiale mesurée lors du premier cycle de décharge (où Q décharge [cycle n] / Q décharge [cycle 1] exprimée en %) ;

- La tenue en température étant le degré de chaleur ou de froid de l'atmosphère en un lieu.

I.9.2 Tests en cyclage

Afin d'évaluer le nombre de cycles que la cellule peut effectuer, on commence par la charger avec un courant maximal de 0.5 C (où C présente sa capacité) et on la décharge à un courant de 1C à 25 degrés Celcius ensuite on compte le nombre de cycles de charge / décharge au point où la cellule atteint une capacité de 70% de sa valeur initiale d'une part et d'autre part on peut les tester sur des cycleurs capables d'effectuer plusieurs milliers de cycles à courant contrôlé (Galvanostat) ou bien à tension contrôlée (Potentiostat).

D'autres mesures telles que la spectroscopie d'impédance électrochimique peuvent être implémentées pour d'identifier d'autre part l'augmentation de la résistance interfaciale au transport des ions lithium et au transfert des électrons. Pour contrôler le potentiel aux électrodes (montage délicat de cellule à trois électrodes : électrode de travail, contre-électrode et électrode de référence), il est favorable d'insérer dans ces cellules une pseudo-électrode de référence.

I.9.3 Courbes de charge/décharge

Les courbes intensité-potential (I-E) tracées en mode potentiostatique présentées sur la figure ci-dessous (à l'aide d'un balayage contrôlé du potentiel à vitesse constante) permettent de visualiser facilement les potentiels thermodynamiques correspondant aux différents processus redox (réaction d'oxydoréduction), comme montré sur la figure I.5, une transformation du manganèse du degré d'oxydation +III en +IV à l'intérieur du matériau spinelle LMO. Les deux pics de courant en oxydation (et réduction) peuvent être argumentés par le changement de structure de spinelle vers sel lors de la délithiation (la phase charge). Les courbes I-E ne nous donnent pas des informations sur la cinétique des processus (quantité de lithium extraite ou insérée par seconde), d'où il est préférable d'utiliser les courbes de charge / décharge à courant constant (mode galvanostatique, où la variation de potentiel du matériau au cours du temps $E = f(t)$ donne des informations sur le taux de lithiation du matériau).

Le temps représenté en abscisse peut être converti en charge électrique échangée $Q = i(\text{mA}) \times t(\text{h})$ par gramme ou litre de matière active, autrement dit en capacité spécifique massique $C = Q/m$ (m.A.h.g^{-1}) ou volumique $C = Q/V$ (m.A.h.L^{-1}). La représentation de la variation de potentiel en fonction de la capacité mesurée nous permet de distinguer si la capacité théorique du matériau est aboutie ou diminue au cours des cycles de charge et décharge. La capacité perdue, dite « irréversible », peut être liée à une perte de matière active (absorbée ou isolée électriquement), ou à une consommation de charge de façon irréversible associée à l'oxydation ou à la réduction de l'électrolyte [10].

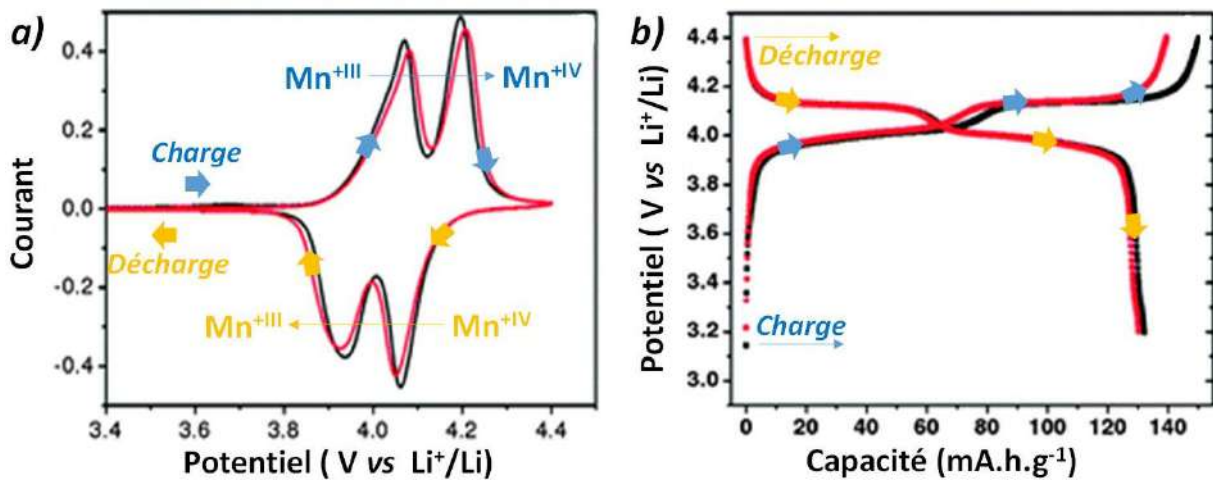


Figure 1.5 Courbes intensité-potential et courbes de charge-décharge

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre, on a découvert brièvement ce que sont les batteries d'une façon générale, leur fonctionnement et quelques notions qui entourent la gamme 18650 afin de fixer un axe d'amélioration comme but dans le second chapitre où on présente une synthèse générale sur la réalisation pratique d'un dispositif électrique qui va éclaircir le fonctionnement d'un testeur de batterie au lithium-ion type 18650 lors de la phase de décharge par une charge résistive fixe.

Chapitre II

**La pratique d'un testeur de
batterie li-ion 18650**

II.1 Introduction

La connaissance de la capacité d'une batterie est essentielle dans de nombreuses situations quelque soit leurs gammes. Les compteurs de capacité peuvent également résoudre le problème de la détection des fausses batteries parce que les fausses batteries au lithium-ion sont omniprésentes et ne peuvent pas gérer leur capacité annoncée étant donné qu'il nous est difficile de faire la différence entre une vraie batterie et une fausse neuve ou usagée.

Dans ce chapitre, nous allons commencer à réaliser sur une plate forme virtuelle notre dispositif et assembler ensuite les meilleurs composants pour mettre en œuvre un testeur de batterie lithium-ion 18650 basé sur arduino nano ainsi qu'une description de chaque bloc du circuit global du testeur.

II.2 L'idée proposée de testeur

L'idée de cette conception est de réaliser une carte électrique qui mesure et surveille l'évolution d'une batterie lithium-ion 18650 lors de la phase de décharge à l'aide de la célèbre carte Arduino nano. Toutes les mesures sont affichées sur un afficheur LCD 20x4 lié à la communication I²C et le port série « moniteur série du PC » ainsi qu'un enregistrement en temps réel de ces résultats sur la carte SD dans un fichier Excel.

II.2.1 Fonctionnalités

- Identifier des batteries lithium-ion 18650 défectueuses ;
- Diagnostiquer les batteries fiables usées ;
- Surveiller le comportement de la batterie lithium-ion 18650 lors de la phase de la décharge à travers une résistance de puissance ;
- Créer une base de données pour les traiter et les utiliser ultérieurement.

II.2.2 Spécifications

Le dispositif peut être alimenté par source externe DC de 5 Volts sur plusieurs entrées « entrée sur le port mini USB de la carte Arduino Nano, sur la broche de la carte 5Volts et sur la broche V_{in} de la carte ».

II.2.3 Batterie et cellule

Le dispositif à réaliser est conçu pour tester qu'une seule cellule avec une possibilité d'augmenter l'efficacité du testeur et de surveiller un nombre supplément de cellules sur les broches analogiques de la carte arduino nano restant. Une cellule présente l'élément unitaire

utilisant des produits chimiques pour stocker l'énergie électrique. Une batterie est une collection série et, ou parallèle de quelques cellules.

II.3 Phase de décharge de batterie Lithium-Ion 18650

Le régime de décharge d'une batterie dépend de la demande en puissance imposée par l'application, il peut varier d'une simple décharge à courant constant jusqu'à un profil aléatoire. Néanmoins le protocole de contrôle de décharge implémenté dans le BMS lors du dimensionnement du système de puissance doit limiter la dégradation de la batterie tout en assurant la mission.

La fixation de la plage des courants tolérés tension fin de décharge dans notre cas est proportionnelle à la valeur de résistance utilisée comme élément de dissipation pour la batterie lithium-ion 18650. [5]

II.4 Réalisation du dispositif

Pour faciliter l'étude de la réalisation de notre dispositif « testeur » la présentation globale de cette réalisation est illustrée par la figure II.1 sous forme d'un schéma synoptique.

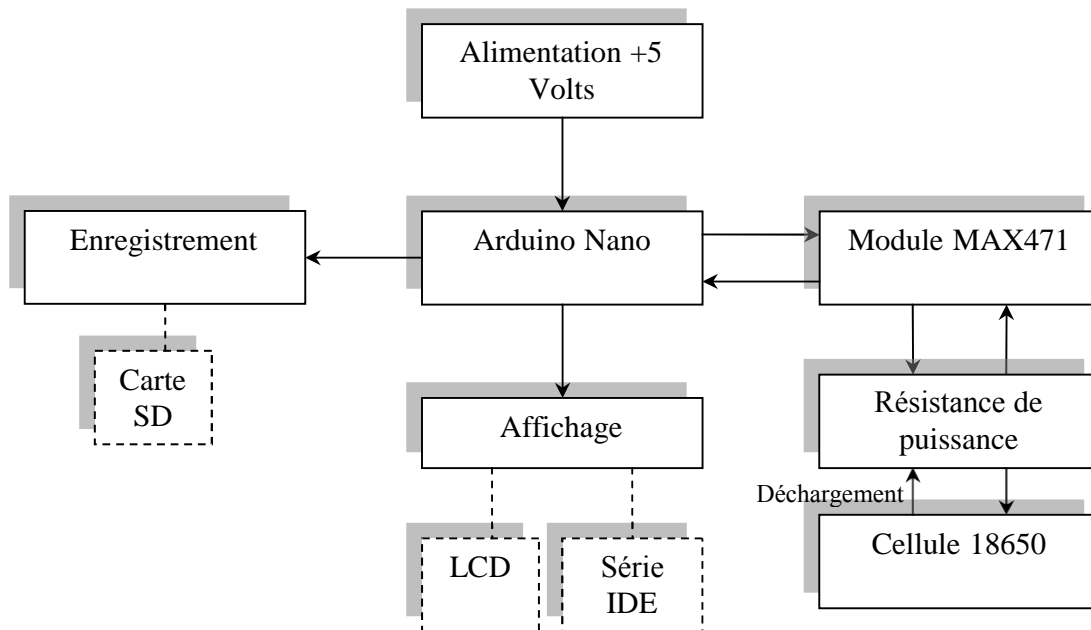


Figure II.1 Schéma synoptique du testeur

II.4.1 Réalisation virtuelle

Le CAO « ISIS Proteus » est un éditeur de schémas qui intègre un simulateur analogique, logique ou mixte. Toutes les opérations se passent dans cet environnement virtuel, aussi bien la configuration des différentes sources que le placement des sondes et le tracé des courbes. Nous allons simuler un montage de testeur simple qui a pour seul but de se familiariser avec les différentes fonctions du simulateur. Les procédures de placement et de simulation seront identiques pour la réalisation réelle [12].

II.4.2 Démarche logique de la réalisation

La logique de cette réalisation est d'assembler quelques sous réalisations qui se diffèrent dans leur fonctionnement mais portant un facteur commun qui est les grandeurs à mesurer, d'après cela, nous avons pu constater qu'il y aura trois mini réalisations.

- Réalisation d'affichage ;
- Réalisation de récolte et traitement d'informations ;
- Réalisation de sauvegarde d'informations.

II.4.2.1 Réalisation d'affichage

La réalisation d'affichage présente la sous réalisation numéro une; elle est basée sur deux type d'affichage « l'affichage sur le moniteur série de l'environnement IDE de l'Arduino et l'affichage de l'information par caractères sur un LCD ».

Les afficheurs standards HD44780 sont utiles pour créer des projets autonomes. Ils peuvent facilement s'interfacer avec de nombreuses plates formes hard telles que les Arduino comme dans notre projet, où nous proposons l'utilisation de l'écran LCD 20×4 caractères rétro-éclairés sur fond vert accompagné d'un contrôleur d'interface LCD I²C.

Comme adresse d'identification I²C pour ce type d'afficheur la signification « 0×27 » définit cet élément. Un minimum de broches gère cette communication avec l'exploitation de quatre broches « Pin: V_{CC}, GND, SDA, SCL ». Les caractéristiques principales de cet afficheur sont :

- Alimentation: 5 Volts sur V_{CC} assurée par la carte Arduino Nano ;
- Interface I²C (adresse 0×27) assurée seulement par les deux broches SDA / SCL;
- Caractères noirs sur fond vert;

- Contraste ajustable via potentiomètre ;
- Dimensions: 98 x 60 x 20 mm.

La figure ci-dessous présente une photo réelle de l'afficheur utilisé.



Figure II.2 *Afficheur LCD 20×4 I²C*

Une bonne démarche doit être précédée par un essai virtuel sous un CAO électrique tel que ISIS de Proteus (voir annexe) ; pour cela, nous avons réalisé une carte électrique programmée basée seulement sur une Arduino Nano et l'afficheur LCD 20×4 I²C afin d'afficher un message de démarrage qui dure trois secondes comme il est montré sur la figure II.3.

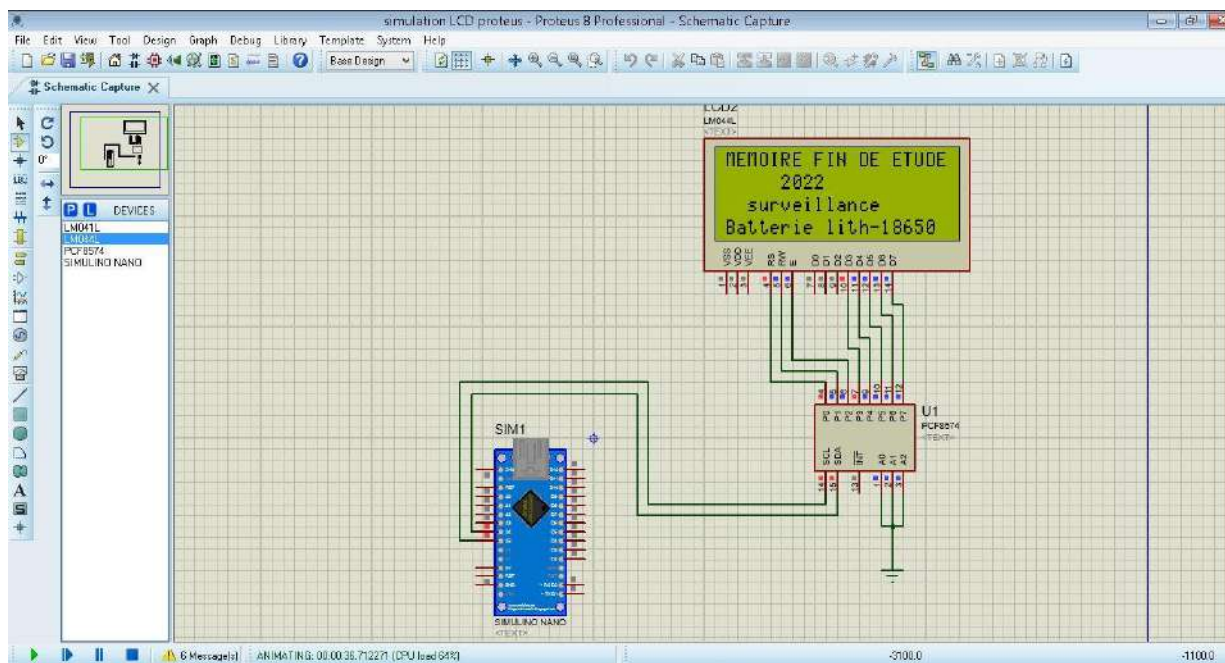


Figure II.3 *Message de démarrage de notre application sous l'environnement ISIS Proteus*

Pour valider cette première réalisation, nous avons injecté le programme d'affichage au noyau de la carte Arduino via le mini port USB : figure ci-dessous montre cet affichage.



Figure II.4 Montage d'affichage

II.4.2.2 Réalisation de récolte et traitement d'informations

La deuxième sous réalisation présente un bloc électrique conçu d'un mini système embarqué « la carte Arduino Nano » qui collabore avec un module « capteur de tension et courant ». L'Arduino Nano mesure le courant consommé et dissipé sous forme de température dans une résistance de puissance de 10Watts d'une part et d'autre part, elle mesure la tension aux bornes de la cellule 18650. Le capteur de tension et de courant « MAX471 » présente un capteur idéal pour ce type d'application vu ses caractéristiques. [13]

a- Le module MAX471

La présence du module MAX471 dans des systèmes où la surveillance de la batterie de la ligne d'alimentation CC est considérée essentielle. La surveillance de la ligne électrique côté haut est particulièrement utile dans les systèmes alimentés par batterie, car elle n'interfère pas avec les chemins de terre des chargeurs de batterie ou des moniteurs souvent trouvés dans les batteries « intelligentes ». Le MAX471 dispose d'une résistance interne de détection de courant de 35 m Ω et mesure les courants de batterie jusqu'à $\pm 3A$. Pour les applications nécessitant un courant plus élevé ou une flexibilité accrue dans notre cas et afin éviter les limite de fonctionnement de ce module, nous avons utilisé une cellule de lithium de 2500mAh.

Pour la mesure de la tension, le principe du test est simple et est basé sur le principe du séparateur de tension résistive qui réduit la tension à l'entrée de l'interface terminale de 5 fois. La tension d'entrée analogique Arduino est de niveau 5Volts, d'où la tension d'entrée du module de détection de tension ne peut être supérieure qu'à $5 \text{ Volts} \times 5 = 25 \text{ Volts}$.

Le module MAX471 nous permet de mesurer le courant d'un circuit en délivrant une valeur analogique que nous pouvons envoyer à la carte Arduino Nano connectée à l'entrée analogique A_0 et A_1 de manière appropriée. Pour chaque ampère mesuré, la carte produira un Volt (le ratio est 1Volt / Ampère, maximum de 3 Ampère). Pour que le module fonctionne, nous devons d'abord connecter la broche V_{IN} à notre ligne d'alimentation positive « la borne positive du batterie 18650 », notre V_{OUT} doit être connecté à la charge « la résistance de puissance de 10 Watts », l'autre extrémité du MAX471 contient quatre broches « deux GND et deux PINs VT et AT » où la PIN « VT » porte l'information de la mesure de tension liée à la broche analogique A_0 de la carte arduino Nano et la PIN « AT » porte l'information de la mesure du courant de décharge où cette PIN est liée à l'Arduino par la broche A_1 . Une des deux PINs « GND » doit être liée au GND de la carte Arduino pour que le tout doive fonctionner correctement. La figure présente le module MAX471 et ses liaisons.

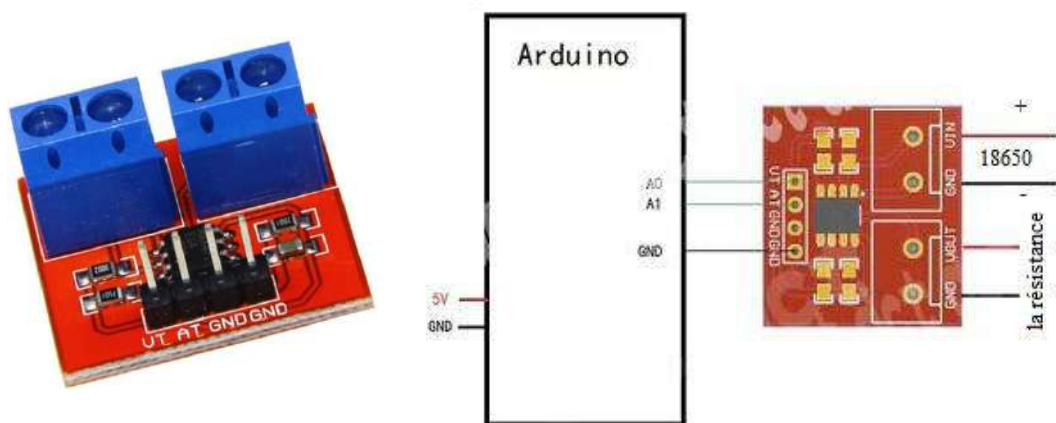


Figure II.5 Le module MAX471

Dans le choix de capteur de mesure, les coûts du matériel et de son utilisation sont de première importance. Il est donc nécessaire d'optimiser le design de manière à répondre aux maximums des exigences du cahier des charges. Le MAX471 a de bonnes fonctionnalités et caractéristiques pour notre application:

- Dimensions réduites : environ 23,8 x 22 x 14 mm ;
- Plage large de détection de tension : 3-25 Volts ;
- Plage large de détection de courant : 0-3 Ampère ;
- Une bonne précision;
- Rapport de conversion de courant à tension : 1 V/A

b- Batterie lithium-ion 18650

Il existe une grande variété de types de batteries lithium-ion, ces variétés diffèrent par leur composition chimique et les additifs. Dans notre travail, nous avons sélectionné un type populaire de ces cellules : le 18650. Elle est un standard utilisé dans de nombreux appareils et notamment dans les smart batteries d'ordinateurs. Les cellules 18650, les plus répandues font 18mm de diamètre et 65mm de longueur. La forme en cylindre indiquée par le chiffre zéro n'est certes pas la meilleure en terme d'encombrement mais rappelons nous du fait que la température de ces accus est un point critique et la forme cylindrique permet de limiter les échanges thermiques entre éléments tout en permettant une circulation d'air pour le refroidissement. [5, 14]

La tension nominale d'un élément Lithium-ion est de 3,6 ou 3,7 Volts « selon la technologie ». La tension de charge ne doit jamais dépasser 4.2Volts (sachant que le fait de dépasser cette tension, a non seulement de graves conséquences pour l'accumulateur mais peut s'avérer très dangereuse).

La tension minimale supportée est de 3Volts dans la pratique. Techniquement, toute tension inférieure à 2.5Volts entraîne une forte dégradation de la cellule. Par conséquent, on doit toujours se tenir à un seuil minimal de 3Volts en dessous duquel la cellule risque de subir des situations dites de stress qui vont rapidement dégrader ses performances [5]. Sur la figure II.6 une cellule 18650 est présentée sur un support unitaire.



Figure II.5 Batterie lithium-ion 18650

Sur le plan pratique, les deux bornes de cette cellule sont connectées via deux fils de connexion sur les deux terminaux bornes V_{IN} et GND du capteur MAX471.

c- La résistance de puissance

L'élément utilisé pour décharger la cellule 18650 c'est juste une résistance de puissance de 10 Watts 10 Ohms vernie en or et bobinée en aluminium ; elle est donc une résistance de revêtement dissipateur. Elle possède une stabilité et une précision élevées. De plus, elle a été utilisée pour diverses applications en raison de la large plage de résistance et est caractérisée comme suit :

- revêtement en aluminium résistance ;
- Tolérance de la résistance : $\pm 5\%$ (J) ; plomb: diamètre 0,8 mm/0,0315 ;
- Longueur totale : 63 mm/2,5 ;
- Taille du corps : $19 \times 11 \times 10$ mm/0.75 \times 0.43 \times 0.39 (L \times W \times T)
- Matériau extérieur : aluminium ; Couleur: Or ;
- Poids net : 10 grammes.



Figure II.6 Résistance de puissance

Sur notre montage, cette dernière présente l'élément qui reflète la valeur du courant de dissipation ; elle est liée sur les deux terminaux bornes V_{OUT} et GND du capteur MAX471 par deux fils de connexion.

d- Le microcontrôleur Atmel

Le noyau de notre dispositif est une carte Arduino Nano, elle présente le produit le plus spécifique et compacte que les cartes Arduino Uno et Arduino Mega. Elle est parfaite pour les applications un peu plus petites mais malgré sa petite taille, elle contient une puissance intéressante pour permettre la construction d'objets intelligents et portables.

L'Arduino Nano est constituée de 14 broches d'entrées/sorties digitales dont six sont utilisables en PWM, de 8 broches d'entrées analogiques, un port de communication série de type

mini-USB, d'un port ICSP et d'un bouton RESET. La figure ci-dessous présente une illustration détaillée à toutes les PINs de cette carte.

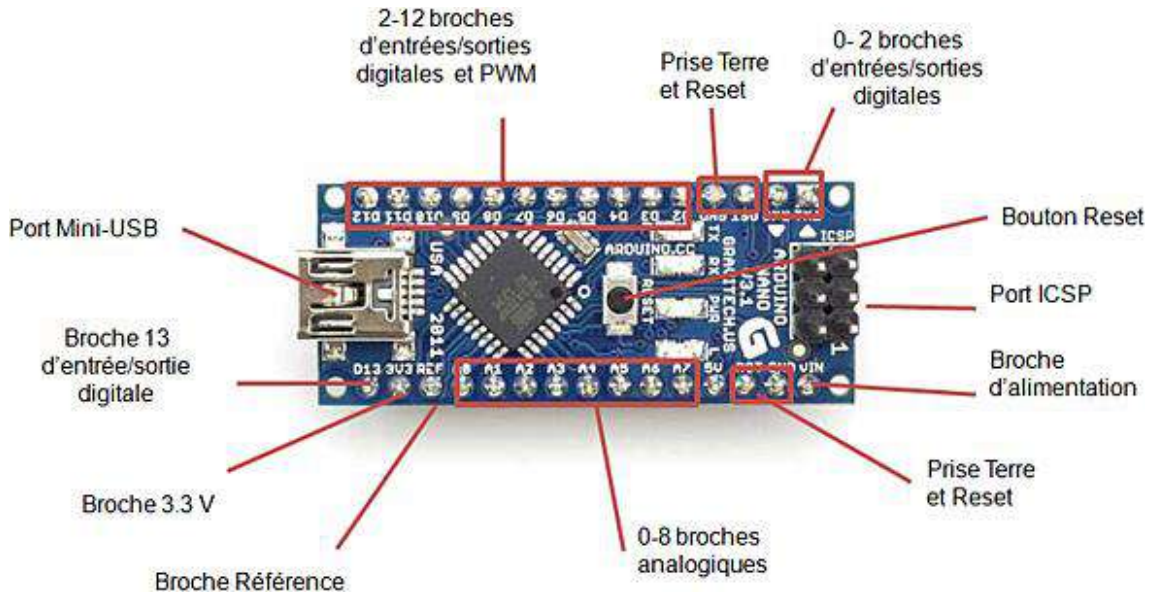


Figure II.8 La carte Arduino Nano

Dans notre application seulement deux PINs analogiques sont exploitées donc on peut facilement ajouter trois paires de broches afin de surveiller quatre cellules au lieu d'une seule cellule. Pour la réalisation virtuelle de cette sous réalisation le manque de la librairie du composant MAX471 sous l'environnement ISIS Proteus nous empêche de le simuler virtuellement.

II.4.2.3 Réalisation de sauvegarde d'informations

La troisième sous réalisation de notre application réside dans le fait quand a besoin d'enregistrer des informations récoltées comme base de données sur une carte mémoire externe. Pour cela, nous avons sélectionné un module d'adaptation SD pour carte arduino, la figure ci-dessous montre une photo de ce module populaire dans le domaine de sauvegarder des données. Le module micro SD utilisé a pour but de stocker toutes nos mesures dans un fichier Excel.

Ce module est un lecteur de carte Micro SD (TF), doté d'une interface SPI et d'une alimentation 5Volts compatible avec Arduino Nano, il est caractérisé par :

- Une alimentation de : 4,5 V - 5,5Volts ;
- Un Courant de fonctionnement de: 0,2 mA - 200 milliampère ;

- Alimentation d'interface : 3,3 V ou 5 Volts ;
- Le Type de carte prise en charge : carte Micro SD « <= 2 Giga bit », carte Micro SDHC « <= 32 Giga bit » ;
- Taille : 42x24x12mm.

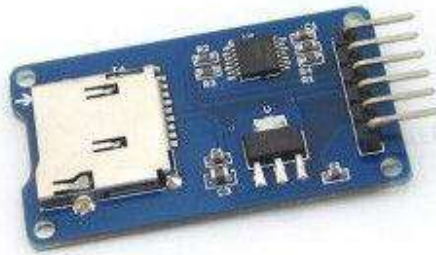


Figure II.9 Module micro SD

Le module pour carte micro-SD permet d'ajouter un espace de stockage sur le microcontrôleur de la carte Arduino Nano. Dans notre application, il est raccordé sur les entrées digitales 10, 11, 12 et 13 d'une carte Arduino : le détail de ce brochage est donné sur la réalisation virtuelle et la réalisation pratique photographiée ci-dessous. [12]

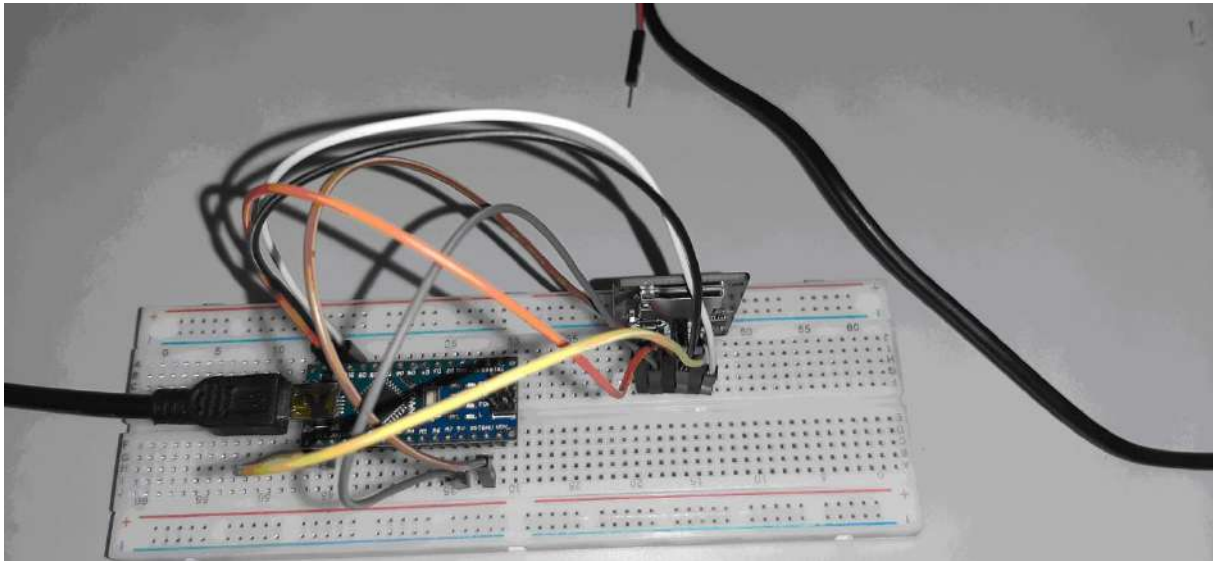


Figure II.10 Réalisation pratique qui relie le module SD avec la carte Arduino Nano

La figure II.10 montre la simulation virtuelle de ce composant sous l'environnement ISIS ainsi que les messages envoyés par le microcontrôleur de notre carte sur le port série confirmant l'existence d'une carte mémoire dans le module SD.

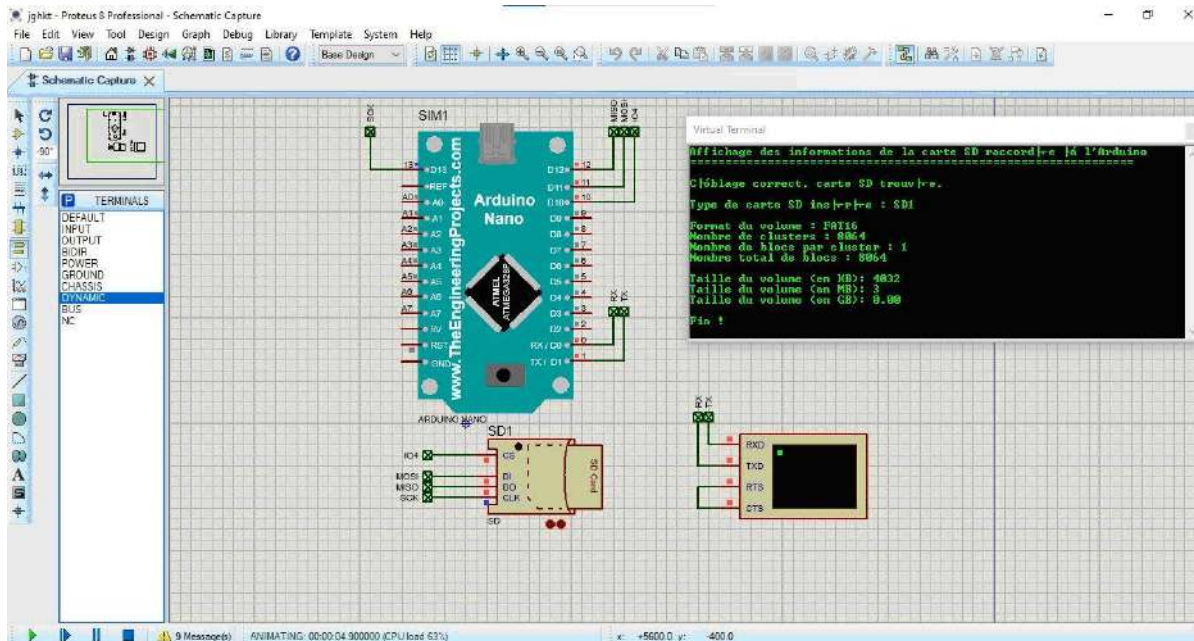


Figure II.11 Photo sous ISIS Proteus du module SD utilisé

Sur le plan pratique, une capture d'écran du moniteur série de l'IDE (voir annexe) de l'Arduino confirme la réussite de notre sous réalisation de sauvegarde. La photo montrée sur la figure II.11 nous donne les mêmes messages émis par la carte Arduino sur la figure précédente.

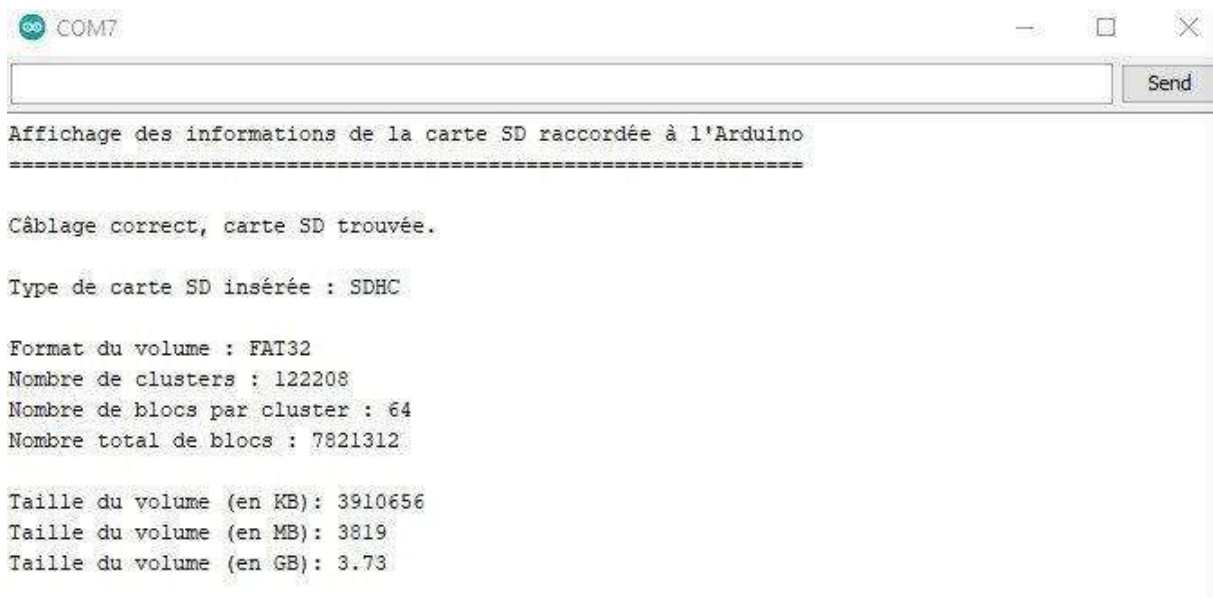


Figure II.12 Réponse sur le moniteur série de l'IDE de l'Arduino

II.5 Réalisation globale

La démarche à suivre lors de l'utilisation de ce dispositif de test est de commencer par connecter la cellule sur son support en assurant l'utilisation des fils courts à faible résistance, car la dissipation de puissance dans les fils peut entraîner des chutes de tension et des imprécisions. (Résistance de charge R dans le sens de la puissance appelée).

Avant de connecter la cellule au lithium 18650 sur les broches V_{OUT} et GND du module MAX471, nous devons charger la cellule avec un chargeur « limité au moins à 500mA DC » avec le module TP4056 (voir annexe).

Pendant la décharge de la batterie, il faut veiller à ce qu'elle ne dépasse pas le seuil indiqué dans la procédure et que la batterie ne soit pas profondément déchargée. Durant la phase de décharge, les valeurs de la tension et du courant de décharge sont affichées sur LCD 20×4 et le moniteur série de l'IDE de l'Arduino. La décharge de la batterie s'arrête automatiquement quand la tension de la cellule atteint le niveau minimal;

A la fin de la mesure, nos résultats (courant, tension, puissance et énergie consommée) sont sauvegardés dans la carte SD dans un fichier Excel. Les trois figures qui suivent montrent respectivement les photos de la réalisation pratique de notre testeur de cellule au lithium 18650 ainsi que sa réponse sur le port série du moniteur IDE de l'Arduino.

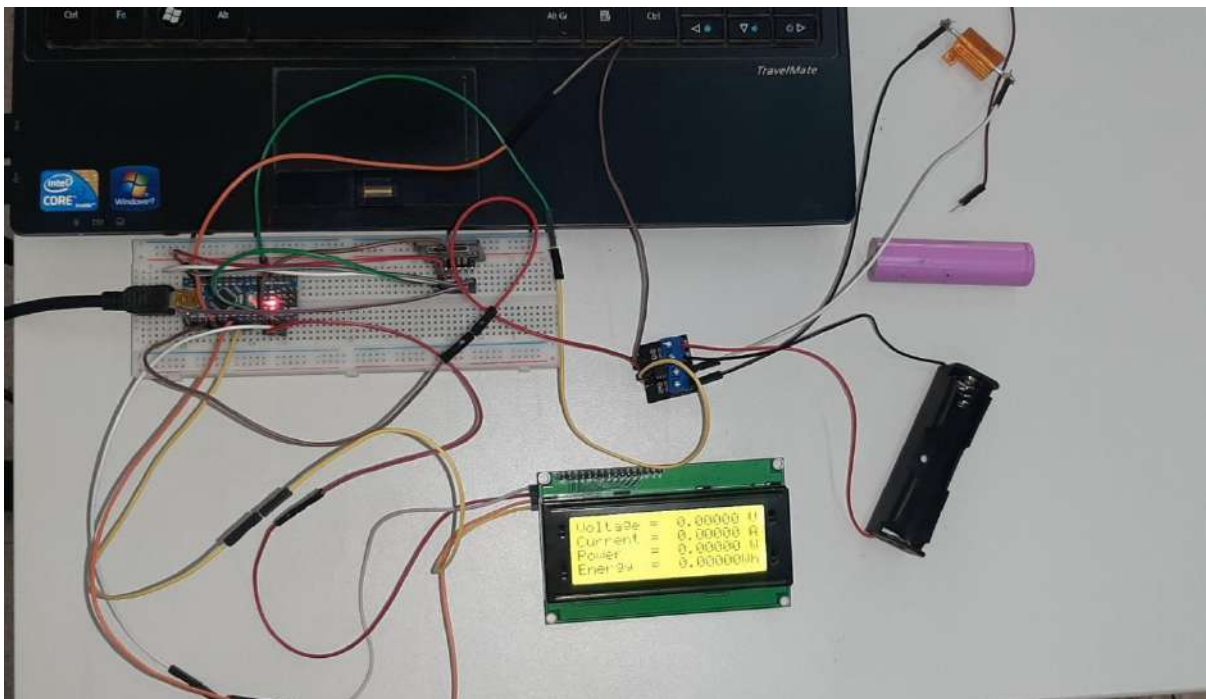


Figure II.13 La réalisation pratique de notre dispositif à vide

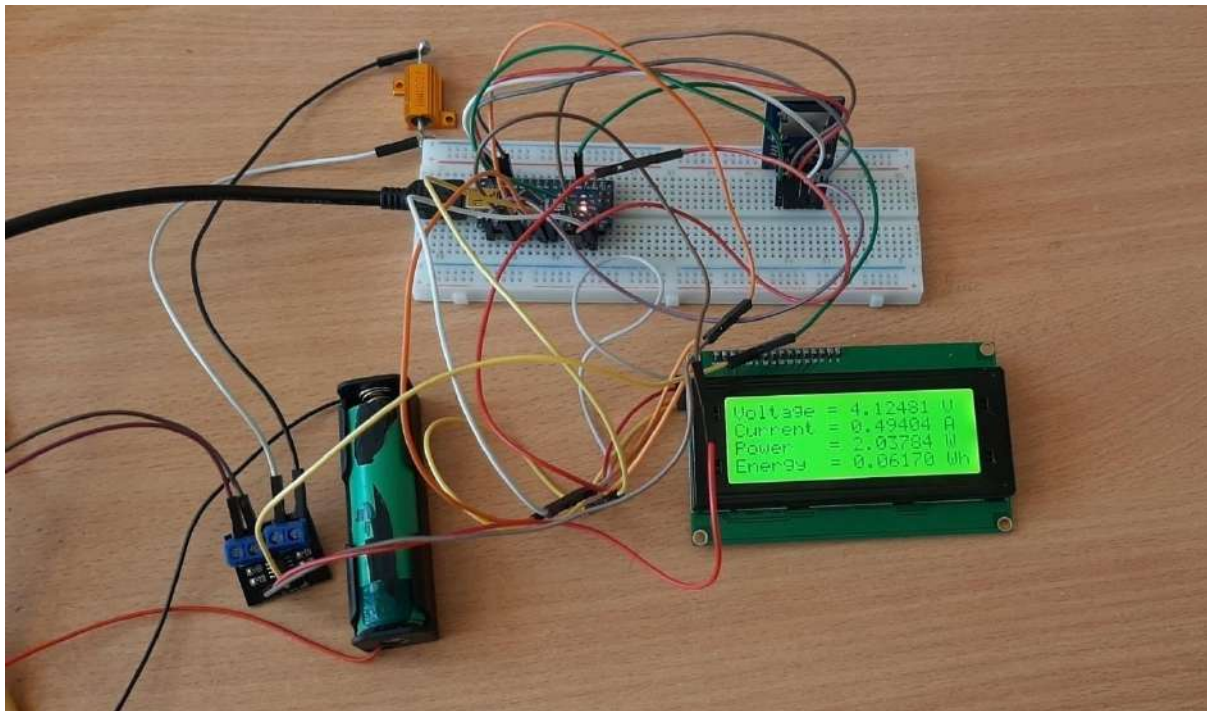


Figure II.14 La réalisation pratique du notre dispositif lors de la phase de décharge de la cellule lithium ion 18650

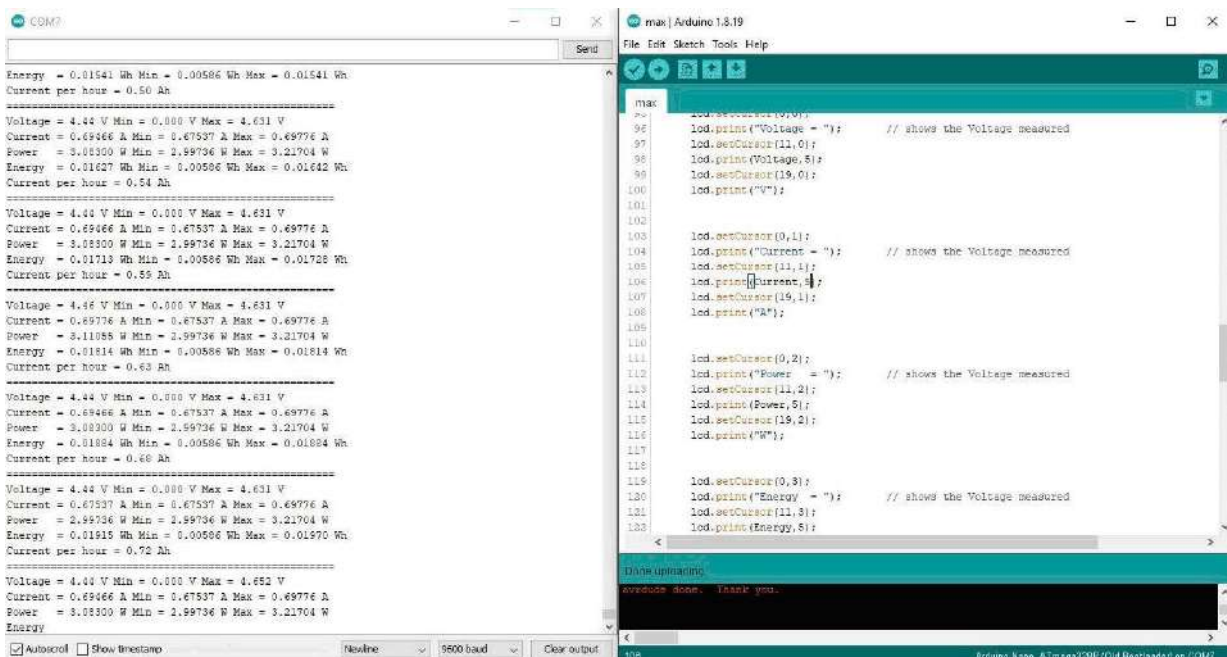


Figure II.15 Les informations récoltées sur le port série du moniteur de l'IDE de l'Arduino

II.6 Conclusion

Durant ce chapitre, nous avons étudié les différentes sous réalisations une par une afin de simplifier la réalisation globale. Tous les éléments de cette réalisation sont sélectionnés avec précision afin d'aboutir à une carte électrique plus optimisée que possible et qui gère une décharge automatisée d'une cellule au lithium ion 18650.

Afin de valider définitivement ce travail, le chapitre qui suit a pour but de présenter la partie soft de cette application.

Chapitre III

Description et analyse de programme

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons un organigramme qui montre schématiquement les différentes démarches du programme principal. Nous procédons ensuite à une exposition graphique du programme réalisé à l'aide de l'IDE Arduino avec une explication enchaînée. Nous terminons par une illustration montrant la mise en œuvre réelle de la création d'un fichier Excel qui porte toutes les informations récoltées lors du test.

La programmation de la carte Arduino Nano se fait dans un même environnement graphique ainsi que la compilation et le lien de transfert du code. Pour cela, nous devons passer par les étapes suivantes :

- Organiser un algorithme ;
- Sélectionner un langage de programmation par exemple (C++) ;
- Choix du logiciel (IDE de l'Arduino) ;
- Charger l'Arduino par son code HEX à travers une liaison mini USB.

III.2 Langage de programmation

Afin de développer notre programme de mesure de la tension et du courant lors de la décharge d'une cellule au lithium ion 18650 par la technique de dissipation via une résistance de puissance, nous avons pu faire une petite recherche concernant l'environnement utile pour cette programmation.

Les réalisateurs de l'Arduino ont développé un logiciel comme environnement de programmation soit, visuel, simple et complet à la fois que l'on appelle IDE, qui signifie « Integrated Development Environment » en anglais ou Environnement de Développement « Intégré » en français (donc EDI).

L'IDE de l'Arduino affiche une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation. Nous pouvons donc saisir notre programme, l'enregistrer, le compiler, le vérifier et le transférer sur une carte arduino. Ce logiciel est basé sur le langage C++ en raison de sa richesse et des bibliothèques de disponibilité qui permettent la communication avec divers composants connectés à la carte Arduino. Le programme source est compilé au format hexadécimal et prêt à être injecté dans le microcontrôleur.

III.3 Présentation de l'organigramme

L'organigramme est une présentation graphique d'éditeurs et de commande d'une maquette pédagogique qui permet d'éclaircir des commandes et des divers actionneurs ou de lire l'état des capteurs (analogiques ou numériques). La présentation visuelle sous forme d'organigramme permet une prise en main rapide et compréhensible. Les organigrammes permettent d'afficher plus facilement qu'avec un texte le déroulement d'un cycle du système automatisé. L'organigramme obéit à des règles d'écriture très simples : il débute toujours par une case début et il n'y'a que trois types de cases comme il est représenté ci-dessous :

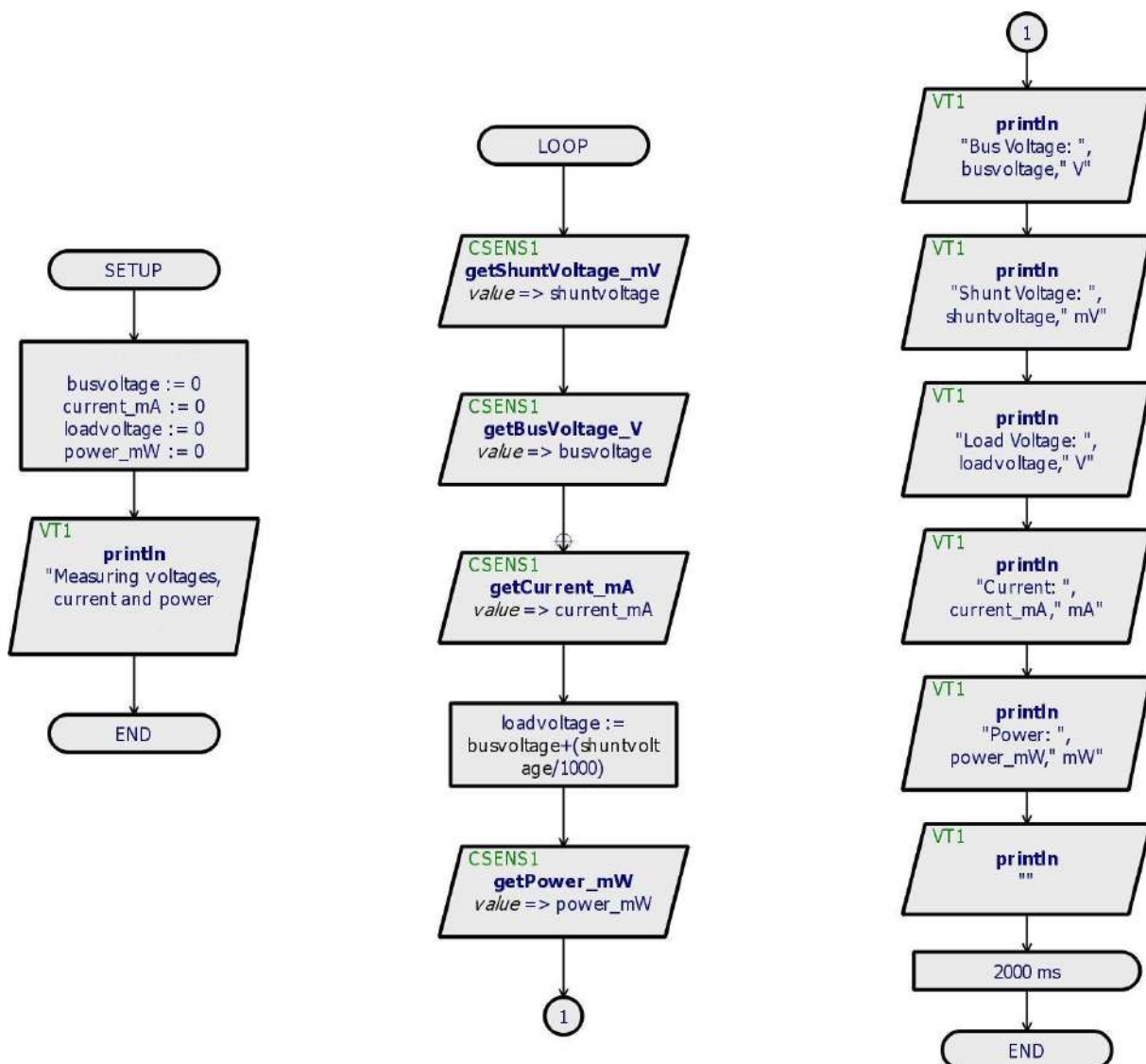


Figure III.1 Organigramme de mesure de la tension et du courant

Cet organigramme résume que les procédures « mesure de la tension, mesure du courant ainsi que leurs affichages sur le port série ».

III.4 Présentation du programme

Nous avons favorisé la présentation par la photographie des parties du programme source de notre application écrite sous l'IDE de l'Arduino afin d'expliquer son déroulement. Le programme comporte trois parties.

- La partie de la déclaration des variables, les constantes et librairies.
- La partie de l'initialisation et de la configuration des entrées / sorties : la fonction `setup ()`.
- La partie principale qui s'exécute en boucle fermée : la fonction `loop ()`.

La figure III.2 représente une capture d'écran du programme qui illustre les librairies associées à l'environnement tels que la carte SD, l'afficheur LCD 20×4 et le protocole I²C ainsi que quelques lignes de commande nécessaires pour que les déclarations fonctionnent correctement.



```
sketch_jun03a | Arduino 1.6.1
Fichier Édition Croquis Outils Aide

sketch_jun03a $
1 #include <Arduino.h>
2 #include <SD.h>
3 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
5
6 #include<SPI.h>
7 #include "Wire.h"
8 int chipSelect = 10;
9 File mySensorData;
10
11
12 #define max471VT A0
13 #define max471AT A1
```

Figure III.2 Les librairies utilisées

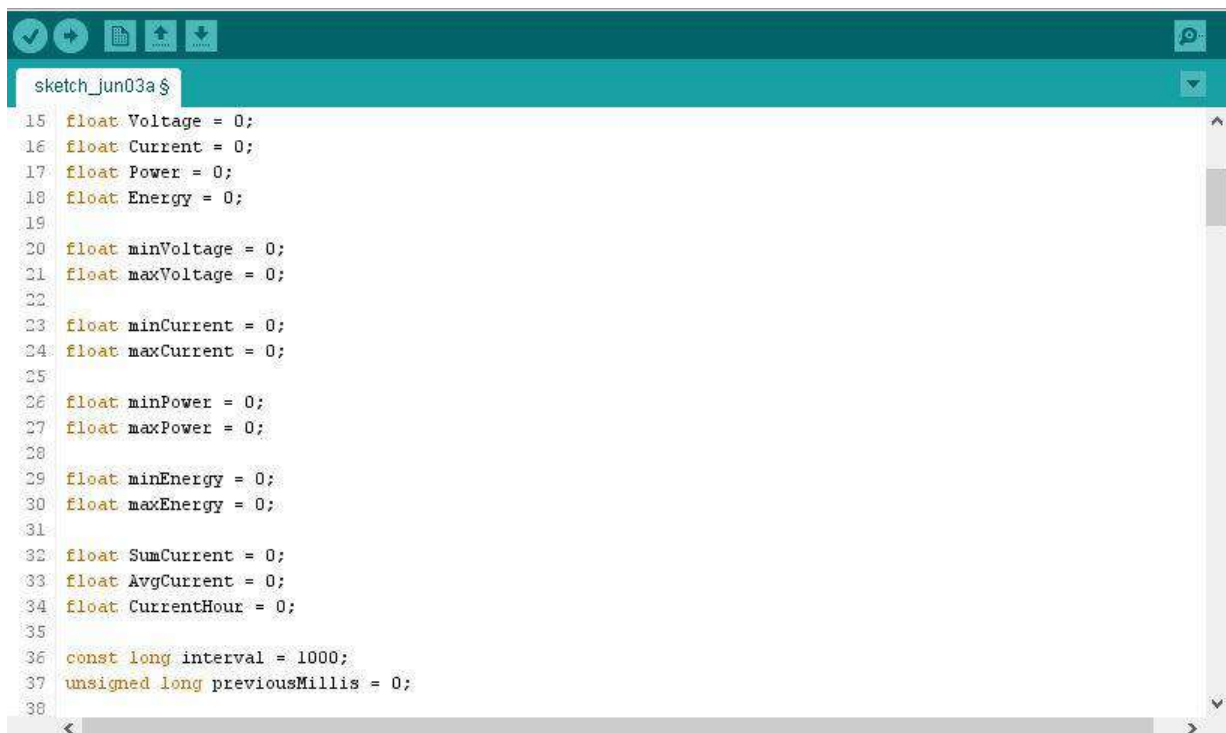
La figure III.2 nous montre la première étape qui est la déclaration de quelques bibliothèques «librairies du type de microcontrôleur sélectionné (Arduino), librairies SD et librairies du LCD sur son port I²C » par l'utilisation du mot clé « Include » suivie par une autre déclaration de la bibliothèque SPI qui nous permet de communiquer avec l'Arduino comme

appareil contrôleur. Même chose pour la bibliothèque « WIRE » elle nous permet de communiquer sur la liaison I²C lorsqu'il s'agit d'un adressage sur ligne de données SDA et SCL.

Sur la figure III.2 les lignes 8 et 9 présentent respectivement l'initialisation de la PIN de la lecture de la carte mémoire SD sur la PIN 10 de la carte Arduino Nano et la création d'un fichier « mySensorData » qui présente l'objet de données dans lequel nous écrivons nos données comme un fichier journal.

Pour les deux lignes 12 et 13 du programme, on a fait une affectation « adressage directe » sur les deux broches analogiques A₀ et A₁ afin de mesurer les deux grandeurs tension et courant de décharge.

Sur la figure qui suit, on remarque qu'on a plusieurs variables à déclarer qui sont stockées sous forme de 32 bits (4 octets d'informations) où les deux premières variables présentent les deux grandeurs à mesurer et les deux variables qui suivent présentent les deux grandeurs à calculer.



```
15 float Voltage = 0;
16 float Current = 0;
17 float Power = 0;
18 float Energy = 0;
19
20 float minVoltage = 0;
21 float maxVoltage = 0;
22
23 float minCurrent = 0;
24 float maxCurrent = 0;
25
26 float minPower = 0;
27 float maxPower = 0;
28
29 float minEnergy = 0;
30 float maxEnergy = 0;
31
32 float SumCurrent = 0;
33 float AvgCurrent = 0;
34 float CurrentHour = 0;
35
36 const long interval = 1000;
37 unsigned long previousMillis = 0;
38
```

Figure III.3 Déclaration des variables

La deuxième étape de cette structure est la fonction « setup », c'est la fonction exécutée à l'initialisation de la carte où on trouve plusieurs initialisations :

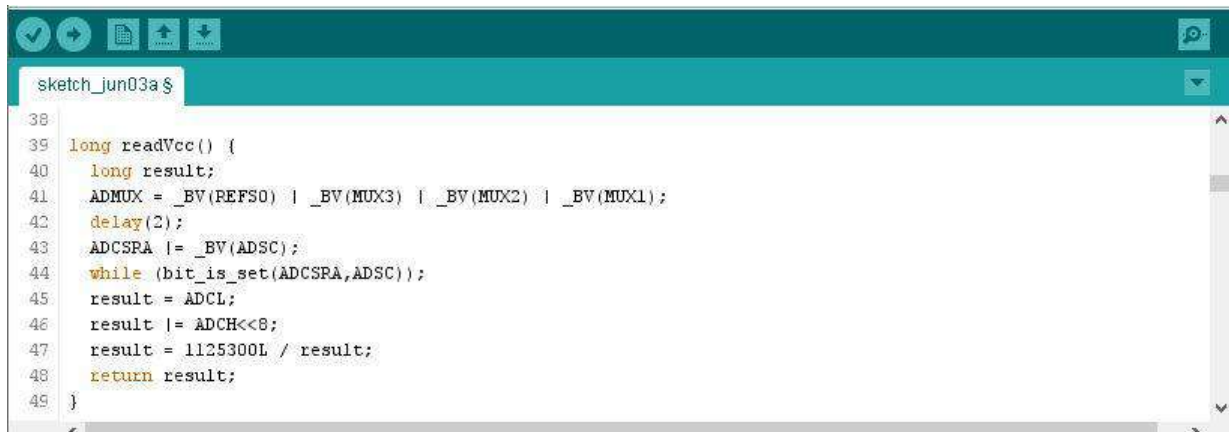
- Les deux PINs « MAX471VT et MAX471AT » sont des entrées ;
- Initialisation du lecteur de carte SD ;
- Initialisation de la communication série à 9600 bauds ;
- Initialisation de l'afficheur LCD 20×4 ;
- L'envoi d'un message de commencement qui dure 3 secondes ;
- Limitation de quelques variables au démarrage ;

```
96 void setup() {
97     pinMode(max471VT, INPUT);
98     pinMode(max471AT, INPUT);
99     Serial.begin(9600);
100    SD.begin(10);
101    Wire.begin();
102    lcd.init();
103    lcd.backlight();
104    lcd.clear();
105    lcd.backlight();
106    lcd.setCursor(0,0);
107    lcd.print("MEMOIRE FIN DE ETUDE");
108    lcd.setCursor(0,1);
109    lcd.print("    2022    ");
110    lcd.setCursor(0,2);
111    lcd.print(" surveillance ");
112    lcd.setCursor(0,3);
113    lcd.print("Batterie lith-18650");
114    delay(3000);
115
116
117    minVoltage = 9999;
118    maxVoltage = 0;
119    minCurrent = 9999;
120    maxCurrent = 0;
121    minPower = 9999;
122    maxPower = 0 ;
123    minEnergy = 9999;
124    maxEnergy = 0;
125 }
```

Figure III.4 Illustration de la fonction « setup »

Pour une meilleure démarche du programme, nous avons créé deux procédures où la première est montrée sur la figure III.5. Cette procédure a pour rôle de calculer et calibrer les valeurs de la mesure sur les deux PINs analogique A_0 et A_1 .

Sur la ligne 47, on trouve le chiffre 1125300 qui présente la multiplication de 1023 par 1000 pour 1.1 Volts « voltage d'une cellule rechargeable à 1.1Volts » donc quelque soit la tension de la cellule utilisée, on peut changer cette déclaration selon le type de la cellule d'où le programme va calibrer tous les calculs pour un meilleur résultat.



```
sketch_jun03a $
38
39 long readVcc() {
40     long result;
41     ADMUX = _BV(REFS0) | _BV(MUX3) | _BV(MUX2) | _BV(MUX1);
42     delay(2);
43     ADCSRA |= _BV(ADSC);
44     while (bit_is_set(ADCSRA,ADSC));
45     result = ADCL;
46     result |= ADCH<<8;
47     result = 1125300L / result;
48     return result;
49 }
```

Figure III.5 Procédure de calibration de la tension

Pour la deuxième procédure, nous avons réalisé une démarche d’affichage sur le port série du moniteur de l’IDE de l’Arduino afin qu’il soit apte pour une autre communication « Bluetooth, DB9, USB, réseaux, etc. ». La figure ci-dessous, nous montre les lignes de cette procédure.



```
sketch_jun03a $
50 void showData(){
51     Serial.print("Voltage = ");
52     Serial.print(Voltage);
53     Serial.print(" V");
54     Serial.print(" Min = ");
55     Serial.print(minVoltage,3);
56     Serial.print(" V");
57     Serial.print(" Max = ");
58     Serial.print(maxVoltage,3);
59     Serial.println(" V");
60
61     Serial.print("Current = ");
62     Serial.print(Current,5);
63     Serial.print(" A");
64     Serial.print(" Min = ");
65     Serial.print(minCurrent,5);
66     Serial.print(" A");
67     Serial.print(" Max = ");
68     Serial.print(maxCurrent,5);
69     Serial.println(" A");
70 }
```

Figure III.6 Procédure d’affichage sur le port série

La troisième étape de ce programme présente la boucle infinie où un bout de code exécute la boucle conditionnelle qui permet de tester une condition et qui exécute le programme tant que la condition testée est vraie ; tant que la valeur de la tension de la cellule n’est pas au dessous de

la valeur minimale déclarée comme il est montré sur les lignes 138, 143, 148, 154 de la figure III.7.

```
127 void loop(){
128     unsigned long milisec = millis();
129     long time = milisec/1000;
130     int RawVT = analogRead(max471VT);
131     int RawAT = analogRead(max471AT);
132     float Vcc = readVcc() / 1000.0;
133     Voltage = ((RawVT * Vcc) / 1023) * 5 ;
134     maxVoltage = max(Voltage, maxVoltage);
135     minVoltage = min(minVoltage, Voltage);
136     Current = (RawAT * Vcc) / 1023;
137     maxCurrent = max(maxCurrent, Current);
138     if (Current > 0) {
139         minCurrent = min(minCurrent, Current);
140     }
141     Power = Voltage * Current;
142     maxPower = max(maxPower, Power);
143     if (Power > 0) {
144         minPower = min(minPower, Power);
145     }
146     Energy = (Power * time) / 3600;
147     maxEnergy = max(maxEnergy, Energy);
148     if (Energy > 0) {
149         minEnergy = min(minEnergy, Energy);
150     }
151     SumCurrent = SumCurrent + Current;
152     AvgCurrent = SumCurrent / time;
153     CurrentHour = (AvgCurrent * time) / 3600;
154     if (milisec - previousMillis >= interval) {
155         previousMillis = milisec;
156         showData();
157         delay(1000);
158     }
```

Figure III.7 La boucle conditionnelle « loop »

Sur la figure III.8 une autre partie de la boucle « loop » montre une autre condition de fonctionnement qu'est, l'existence de la carte mémoire sur le support adaptateur SD précisément sur la ligne 160.

Sur la ligne 159, on voit l'instruction de la création d'un fichier de format Excel sous l'extension « .csv ». le caractère « , » présente sous l'environnement IDE de l'Arduino le saut vers une autre cellule du fichier Excel « colonne ».

Dans cette partie du programme, on voit bien les différentes lignes qui génèrent le fichier Excel « les lignes 159-170 » ainsi que des diverses lignes responsables de l'affichage sur LCD pour les différentes grandeurs « tension, courant, puissance et énergie consommée».


```
159 mySensorData = SD.open("471.csv", FILE_WRITE);
160 if (mySensorData) {
161     delay(1000);
162     mySensorData.print(Voltage);
163     mySensorData.print(",");
164     mySensorData.print(Current);
165     mySensorData.print(",");
166     mySensorData.print(Power);
167     mySensorData.print(",");
168     mySensorData.println(Energy);
169     mySensorData.close();
170 }
171 lcd.clear();
172 lcd.setCursor(0, 0);
173 lcd.print("Voltage = ");
174 lcd.print(Voltage,5);
175 lcd.print(" V");
176 lcd.setCursor(0, 1);
177 lcd.print("Current = ");
178 lcd.print(Current,5);
179 lcd.print(" A");
180 lcd.setCursor(0, 2);
181 lcd.print("Power = ");
182 lcd.print(Power,5);
183 lcd.print(" W");
184 lcd.setCursor(0, 3);
185 lcd.print(F("Energy = "));
186 lcd.print(Energy,5);
187 lcd.print(" Wh");
188 delay(1000);
189 }
190
```

Figure III.8 La boucle principale « loop » de notre application

III.5 Résultats expérimentaux

Après l'étape de la simulation, nous nous sommes intéressés au côté pratique où nous avons effectué quelques tests expérimentaux. En premier lieu, une recharge de la cellule par le module TP4056 doit être faite et où le multimètre nous indique qu'il y'a un potentiel positif de 4.2 Volts.

Comme il est indiqué précédemment dans le chapitre II sur les trois dernière figures, on laisse la cellule 18650 se décharge pendant presque deux heures et les résultats ont été enregistrés automatiquement à la fin de ce test afin de trouver un fichier Excel de type « .csv » sur la carte mémoire sous le nom de 471.csv comme il est montré sur la figure III.9.

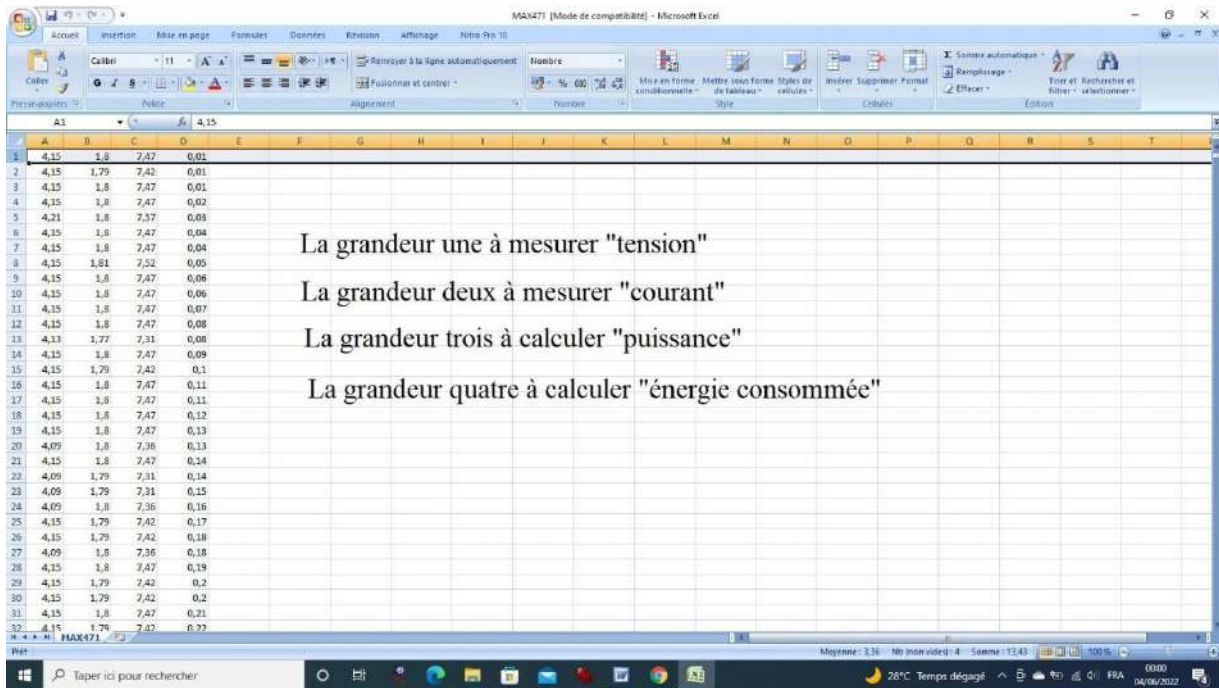


Figure III.9 Fenêtre du fichier Excel crée

Le pas de mesure est de deux secondes. Les lignes du fichier Excel 471.csv générées par notre programme sont de : 2126 lignes ce qui correspond à une heure, 7 minutes et 8 secondes. Les quatre figures III.10, III.11, III.12 et III.13 qui suivent présentent toutes les grandeurs mesurées et calculées par notre programme graphiquement.

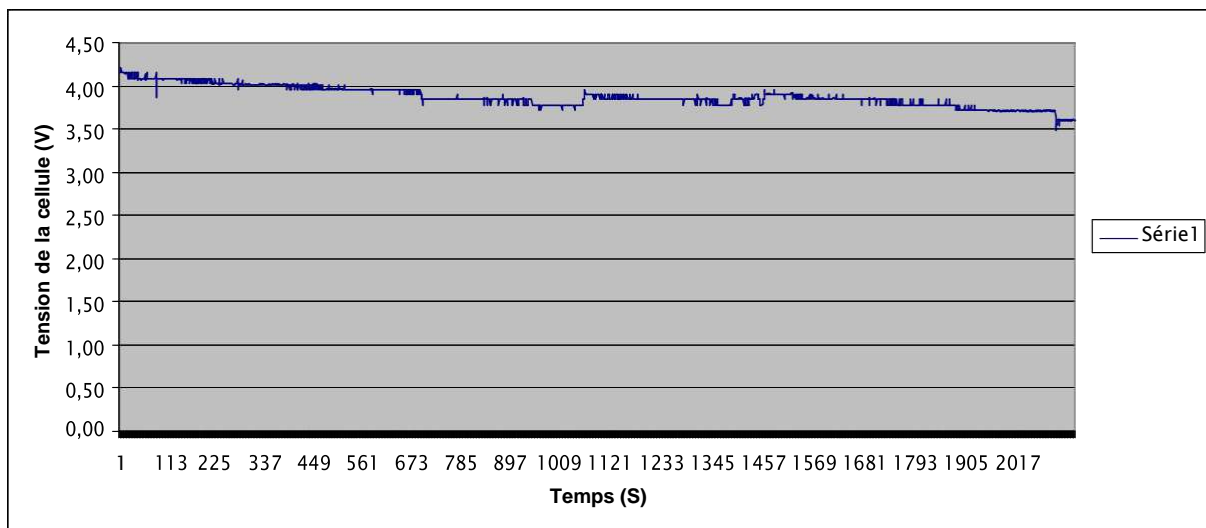


Figure III.10 Tension de la cellule lors de la phase de décharge

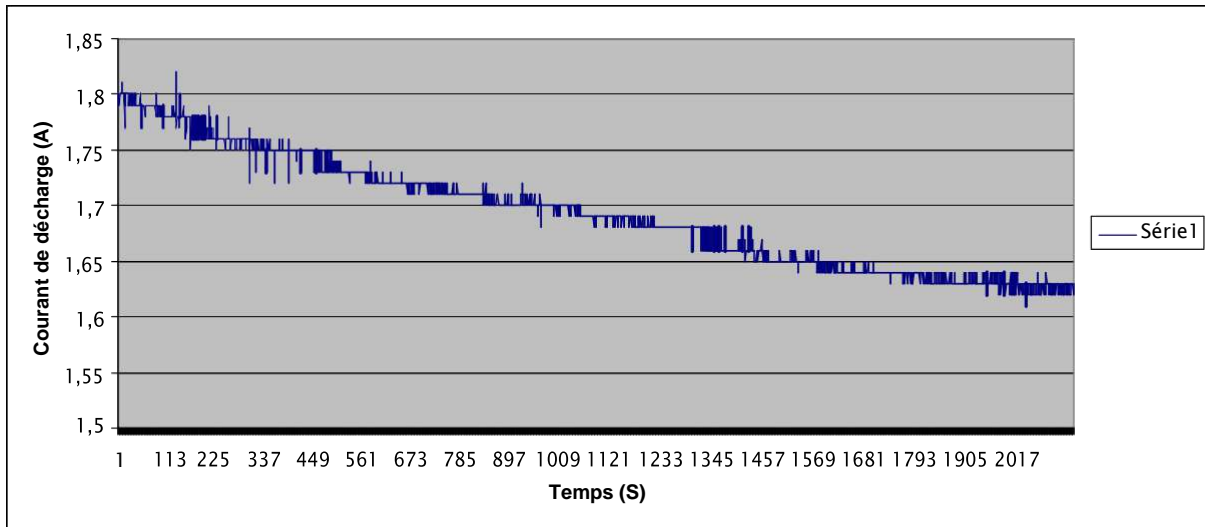


Figure III.11 Courant de la cellule lors de la phase de décharge

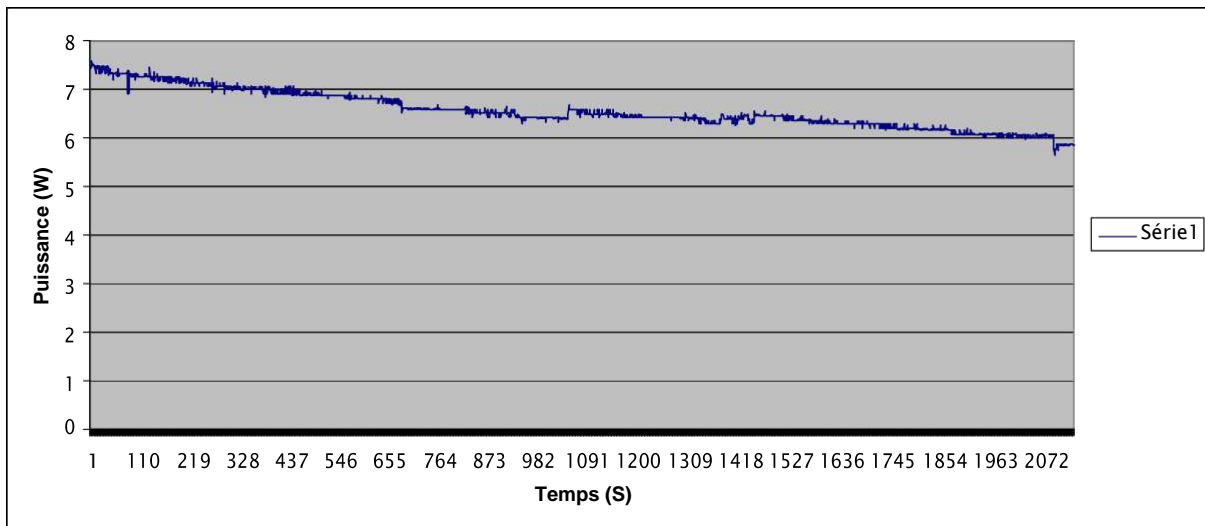


Figure III.12 Puissance de la cellule lors de la phase de décharge

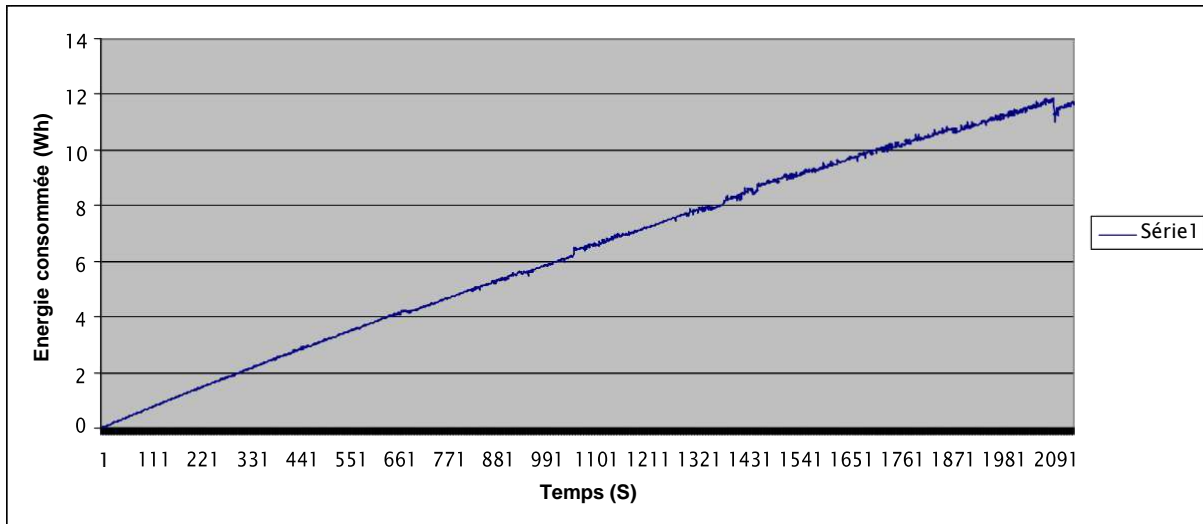


Figure III.13 *Energie consommée par la résistance lors de la phase de décharge*

La carte réalisée montre une stabilité de mesure remarquable selon les quatre figures présentées. L'objectif de ce chapitre n'est pas de montrer non seulement le fonctionnement du testeur mais de rassembler le maximum possible d'informations sur le comportement des cellules au lithium ion durant leurs décharges ; donc créer une base de données prête d'être exploitées pour des différentes identifications.

III.6 Conclusion

Après avoir passé en revue les étapes et les procédures liées à la programmation, nous avons abordé les différentes étapes du programme qui ont été menées pour chaque élément de la carte et les outils utilisés dans cela nous ont permis d'obtenir et d'interpréter les résultats. via le programme Arduino.

Afin d'obtenir une décharge rapide et d'afficher plus rapidement le comportement de la cellule 18650 lors de sa décharge, nous avons mis au point une valeur précise du courant de décharge avec l'utilisation d'une résistance de dissipation adéquate à notre application et malgré le peu d'équipements et de moyens disponibles, on peut conclure que les résultats obtenus sont satisfaisants.

Conclusion Générale

1 Généralités

Généralement, il existe plusieurs facteurs externes qui réduisent la durée de vie de la batterie y compris la température, résultant d'une erreur d'augmentation du courant, cela influe sur les résultats pratiques de n'importe quel testeur de courant et tension de la batterie, d'où il est nécessaire de contrôler le courant de décharge afin d'obtenir une décharge meilleure et afficher les détails de mesure en précisions.

A la fin de ce travail et après une étude, nous avons réussi à réaliser un dispositif de diagnostique pour les cellules au lithium-ion 18650 en mesurant à la fois le courant et la tension en temps réel et en calculant la puissance et l'énergie consommée pendant la phase de décharge. Comme précautions dans notre application et selon le premier test le courant de décharge doit être le facteur le plus intentionné afin d'assurer une décharge bien contrôlée.

Le test de décharge ne doit pas atteindre le minimum en économisant les variables pendant la durée de la période de décharge de la batterie à traiter afin d'éviter la décharge profonde.

2 Problèmes rencontrés

Parmi les problèmes que nous avons rencontrés lors de notre travail :

L'état de charge de la cellule 18650 est inconnue quelque soit son état « neuve ou usée ». L'inexistence d'un testeur approprié à ce type de cellules afin de comparer nos résultats avec ce que nous donne ce dernier.

Le temps insuffisant pour achever plusieurs tests et d'atteindre de meilleurs résultats

3 Perspectives du projet

Nous espérons que ce projet servira d'élément essentiel pour d'autres études.

Augmenter et implanter le nombre de cellules à tester jusqu'à quatre d'où l'Arduino Nano utilisé possède déjà trois paires réservées pour cela « voir chapitre II ».

Créer et amplifier une base de données pour les différentes gammes de cellules afin de la traiter par les technologies prédictives d'apprentissage « machine learning (ML) » et aider les entreprises à prendre des décisions stratégiques concernant l'extraction des équations pratiques réelles de déchargement de ce type de cellules.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Blomgren, L. (1999). Remediation of a former nickel-cadmium battery-factory at Jungnerholmarna. *Linnaeus Eco-Tech*, 471-478.
- [2] Rezoug, M. R., Chenni, R., & Taibi, D. (2019). A New Approach for Optimizing Management of a Real Time Solar Charger Using the Firebase Platform Under Android. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 9(3), 23.
- [3] Young, K. H., & Yasuoka, S. (2016). Capacity degradation mechanisms in nickel/metal hydride batteries. *Batteries*, 2(1), 3.
- [4] Wu, Z., & Kong, D. (2018). Comparative life cycle assessment of lithium-ion batteries with lithium metal, silicon nanowire, and graphite anodes. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(6), 1233-1244.
- [5] Rezoug, M. R., Taibi, D., & Benaouadj, M. (2021, October). State-of-charge Estimation of Lithium-ion Batteries Using Extended Kalman Filter. In *2021 10th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE)* (pp. 98-103). IEEE.
- [6] Li, L., Chen, R., Sun, F., Wu, F., & Liu, J. (2011). Preparation of LiCoO₂ films from spent lithium-ion batteries by a combined recycling process. *Hydrometallurgy*, 108(3-4), 220-225.
- [7] Riviere, E. (2016). Détermination in-situ de l'état de santé de batteries lithium-ion pour un véhicule électrique (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- [8] Larcher, D. (2022). Chapitre 9: Avancées et perspectives dans le domaine du stockage électrochimique de l'énergie (batteries). In *Chimie et énergies nouvelles* (pp. 187-198). EDP Sciences.
- [9] Mir, C. (2019). Nouveaux sulfures complexes pour application aux batteries au lithium (Doctoral dissertation, Paris Sciences et Lettres (ComUE)).
- [10] Muller, J. (2010). Etude électrochimique et caractérisation des produits de corrosion formés à la surface des bronzes Cu-Sn en milieu sulfate (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).
- [11] Bard, Allen J (2012). *Electrochemical Dictionary*. Springer. pp. 523–524. ISBN 9783642295508.
- [12] REZOUG, Mohamed Redha et CHENNI, Rachid. Etude et réalisation d'un système d'orientation et de conversion destiné à optimiser le rendement d'un système photovoltaïque. Thèse de doctorat.
- [13] Prasetyo, E. E., & Irmawan, E. (2021). RANCANG BANGUN INDIKATOR PARAMETER BATERAI UNTUK PESAWAT TANPA AWAK MENGGUNAKAN SENSOR MAX 471 SECARA NIRKABEL. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(2), 163-173.
- [14] Xu, J., Liu, B., Wang, X., & Hu, D. (2016). Computational model of 18650 lithium-ion battery with coupled strain rate and SOC dependencies. *Applied Energy*, 172, 180-189.

Annexe

Les Logiciels Utilisés



IDE de l'Arduino : Pour programmer arduino



ISIS Proteus : Pour la simulation virtuelle de notre carte



Le module TP4056 : pour charger la cellule 18650

Résumé

Ce travail porte sur la conception et la construction d'un appareil de mesure de courant et de tension pour une batterie lithium-ion 18650. Cette dernière dispose d'une unité de sauvegarde des données que nous utiliserons plus tard pour créer une base de données pour le traitement.

Les principales informations que nous souhaitons enregistrer au fil du temps sont le courant et la tension de décharge de la batterie Li-ion 18650 au moment du processus de test utilisant la technologie de carte programmable.

Le but de la collecte de données en temps réel est de créer une base d'informations pour une utilisation ultérieure.

ملخص :

يتناول هذا العمل تصميم وبناء جهاز لقياس كل من التيار والجهد لبطارية الليثيوم ايون 18650. هذا الأخير لديه وحدة احتياطية للبيانات نستخدمها لاحقا لإنشاء قاعدة بيانات لمعالجتها. المعلومات الرئيسية التي نريد تسجيلها بمرور للوقت هي تيار التفريغ والجهد الكهربائي لبطارية ليثيوم أيون 18650 في وقت عملية الاختبار باستخدام تقنية البطاقة القابلة للبرمجة. الغرض من جمع البيانات في الوقت الفعلي هو إنشاء قاعدة معلومات لاستخدامها لاحقا.

Abstract :

This work deals with the design and construction of a device for measuring both current and voltage for a lithium-ion battery 18650. The latter has a data backup unit that we use later to create a database for processing.

The main information we want to record over time is the discharge current and voltage of the 18650 Li-ion battery at the time of the testing process using the programmable card technology.

The purpose of real-time data collection is to create an information base for later use.