N° d'ordre:



Université Cadi Ayyad Ecole Nationale des Sciences Appliquées Marrakech



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Ingénierie des Systèmes Electroniques Embarqués et Commande Numérique

Titre

L'estimation de l'état de charge d'une batterie lithium-ion avec l'intelligence artificielle

Par

TABATI Abdelkabir

Réalisé au sein de :



Soutenu le:

Membres du jury : Encadrantes externes :

Président : M. GHLALOU Yassir

Examinateurs: M. EL KROUK Fathallah

Encadrant: M. EL BAHIR lhoussain

Année universitaire : 2021/2022



Dédicace

Aucune expression ne peut exprimer ma gratitude et reconnaissance pour les sacrifices consentis pour mon bien-être et le soutien que vous m'avez donné afin d'atteindre mes objectifs, Allah vous prête une longue vie heureuse.

Je dédie ce travail à :

Ma chère mère Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma Considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Mon cher père qui a sacrifié pour m'offrir les conditions propices de la réussite, je suis fier de vous.

Mon frère et toute la famille pour leurs aides, leurs encouragements, leur assistance et soutien.

Tous mes amis, à toute personne qui m'a donné de l'aide pendant ma carrière

Veuillez tous trouver dans ce travail le témoignage de mon sincère amour, de ma profonde gratitude, de ma reconnaissance pour votre disponibilité, votre soutien qui ne s'est jamais démenti.

Remerciement

En préambule de ce rapport, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à son élaboration d'une manière directe ou indirecte.

Mes sincères remerciements sont destinés à Mme. **EL ALAMI Nora**, team leader, pour m'avoir accueilli comme stagiaire au sein de son équipe, pour ses directives, ses encouragements et surtout pour sa disponibilité tout au long de la période du stage.

Je n'oublierai pas non plus d'adresser mes profonds remerciements et mon estime à M. GHLALOU Yassir et M. EL KROUK Fathallah mes encadrantes de stage et aussi M. CHEIKH Abdelhamid. Les discussions que nous avons partagées ont permis d'orienter mon travail d'une manière pertinente. Je les remercie aussi pour leurs disponibilités à encadrer ce travail à travers leurs critiques et leurs propositions d'amélioration.

Je tiens à présenter mes reconnaissances et mes remerciements à M. EL BAHIR Lhoussain mon encadrant pédagogique, pour son temps consacré au suivi des différentes étapes de mon projet de fin d'études. Je le remercie pour ses directives, ses conseils et ses encouragements.

Je profite de ces quelques lignes pour présenter également mes remerciements et profonde gratitude au corps professoral de l'ENSA Marrakech, et plus particulièrement les enseignants du département de la filière Systèmes électroniques embarqués et commandes numériques, qui ont ménagé tous leur temps et efforts pour nous doter d'une si riche formation.

A tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail, veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'adresse également mes vifs remerciements à toutes les personnes que j'ai rencontrées durant mon stage au sein de Capgemini Engineering et qui ont toujours répondu présents à mes sollicitations, plus particulièrement les membres de département MBSE.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent l'expression de mes remerciements les plus chaleureux.

Résumé

L'étude présentée dans ce rapport s'inscrit dans le cadre de Projet de Fin d'Etudes effectué au sein de Capgemini Engineering, afin d'obtenir le titre d'ingénieur d'état en « Ingénierie des Systèmes Electriques et Systèmes Embarqués ».

De nombreux constructeurs automobiles ont déjà commencé à proposer leurs véhicules électrifiés dans le marché alimenté par les batteries aux lithium-ion car elles ont attiré l'attention en raison de leur densité d'énergie élevée et leur longue durée de vie par rapport aux autres types d'accumulateurs. Les batteries lithium-ion nécessitent un système de gestion de batterie (Battery Management System : BMS). Ce dispositif assure l'utilisation efficace de l'énergie électrique stockée au sein de la batterie, protège la batterie contre les défaillances et prolonge la durée de vie de la batterie.

L'objectif principal de ce projet est d'élaborer un modèle de la batterie Li-Ion et l'estimation d'état de charge SOC (State of charge) « qui représente la tâche la plus difficile dans la BMS » par l'intelligence artificielle et faire une étude comparative avec les méthodes utilisée dans l'industrie automobile.

Abstract

The study presented in this report is part of the Final Year Project carried out at Capgemini Engineering, in order to obtain the title of State Engineer in "Electrical and Embedded Systems Engineering".

Many car manufacturers have already started to offer their electrified vehicles in the market powered by lithium-ion batteries because they have attracted attention due to their high energy density and long life compared to other types of batteries. Li-Ion batteries necessarily use a BMS (Battery Management System). This system ensures the optimal use of the energy stored in the battery and a maximum life span.

This work is part of the study and modelling of a battery management system. The main objective of this project is to develop a model of the Li-Ion battery and the estimation of the state of charge (SOC) "which represents the most difficult task in the BMS" by artificial intelligence and make a comparative study with the methods used in the automotive industry.

ملخص

الدراسة المقدمة في هذا التقرير هي جزء من مشروع السنة النهائية الذي تم تنفيذه في Capgemini Engineering من الدراسة المقدمة في هذا التقرير هي جزء من مشروع السنة الإلكترونية المدمجة.

بدأ العديد من مصنعي السيارات بالفعل في تقديم سياراتهم الكهربائية في السوق التي تعمل ببطاريات الليثيوم أيون لأنها جذبت الانتباه نظرًا لكثافة طاقتها العالية وعمرها الطويل مقارنة بأنواع البطاريات الأخرى. تستخدم بطاريات Li-Ion بالضرورة BMS (نظام إدارة البطارية). يضمن هذا النظام الاستخدام الأمثل للطاقة المخزنة في البطارية وأقصى عمر.

هذا العمل جزء من دراسة ونمذجة نظام إدارة البطارية. الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو تطوير نموذج لبطارية -Li وتقدير حالة الشحن (SOC) "التي تمثل أصعب مهمة في BMS" بواسطة الذكاء الاصطناعي وإجراء دراسة مقارنة مع الأساليب. المستخدمة في صناعة السيارات.

Liste des figures

Figure 1:Domaines d'activités du groupe Capgemini Engineering	4
Figure 2:Activités technologiques du groupe Capgemini Engineering	4
Figure 3:Capgemini Engineering Maroc à Casanearshore	5
Figure 4:Organigramme du département Système	6
Figure 5:La méthode Agile Scrum	10
Figure 6:La plateforme Azure DevOps	11
Figure 7:Exemple d'un sprint	11
Figure 8:Diagramme de Gant	12
Figure 9:Structure d'une cellule Lithium-ion	17
Figure 10:Formats de cellules	18
Figure 11:Batterie Li-ion en charge	19
Figure 12:Charge de la batterie avec la méthode CCCV	19
Figure 13:Décharge de batterie	
Figure 14:Agencements de Cellules	21
Figure 15:Plage de température des cellules au lithium-ion	
Figure 16:Schéma synoptique de la BMS	24
Figure 17:L'équilibrage passif	
Figure 18:L'équilibrage actif	28
Figure 19:Topologie de BMS	
Figure 20:BMS dans Tesla Model S	
Figure 21:Schéma fonctionnel du modèle	
Figure 22:Modèle idéal d'une batterie	
Figure 23:Modèle de Thevenin	
Figure 24:Le système modélisé sous Matlab/Simulink	
Figure 25:Batterie Lithium-ion	
Figure 26:Système de charge décharge	37
Figure 27:Signal Builder	
Figure 28:Profil de charge décharge et la température	38
Figure 29:L'évolution de la tension de la batterie selon le profil Estimation	38
Figure 30:L'estimation de l'état de charge	
Figure 31:Scope	
Figure 32:OCV en fonction de SOC	40
Figure 33:SOC(OCV)	
Figure 34:L'estimation de l'état de charge avec OCV	41
Figure 35:Compteur de coulomb dans Simulink	
Figure 36:L'estimation de l'état de charge avec compteur de coulomb	
Figure 37:Filtre de kalman étendu sous Simulink	
Figure 38:Les paramètres internes de la batterie.	
Figure 39L'estimation de l'état de charge avec le filtre de Kalman Etendu	
Figure 40:La relation entre AI, ML et DL	
Figure 41: Machine Learning VS Deep Learning	

Figure 42:Le neurone biologique	51
Figure 43:neurone artificiel	
Figure 44: Structure d'un réseau de neurones statique avec deux couches cachées	53
Figure 45: La base de données brute	55
Figure 46: La base de données après le nettoyage	55
Figure 47: La séparation des données	56
Figure 48:L'importation des données	56
Figure 49: Séparation	57
Figure 50:L'architecture du réseau de neurone	57
Figure 51:La phase d'entrainement	58
Figure 52:La relation entre l'époque et l'itération	58
Figure 53:Le meilleur MSE obtenu	59
Figure 54:Réseau de neurone pour estimer l'état de charge	59
Figure 55:L'estimation de l'état de charge avec le réseau de neurone	60
Figure 56:L'interface graphique	60
Figure 57:La commande du courant 2	61
Figure 58: La logique du contrôle	61

Liste des tableaux

Tableau 1:Historique de Capgemini Engineering	3
Tableau 2:Caractéristiques de l'accumulateur Li-ion	
Tableau 3:Design de BMS de certains véhicules disponibles sur le marché	30
Tableau 4:Comparaison entre les méthodes d'estimation	46
Tableau 5:Les fonctions d'activation	52

Liste des Acronymes

Ah: Ampère-heure

BMS : Système de Gestion de Batterie

CC: Compteur de Coulombs

ECM: Modèle Équivalent Électrique

EFK: Filtre de Kalman Étendue

EV: Véhicule Électrique

HEV: Véhicule Hybride Électrique

Li-ion: Lithium-ion

LIB: Batterie Lithium-ion

MAE: Erreur Moyenne absolue

OCV: Tension circuit Ouvert

SOC: État de charge

SOH: État de santé

NN: Réseau de neurone

IA: Intelligence artificielle

Table des matières

Dédicaco	e	I
Remerci	ement	II
Résumé		III
Abstract	t	IV
ملخص		V
Liste des	s figures	VI
Liste des	s tableaux	VIII
Liste des	s Acronymes	IX
Introduc	ction générale	1
Chapitro	e I: Présentation de l'organisme d'accueil et contexte du projet	2
Introduc	tion	3
I.	Présentation de l'organisme d'Accueil	3
1.	Présentation du groupe Capgemini Engineering	3
2.	Capgemini Engineering Maroc	5
II.	Présentation du projet	8
1.	Contexte du projet	8
2.	Cahier des charges	8
3.	Gestion du projet	9
4.	Planification du projet	12
Conclusi	ion	12
Chapitro	e II: L'état de l'art sur les batteries au lithium-ion et le BMS	13
Introduc	tion	
I.	Les batteries aux lithiums-ion	
1.	Historique	14
2.	Généralités sur les batteries aux lithiums :	14
2.1	Types de batteries aux lithiums	15
2.2	Formats de cellules	17
3.	Principe de fonctionnement :	18
3.1	Processus de charge :	18
3.2	Processus de décharge	19
3.3	Batterie et branchement des cellules	20
4.	Grandeurs et caractéristiques des batteries aux lithium-ion	21
5.	Effet de la température	23
II.	Système de gestion de batterie BMS (Battery Management System) :	
1.	Les fonctionnalités du BMS	25

1.1	Acquisition de données	. 25
1.2	Estimation de l'état de la batterie	. 25
1.3	Gestion électrique	. 25
1.4	Gestion de la sécurité :	. 26
1.5	Gestion thermique	. 26
1.6	Communication	. 27
1.7	Equilibrage des cellules	. 27
2.	Topologies:	. 28
3. CONCL	Le système de gestion de batterie dans l'automobile	
Chapitro	e III: Modélisation et estimation de l'état de charge de la batterie au lithium ion	. 31
	DUCTION	
I.	Modélisation des batteries aux lithium-ion	
1.	Modèle électrochimique	
2.	Modèle circuit électrique équivalent	
2.1	Model idéal	
2.2 II.	La modélisation sous Matlab/Simulink	
1.	Les outils utilisés	. 36
2.	Batterie Lithium-ion	. 36
2.1	Cellule Lib	. 36
1.1	Système de charge décharge	. 37
2.	Profil	. 37
3.	L'estimation de l'état de charge	. 39
4.	Scope	
III.	L'estimation de l'état de charge de la batterie avec les méthodes classiques	
1.	L'estimation de SOC par mesure de tension en circuit ouvert	
	L'implémentation sur Matlab/Simulink	
1.2	Résultat	
2.	L'estimation de SOC par compteur de coulomb	
2.1	L'implémentation sur Matlab/Simulink	
2.2	Résultat	. 43
3.	L'estimation du SOC par le filtre de KALMAN	
3.1	Le filtre de kalman Etendu	. 43
3.2	L'implémentation de filtre de Kalman Etendu sur Matlab/Simulink	
3.3	Résultat	. 46
4.	Etude comparative entre les méthodes classiques	. 46

Concl	usion	47
_	tre IV: L'estimation de l'état de charge avec l'intelligence artificielle	
	uction	
I.	L'intelligence Artificielle	49
1.	Définition	49
2.	Apprentissage automatique « Machine Learning »	49
3.	Apprentissage approfondi « Deep Learning »	50
II.	Réseaux de neurones	51
1.	Neurone biologique	51
2.	Neurone artificiel	51
3.	Architecture des réseaux de neurones	53
III.	L'estimation de l'état de charge avec un réseau de neurone	54
1.	Les outils utilisés	54
2.	Le prétraitement de la base de données	54
3.	La création du modèle	56
4.	La phase d'apprentissage	58
5.	L'implémentation dans Simulink	59
6.	Les résultats	60
IV.	L'interface graphique	60
Concl	Conclusion	
Concl	usion générale	62
Référe	ences	63

Introduction générale

Le stockage de l'énergie électrique est un enjeu majeur. Actuellement, seules les batteries et les supercondensateurs peuvent stocker et fournir l'énergie à une charge. Il existe plusieurs types de batteries et divers facteurs électriques et chimiques peuvent affecter leurs performances. D'autre part, ces batteries jouent un rôle clé dans l'industrie, tant dans la nouvelle génération de véhicules électriques et hybrides.

Afin de comprendre le comportement de la batterie, il est nécessaire de construire un modèle capable de simuler son fonctionnement. Dans la plupart des systèmes impliquant des systèmes de stockage d'énergie, il existe un système de gestion de batterie (Battery Management System : BMS) associé à la batterie pour assurer l'utilisation efficace de l'énergie fournie par la batterie et maximiser la sécurité.

Pour réaliser ces tâches le BMS se base sur plusieurs paramètres et l'un des paramètres les plus importants c'est l'état de charge (State Of Charge : SOC) de la batterie et tel que l'état de charge est non mesurable alors on doit l'estimer et nombreuses méthodes pour l'estimation de l'état de charge de la batterie ont été proposées

Capgemini Engineering, étant un des leaders mondiaux du conseil en innovation et ingénierie avancée, s'est inscrite dans une démarche d'amélioration continue de l'ensemble de ses secteurs et de ses activités y compris l'automobile qui est jusqu'aujourd'hui la principale activité de Capgemini Engineering Maroc.

Dans le premier chapitre de ce rapport nous allons présenter l'organisme d'accueil, en présentant aussi les métiers de Capgemini Engineering, les équipes, la méthodologie de travail et l'organigramme d'entreprise ainsi que la problématique et la planification du projet.

Afin de bien cerner le sujet, le deuxième chapitre définit en détails la batterie au lithium ion et le système de gestion de batterie qui représentent la base de notre projet.

Le troisième chapitre sert à identifier les différents modèles équivalents d'une batterie au lithium ainsi la modélisation sous Matlab/Simulink et finalement les méthodes classiques pour estimer l'état de charge de la batterie.

Le dernier chapitre définit en détails l'intelligence artificielle et l'estimation de l'état de charge avec un réseau de neurone ainsi l'intégration de tous les résultats obtenus dans ce projet dans une interface graphique pour prouver que la méthode IA est la méthode plus efficace que les autres méthodes. A la fin, nous faisons une conclusion générale sur le déroulement et les gains de ce stage.

Chapitre I
Présentation de
l'organisme d'accueil
et contexte du projet

Introduction

Ce chapitre introductif contient deux parties. Dans un premier temps, il met le point sur l'organisme d'accueil, ses domaines d'activité et son organigramme. La deuxième met l'accent sur le contexte du projet et détermine avec précision l'objectif du présent projet de fin d'études.

I. Présentation de l'organisme d'Accueil

1. Présentation du groupe Capgemini Engineering

1.1 Historique

Capgemini Engineering est de leader mondial incontesté des services d'ingénierie et de R&D, a été créé en 1982 et dirigé par Dominique Cerutti. Le groupe offre à ses clients une proposition de valeurs uniques pour relever leurs défis de transformation et d'innovation. Capgemini Engineering accompagne ses clients, du concept à l'industrialisation, pour développer les produits et les services de demain. Capgemini Engineering a généré 2,9 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2018, avec près de 47 000 employés dans plus de 30 pays.

Année	Évènements		
1982	Création de Altran Technologies S.A en France.		
2004	Altran s'implante en Asie et crée Altran Prime, une entité spécialisée dans le management de projets d'innovation de large envergure.		
2012	Dans le cadre du Plan de Performance 2012, PSA Peugeot Citroën choisit Altran comme partenaire stratégique.		
2013	Création de Altran au Maroc		
2018	 Création d'un centre d'ingénierie Automobile à Casablanca une nouvelle joint-venture entre Altran et Magna entreprise canadienne spécialisée dans l'équipement automobile et la sous-traitante sous le nom de MG2. Altran announce le plan "The High Road, Altran 2022". Ce plan vise 14,5% de marge et une augmentation du chiffre d'affaires à 4 milliards d'euros en 2022, en pariant sur les ruptures technologiques. 		
2020	En avril 2020, Altran est devenue filiale de Capgemini et est renommée Capgemini Engineering.		

Tableau 1:Historique de Capgemini Engineering

1.2 Secteurs d'activités

Capgemini Engineering intervient depuis plus de 35 ans auprès des grands acteurs de nombreux secteurs : Automobile, Aéronautique, Spatial, Défense & Naval, Rail, Infrastructure & Transport, Industrie & Biens de consommation, Sciences de la vie, Communications, Semiconducteur & Electronique, Logiciel & Internet, Finance & Secteur public.

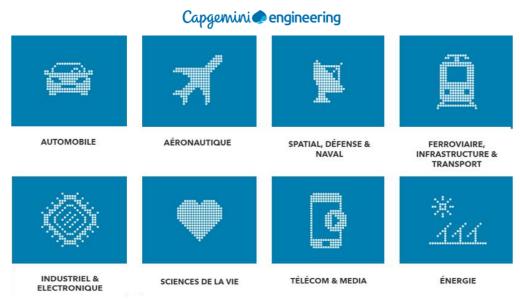


Figure 1:Domaines d'activités du groupe Capgemini Engineering

Le groupe Capgemini Engineering couvre toutes les phases du cycle de vie d'un projet, de sa définition (veille technologique, études de faisabilité technique, définition des stratégies, etc.) à sa concrétisation (conception, mise en œuvre et validation de solutions, etc.). L'activités'organise autour de trois domaines :

- Conseil en technologie, et en R&D,
- Conseil en organisation et en systèmes d'information,
- Conseil en stratégie et management.

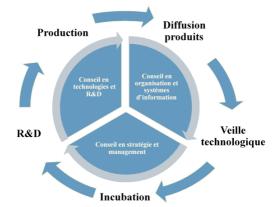


Figure 2:Activités technologiques du groupe Capgemini Engineering

- Le conseil en technologie et R&D, est la capacité de mettre en œuvre le savoirfaire, les méthodes techniques et scientifiques des consultants ingénieurs pour aboutir à des projets innovants.
- Le conseil en organisation et systèmes d'information, permet de fournir aux entreprises la capacité de rester compétitives face aux contraintes de croissance du marché, de rentabilité et de législation. Les entreprises qui font appel à Capgemini Engineering sur ce point cherchent à faciliter leurs prises de décisions, et leur agilité organisationnelle.
- Le conseil en stratégie et management, permet aux entreprises de maîtriser leur environnement et d'anticiper les évolutions du secteur dans lequel elles travaillent.

1.3 Implantation dans le monde

L'empreinte internationale de Capgemini Engineering offre un avantage unique sur le marché actuel. En phase avec une planète de plus en plus connectée. Le Groupe est conçu pouroffrir des services d'innovation et d'ingénierie de premier ordre à ses clients, tout en leur permettant de bénéficier des meilleures pratiques mondiales dans tous les secteurs d'activités. Le groupe Capgemini Engineering est implanté dans 30 pays dans le monde, répartis entre l'Europe, l'Asie, l'Amérique, et l'Afrique (Maroc et Tunisie).

2. Capgemini Engineering Maroc

À travers son implantation à Casablanca en avril 2013, Capgemini Engineering a souhaité disposer d'une plateforme Near-shore afin d'accompagner le développement international du groupe dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et du transport. Il s'agit en effet d'accompagner les clients de Capgemini Engineering dans leur stratégie d'innovation, d'optimisation de coût et des délais.



Figure 3:Capgemini Engineering Maroc à Casanearshore

L'entité marocaine a également pour ambition d'être un acteur de proximité au service des grands comptes clients de Capgemini Engineering installés sur le territoire national. Capgemini Engineering Maroc s'intéresse notamment à l'évolution des secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et des énergies renouvelables.

Enfin, Capgemini Engineering s'appuie sur la stratégie offshoring mise en place par le gouvernement marocain offrant des avantages optimisant fortement la composante compétence/coût.

2.1 Organigramme Capgemini Engineering Maroc

Dans le cadre de la nouvelle stratégie de Capgemini Engineering, les équipes opérationnelles sont reparties sur quatre directions dont chacune propose des solutions adéquates aux besoins des clients :

- Direction Ressources Humaines (DRH)
- Direction Finance (DF)
- Direction Programme (DP)
- Direction Technique (DT)

2.2 Organigramme du département Système

Dans le cadre de la mission relative à ce projet de fin d'études, mon stage s'est déroulé au sein de la Direction Technique, Département Ingénierie Système, équipe Functional Safety Designer. Et j'avais l'occasion de travailler avec les différents pôles ; qui se collaborent ; pour la réalisation du projet ' Modélisation d'un système de freinage automatique d'urgence pour unvéhicule hybride'.

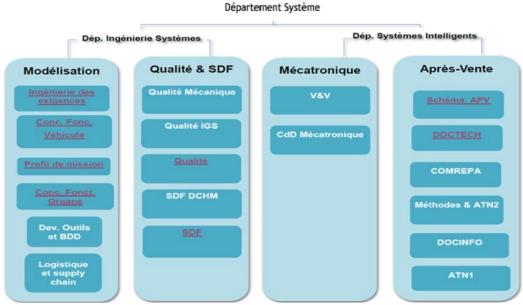


Figure 4:Organigramme du département Système

La direction Système intervient avant la phase de production, elle s'occupe de tout ce qui estR&D, solutions techniques... Elle se compose de quatre pôles, Modélisation, Qualité & SDF, Mécatronique et Après-Vente.

2.3 Centres de services du pôle modélisation

Il se compose également de six centres de services :

- **Ingénierie des exigences :** Cette équipe s'occupe de la réception des exigences clients, le tri et la suppression des exigences non faisables, la reformulation et la traduction des exigences, ainsi que, la migration des exigences vers la plateforme PLM (Product Life cycleManagement).
- Conception Fonctionnelle du Véhicule : Le travail de cette équipe est basé sur l'analyse fonctionnelle des fonctions ADAS (Advanced Driver Assistance System) se sont des fonctions d'aide à la conduite. Lors de cette conception fonctionnelle, chaque fonction duvéhicule doit être recensée, caractérisée, ordonnée, hiérarchisée et valorisée afin d'effectuerun dimensionnement correct des caractéristiques des fonctions du véhicule.
- Profil de mission : Elle s'occupe de la représentation statistique d'un scalaire distribué surune population donnée, il sert à caractériser l'usage des véhicules, de ses fonctions et de ses composants en fonction des zones de commercialisation et des environnements. Cette étape est nécessaire pour une conception optimisée.
- Conception Fonctionnelle Organe : Même principe que la conception fonctionnelle du véhicule, sauf que cette équipe s'occupe de la modélisation organique et non pas la modélisation fonctionnelle.
- Dev outil et BDD: Ce centre de service assure la production des tâches de la conversion automatique de document entrant (spécifications comme exemple) en plan de test (ou bibliothèque de tests), ainsi que, la réalisation de banc de validation HIL (Hardware in thehap) qui se présente comme une approche qui consiste à tester un produit final dans un environnement aussi proche que possible de l'environnement réel. Le produit à tester est ainsi placé dans une boucle matérielle liant les commandes aux contrôles et simulant les liens et les interactions qui existent physiquement.
- Logistique et supply chain : Le rôle des fonctions achat-logistique est d'assurer la continuité et la fiabilité des flux de marchandises, depuis l'entrepôt de fournisseur, jusqu'àla réception par le demandeur.

2.4 Présentation du département d'accueil

Le stage a été effectué dans le département système, précisément dans le pôle Modélisation, Equipe FSD Functional Safety Design. L'équipe a comme mission de traduire la spécification technique du client en un modèle fonctionnel sous Matlab/Simulink, puis créer une interface homme machine pour pouvoir contrôler et communiquer avec le modèle, et valider ensuite ce dernier en suivant un processus de validation.

Alors afin de réaliser cette mission l'équipe suit les étapes suivantes :

- Lecture et compréhension des exigences des fonctions ADAS.
- Traduction des exigences en modèle.
- Assurer la traçabilité des spécifications techniques.
- Construction des interfaces graphiques GUI pour simuler les cas d'utilisation réels.
- Génération des scénarios de test.
- Vérification et validation des exigences.
- Suivi des spéciations techniques durant le processus de modélisation.

II. Présentation du projet

1. Contexte du projet

Estimer l'état de charge d'une batterie lithium ion à l'aide de l'intelligence artificielle (apprentissage supervisée) Une vue d'ensemble des méthodes classiques et actuels des méthodes d'estimation de l'état de charge (SOC) de la batterie est donnée, l'accent étant mis sur les principes mathématiques et les mises en œuvre pratiques. Comme le SOC de la batterie est un paramètre important, qui reflète la performance de la batterie, une estimation précise du SOC ne peut pas seulement protéger la batterie, empêcher la surcharge ou la décharge, et améliorer la durée de vie de la batterie, mais aussi permettre à l'application de faire des stratégies de contrôle rationnelles pour atteindre l'objective de protéger la batterie contre la surcharge et la décharge profond.

2. Cahier des charges

L'objectif du projet repose sur les méthodes de l'intelligence artificielle pour développer un modèle machine Learning capable de prédire l'état de charge d'une batterie avec une très bonne précision à partir des paramètres accessible, mesurable comme le courant, la tension et la température.

De ce fait, ce projet comprend deux grandes parties :

Partie 1:

- Etude extensive du fonctionnement des batteries.
- Modélisation de la batterie au lithium-ion et un système charge décharge sous Matlab Simulink.
- Estimation de l'état de charge avec différentes méthodes classiques sous Matlab Simulink.
- Création d'une interface graphique pour suivre l'état de charge de la batterie estimé par différentes méthodes.

Partie 2:

- Etude des algorithmes adoptés (ML&DL) et la préparation d'une base de données d'entrainement.
- Utiliser Matlab Neural Network Toolbox pour l'entrainement du modèle réseau de neurone.
- Tester les résultats obtenus et les comparer avec les autres méthodes classiques faites sur Matlab Simulink à l'aide d'une interface graphique.

3. Gestion du projet

3.1 Méthodologie de travail

La gestion de projet ou conduite de projets est une approche conçue pour structurer, faciliter, assurer et optimiser le bon déroulement d'un projet. Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons opté pour la méthode agile SCRUM vu qu'elle permet de réduire le cycle de vie du logiciel et donc d'accélérer son développement. Ce choix est lié principalement à l'instabilité de l'environnement technologique d'une part, et d'autre part au fait que le client qui est dans notre cas le directeur du projet est souvent dans l'incapacité de définir ses besoins de manière exhaustive dès le début du projet. Le terme « agile » fait ainsi référence à la capacité d'adaptation aux changements de contexte et aux modifications de spécifications intervenant pendant le processus de développement.





Figure 5:La méthode Agile Scrum

La méthode consiste à développer une version minimale du projet, puis à intégrer petit à petit des fonctionnalités additionnelles par un processus itératif basé sur une écoute du client et des tests tout au long du cycle de développement.

Les trois acteurs qui interviennent dans notre projet sont :

Le Product Owner (Directeur de Produit) : Qui possède l'expertise fonctionnelle et est à même de réaliser les arbitrages nécessaires à la priorisation des développements. Son rôle est absolument essentiel et son respect des règles du jeu est la pierre angulaire du succès d'un projet agile [1].

Le Scrum Master : Membre de l'équipe, et dont la tâche principale est d'optimiser la capacité de production de l'équipe en l'aidant à travailler de façon autonome et à s'améliorer constamment [1]. Il est également le garant de la bonne implémentation de Scrum avec ses missions au quotidien :

- Mise en application la méthode Scrum : planification des sprints, organisation et animations des réunions nécessaires.
- Analyse proactive des obstacles, éléments bloquants, interférences extérieures, et de tout ce qui peut détourner l'équipe de ses objectifs et la ralentir.
- Alerte sur les deadlines.
- Communication avec le management ou le client.
- Rédaction et présentation de rapports d'avancement

L'équipe : Qui prend en charge le développement du produit (planification, conception, codage, tests, documentation) sans spécialisation des rôles. La particularité d'une équipe Scrum est d'être " auto organisée ", et donc dépourvue de hiérarchie.

L'unité de temps, dans Scrum, est le "Sprint". Comme indiqué dans la figure ci-dessous, un sprint est une itération courte qui est dans notre cas d'une à deux semaines. Scrum définit également deux artefacts ou livrables :

- Le "Product Back log" ou la liste des fonctionnalités du logiciel élaboré au début du projet.
- Le "Sprint Backlog", qui constitue l'ensemble des fonctionnalités que l'équipe s'engage à produire durant l'itération naissante, et liste les tâches correspondantes.

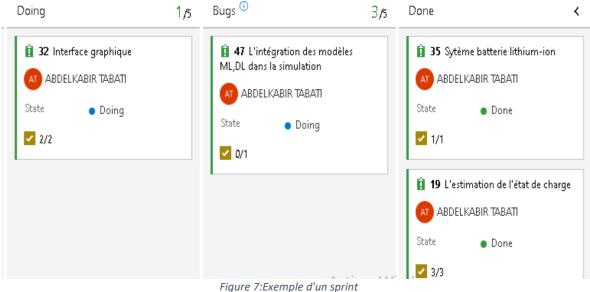
3.2 La plateforme utilisée

Pour faciliter l'application de la méthode Agile Scrum dans notre projet nous avons travaillé avec la plateforme Azure Devops qui nous donne la possibilité de créer des SPRINT chaque deux semaines et insérer nos exigences (SPRINT BACKLOG), les taches (TASK), les problèmes de développement (ISSUES) et les placer dans 3 catégories : à faire (TO DO), en cours de réalisation (DOING) et les parties réalisées (DONE).



Figure 6:La plateforme Azure DevOps

Exemple de notre sprint backlog:



4. Planification du projet

La planification du projet est l'activité qui permet de déterminer et d'ordonnancer les tâches du projet. En effet, il permet de faire un planning qui consiste à préciser les dates pour réaliser les tâches, identifier les jalons pour atteindre les objectifs du projet. Les logiciels de gestion de projet sont généralement utilisés pour automatiser la sauvegarde des tâches et la gestion du temps. La visualisation d'un Gantt (planning à barres, consiste à placer les tâches chronologiquement en fonction des contraintes techniques successives), permet par un simple schéma graphique de savoir l'état d'avancement de chaque tâche du projet. La Figure 7 montre l'ordre chronologique des principaux axes sur lesquels on a procédé pour réaliser ce projet de fin d'études.



Figure 8:Diagramme de Gant

Conclusion

Ce chapitre introductif de l'organisme d'accueil et du projet a été consacré essentiellement à la présentation de Cappemini engineering et le projet réalisé, Il a mis l'accent sur le contexte, la description du projet, son cahier des charges et la méthodologie de travail agile scrum qu'on avait opté pour la réalisation de notre projet ainsi sa planification.

Chapitre II
L'état de l'art sur les batteries lithium-ion
Et le BMS

Introduction

Ce chapitre résume en général l'étude bibliographique faite au cours du stage et contient principalement les connaissances nécessaires pour accomplir le travail demandé.

Tout d'abord, une présentation des généralités sur les accumulateurs électrochimiques, notamment les batteries lithium : le fonctionnement, comment les utilisées, et puis nous parlerons des différents phénomènes chimiques et électrochimiques se déroulant au sein de la batterie. On termine ce chapitre par une présentation des systèmes de gestion des batteries BMS.

I. Les batteries aux lithiums-ion

1. Historique

Stocker l'énergie électrique est une problématique présente depuis plusieurs siècles. Depuis les premiers travaux d'Alessandro Volta en 1800 sur la pile voltaïque, plusieurs innovations se sont succédé dans le but d'augmenter la capacité énergétique des batteries. William Cruickshank en 1802 développa la première batterie à électrolyte liquide prête à la production de masse grâce à son caisson étanche qui permettait à l'électrolyte de ne pas sécher.

Par la suite, Gaston Planté en 1859 a mis au point la première batterie rechargeable de chimie acide/plomb. Cette technologie a permis d'alimenter la voiture "Jamais Contente", la première voiture à franchir les 100km/h. Cette technologie est toujours utilisée aujourd'hui pour alimenter le système électrique de nos voitures à combustion interne.

En 1979, nous devons la découverte au Professeur John Goodenough, qui démontra qu'il était possible d'utiliser une cathode de lithium cobalt oxyde (LCO) dans la fabrication de batterie rechargeable. Ce n'est qu'à partir de 1991, lorsque la compagnie Sony commercialisa les premières batteries au lithium que leur utilisation massive dans les appareils sans fil débuta. Cette innovation permit d'augmenter considérablement l'autonomie des téléphones cellulaires, ordinateurs portables, caméras, outils électriques et instruments médicaux. En 2008, la première voiture tout électrique à utiliser des cellules au lithium-ion fait son apparition. Tesla Motor lance une voiture sport de luxe, la Tesla Roadster, ayant une autonomie d'environ 320 km sur une seule charge. Depuis, beaucoup de grands manufacturiers automobiles commercialise des véhicules électrique ou hybride utilisant des cellules au lithium-ion.

2. Généralités sur les batteries aux lithiums :

Les premiers accumulateurs de ce type ont été commercialisés par Sony dans les années 90. Ils présentent grand potentiel électrochimique. En plus, le lithium est le plus léger des métaux.

Les accumulateurs aux ions de lithium sont largement utilisés dans l'industrie des ordinateurs portables, les téléphones cellulaires ainsi que dans les systèmes embarqués à cause de leur haute densité d'énergie. D'ailleurs, ce type de batterie d'accumulateurs contient une bonne performance à température élevée et une faible auto décharge d'autant plus qu'il ne présente aucun effet mémoire. Les premières batteries d'accumulateurs de ce genre avaient des durées de vie assez faibles. Afin de remédier à ce problème, on a changé la structure de l'électrode au lithium. Le tableau ci-dessous présente quelques caractéristiques nominales de l'accumulateur.

Tension nominale par cellule (volt)	3.6
Résistance interne (ohms)	Très faible
Température de fonctionnement (C)	Ambiante
Autodécharge	Faible, 10% par mois
Temps de charge	2 à 3
Nombre de cycle de vie	Plus que 1000

Tableau 2:Caractéristiques de l'accumulateur Li-ion

2.1 Types de batteries aux lithiums

• Batterie lithium- métal :

La première génération de batteries rechargeables au lithium utilisait une anode en lithium sous sa forme métallique. Cette technologie a cependant été abandonnée à cause de la difficulté de reconstituer l'anode au cours des recharges successives. Celle-ci, une fois endommagée, pouvait accidentellement atteindre son point de fusion (180°C) et entrer en contact avec la cathode, ce qui produisait une réaction violente et l'émission de gaz brûlants. Abandonné depuis plus de 10 ans, le lithium-métal pourrait faire un retour en force dans quelques années, si les recherches actuelles visant à trouver une solution au problème de sécurité connaissent un succès. Une solution à l'étude depuis peu serait de remplacer l'électrolyte par un liquide 100% ionique. Les liquides ioniques ont une pression de vapeur quasiment nulle, sont stables à haute température et inflammables, ce qui supprimerait de fait l'éventualité de l'émission de gaz brûlants en cas de surchauffe de la batterie. Enfin, des recherches visent à mettre au point un séparateur dont les pores se "fermeraient" en cas de surchauffe, empêchant ainsi la réaction chimique de s'emballer.

• Batterie lithium- polymère :

Les batteries lithium-ion polymère fonctionnent sur le même principe que les batteries lithium-ion traditionnelles. Seul l'électrolyte, le milieu dans lequel migrent les ions lithium d'une électrode à l'autre, est différent. Il est en effet remplacé par une matrice polymère solide dans laquelle est emprisonné le liquide conducteur (50 à 75% en masse). L'accumulateur consistant désormais en une superposition de 3 couches minces (une pour chaque électrode et une pour l'électrolyte), il est possible de fabriquer des batteries de toutes formes géométriques, certaines étant suffisamment plates pour se loger dans une carte de paiement. Ce système possède toutefois un inconvénient : à température égale, la conductivité de l'électrolyte polymère est inférieure à celle d'un électrolyte liquide. La température minimale de fonctionnement d'une batterie lithium polymère est par conséquent supérieure à celle d'une batterie lithium-ion.

• Batterie lithium-ion :

Pour pallier aux problèmes rencontrés dans les accumulateurs lithium métal, la solution radicale d'abandonner le lithium sous forme métallique au niveau de l'anode a été adoptée au profit d'un composé d'insertion. Le graphite apparaît comme le meilleur candidat pour ce rôle. En effet, les propriétés d'insertion du carbone ont été démontrées, jusqu'à un ion lithium pour six atomes de carbone (LiC6). Au cours de la première insertion de lithium dans le graphite, une partie est totalement consommée de façon irréversible.

Ce phénomène est dû à la décomposition de l'électrolyte et à la formation d'un film passivant à la surface de l'électrode (film SEI). Contrairement à l'anode de lithium métallique, ce phénomène est indispensable pour le bon fonctionnement de la cellule. La SEI permet d'éviter la réduction de l'électrolyte en retenant les ions Li+ dans le carbone. Il faut cependant que cette couche soit suffisamment poreuse pour laisser passer les ions Li+ lors des cycles de charge/décharge Cette couche de passivation peut avoir des inconvénients car elle augmente la résistance interne de l'élément ce qui provoque une chute de tension lors de l'utilisation.

La SEI ne représente pas un problème majeur, mais elle le deviendra en fin de vie des cellules, diminuant sa capacité à restituer ou accepter les ions. La figure suivante présente la structure d'une cellule Li ion.

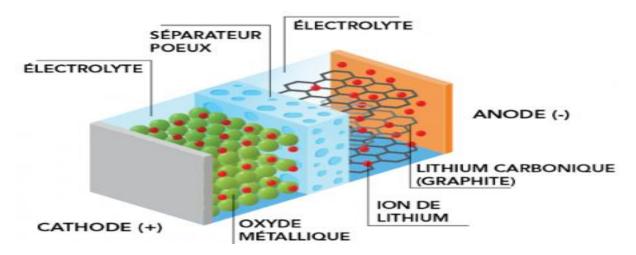


Figure 9:Structure d'une cellule Lithium-ion

Les cellules aux lithium-ion se caractérisent par la composition de leur cathode (Lithium) et anode. Ces agencements ont une influence sur la valeur de tension nominale, la plage de tension et la température d'opération. Ces éléments qui doivent être pris en compte par le système de gestion de batterie.

2.2 Formats de cellules

Une batterie est composée de plusieurs cellules. Chaque cellule est formée de deux électrodes (une cathode et une anode), un séparateur et un électrolyte.

Il existe trois formats répandus de cellules au lithium dans le monde. La Figure 2.1 montre ces trois formats.

• Cylindrique:

Les électrodes sont encapsulées dans un petit cylindre métallique et sont enroulées séparées par un isolant. Les pôles situés à chaque extrémité doivent être soudés à l'assemblage. Ce format est solide, protège bien sont contenue et est muni d'une valve de suppression en cas d'emballement thermique ou de court-circuit interne. Ce format est le plus fabriqué (Voir Figure 10.a).

• Prismatique:

Les électrodes sont enroulées dans un contenant prismatique de plastique ou de métal. Disponible en petit et grand format, ces derniers ont été fortement utilisés dû à leur facilité d'intégration mécanique et leurs pôles majoritairement boulonner.

La densité énergétique est plus faible dû à son boîtier lourd (Voir Figure 10.b).

• Pochette:

Les électrodes sont enveloppées dans un sac flexible et sont superposées les unes sur les autres séparées d'un isolant. Les pôles aux sont situés à l'extrémité du sac.

Nécessite des composants externes afin de la tenir fermement en place et de la protéger. Ce format a une densité énergique (kWh/kg) supérieure aux autres (Voir Figure 10.c).

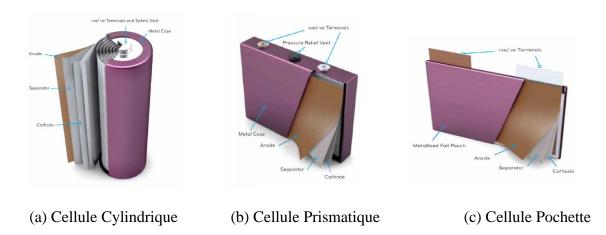


Figure 10:Formats de cellules

3. Principe de fonctionnement :

La batterie lithium-ion est basée sur l'échange réversible de l'ion lithium entre l'électrode positive et l'électrode négative. La tension nominale d'un élément Li-ion est de 3,6 V ou 3,7 V (selon la technologie).

La sécurité, la durabilité et les performances d'une batterie dépendent fortement de la façon dont elle est chargée ou déchargée. Un abus peut réduire considérablement sa durée de vie et peut être dangereux.

3.1 Processus de charge:

L'accumulateur est chargé par un courant constant, ce qui va causer le déplacement des électrons de l'anode (borne positive dans ce cas) vers la cathode (borne négative).

Le processus est arrêté lorsque l'anode atteindra un excès d'électrons et la cathode un manque d'électrons la figure suivante illustre le processus de charge d'une cellule électrochimique.

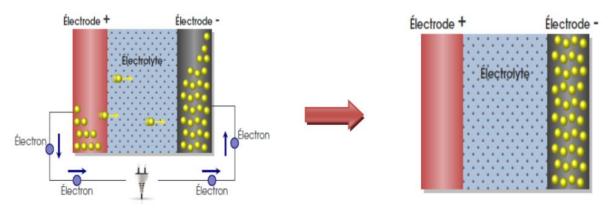


Figure 11:Batterie Li-ion en charge

Pour une optimisation de la durée de vie des accumulateurs et pour des questions de sécurité, les fabricants des accumulateurs lithium-ion préconisent une charge s'effectuant majoritairement avec un régime de charge à courant constant (CC) puis à tension constante (CV). Les caractéristiques de charge à courant constant puis tension constante d'un accumulateur sont schématisées ci-dessous.

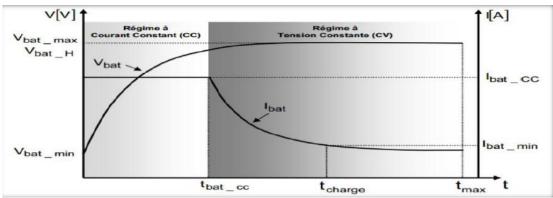


Figure 12:Charge de la batterie avec la méthode CCCV

Au début de la charge, la batterie peut être préchargée à un courant constant de faible valeur ensuit elle est chargée avec une valeur plus élevée de courant constant Ibat_cc. Lorsque la tension atteint un seuil Vbat_max, le profil de charge est modifié pour charge à tension constante et le courant diminue pour se rapprocher de 100 % de charge, La charge est terminée lorsque le courant passe en dessous du seuil de décharge.

3.2 Processus de décharge

La décharge est le processus inverse de la charge. Quand l'accumulateur est complètement chargé, l'anode possède un surplus d'électrons et la cathode un manque d'électrons. Le déplacement des électrons à travers une charge, connectée entre les deux électrodes va créer le courant électrique comme indique dans la figure suivante

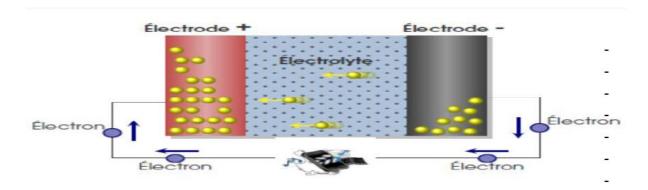
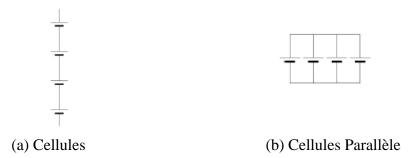


Figure 13:Décharge de batterie

3.3 Batterie et branchement des cellules

Les cellules sont rarement utilisées seules, sauf dans des applications portables de basse puissance, il est donc nécessaire d'agencer les cellules en série et parallèle afin d'augmenter la tension, le courant et la puissance nominale. Un assemblage de plusieurs cellules est communément appelé une batterie. La Figure 14.a présente un montage simple de cellule en série permettant d'augmenter la tension et la puissance de la batterie, mais conserve le même courant nominal. La Figure 14.b présente un assemblage parallèle qui conserve la même tension mais permet d'augmenter le courant et la capacité nominale de la batterie. Les Figures 14.c et 14.d sont des exemples d'assemblage série-parallèle. Dans la Figure 14.c, nous assemblons d'abord les cellules en parallèle et ensuite nous assemblons les groupes parallèles en série. À la figure 14.d l'agencement se fait d'abord en série et les connexions parallèles se font aux extrémités.

En montage matriciel toutes les cellules de chacune des lignes série vont s'équilibrer à la même tension que ses voisines alors qu'en montage série-parallèle, la tension entre les lignes série ne sera égale qu'aux extrémités et les tensions des cellules intermédiaires peuvent être différente de leurs voisines. Le montage matriciel est le plus recommandé, car il réduit le nombre de points de mesure de tension du système et la complexité du système de gestion de batterie.



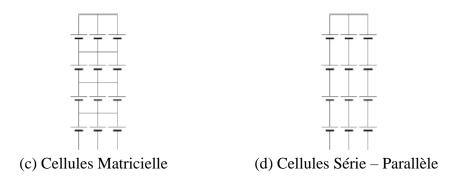


Figure 14:Agencements de Cellules

4. Grandeurs et caractéristiques des batteries aux lithium-ion

4.1 La tension nominale

La tension nominale, exprimée en volt, est fixée par le potentiel de la réaction chimique de chaque élément du couple d'oxydoréduction utilisé. Par exemple, dans le cas d'une batterie au lithium-ion la tension nominale par cellule est de 3.6 volts.

4.2 Tension en circuit ouvert

La tension à vide ou en circuit ouvert OCV (Open Circuit Voltage) d'une batterie correspond à son potentiel d'équilibre : la différence de potentiel entre les deux électrodes quand la batterie est au repos. Cette tension d'équilibre dépend directement des activités des espèces actives qui varient avec l'état de charge et la température.

4.3 Capacité

La capacité est une quantité d'électricité, exprimée en Ah, pour un régime donné. Elle correspond au total des Ah disponibles lorsque la batterie est déchargée à un certain régime (ou à un certain courant) à partir de 100% d'état de charge jusqu'à la tension limite de fin de décharge. Généralement, la capacité est calculée en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge. Elle dépend de la température ainsi que du régime et elle est maximale quand la batterie est neuve.

Les fabricants de batteries fournissent souvent la capacité nominale qui est obtenue à un courant de décharge nominale, respectant les limites de tensions spécifiées et dans des conditions de température données.

4.4 Régime de décharge (Taux C) :

Dans la description des batteries, les courants de décharge sont généralement exprimés en fonction du régime de décharge (C-rate). Il est considéré comme une normalisation vis-à-vis de la capacité de la batterie. Il correspond donc à une mesure du taux auquel la batterie est déchargée relativement à sa capacité maximale en guise de fraction et qui donne aussi une indication sur la durée de la décharge. Par exemple, le régime de décharge 1C signifie que la

batterie sera complètement déchargée en une heure. Une batterie de 100Ah déchargée à un régime de (C-rate) 1C sera complètement déchargée après une heure à un courant de 100A. A un régime de 5C, le courant de décharge sera de 500A et la batterie sera déchargée en 1/5 d'une heure.

4.5 Résistance interne :

La résistance interne de la batterie est liée aux matériaux constituant la batterie et aux réactions au sein de celle-ci. Elle dépend du régime de charge/décharge, de la température, de l'état de santé et de l'état de charge. Elle donne une indication du rendement énergétique de la batterie. En effet, avec la résistance, les pertes par effet Joule augmentent ce qui diminue le rendement. Il à noter que la capacité et la résistance interne d'une batterie sont deux données particulièrement importantes pour quantifier son état de santé. Elles sont également liées à l'état de fonction SOF (State Of Function) puisque la résistance est l'image de la puissance maximale disponible et la capacité celle de l'énergie maximale pouvant être exploitée.

4.6 L'état de charge SOC (State of charge) :

L'état de charge, traduction de l'anglais State of Charge (SOC), représente le pourcentage d'énergie emmagasinée ou de charge électrique restante dans une cellule ou une batterie.

Dans la majorité des applications faisant intervenir un système de stockage d'énergie, la connaissance de l'état de charge de la batterie est primordiale. C'est l'équivalent d'une jauge d'essence pour une voiture ordinaire.

Dans le cas d'un véhicule électrique, cette information va aider le conducteur à savoir la distance restante à parcourir avant que sa batterie ne se décharge.

L'énergie stockée dans une batterie devrait être exprimée en kWh, mais les manufacturiers vont souvent préférer afficher la charge électrique en Ah dans la fiche de spécification.

4.7 Etat de santé:

L'état de santé SOH (State Of Health) est une grandeur qui quantifie les pertes de performances dues à la dégradation de la batterie. Il peut être défini comme le rapport entre la capacité totale actuelle et la capacité maximale obtenue lorsque la batterie était neuve.

4.8 L'énergie

L'énergie chimique dégagée pendant le processus de décharge est transformée en énergie électrique. Elle dépend de la tension et de la charge stockée. L'unité de mesure est généralement exprimée en joule ou en Wattheure (Wh) et elle est définie par l'équation suivante :

$$E = \int_{t_0}^t V_t(t) \times I_b(t) dt \tag{1}$$

Vt(t) représente la tension terminale aux bornes de la batterie et Ib(t) le courant de la batterie.

5. Effet de la température

La température joue un rôle important dans le fonctionnement des cellules au lithium-ion. Comme illustré à la Figure 15, la température idéale d'utilisation se situe entre 10°C et 35°C. La température influence les caractéristiques internes de la cellule et accélère le vieillissement.

Dans la zone d'opération, aucune réduction de durée vie n'est anticipée si les cellules sont utilisées à l'intérieur de leurs spécifications maximales.

La température froide augmente l'impédance de la cellule en ralentissant le transfert des ions et en dessous de -20°C l'électrolyte commence à geler ce qui réduit la capacité et les performances. Au-dessus de 60°C, la chimie peut devenir instable, vieillir de façon très prématurer et créer un emballement thermique. Les cellules ne doivent jamais être utilisées hors de la plage de survie.

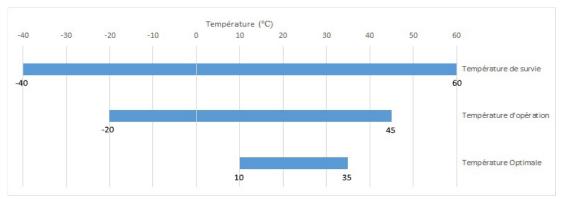


Figure 15:Plage de température des cellules au lithium-ion

II. Système de gestion de batterie BMS (Battery Management System) :

Un système de gestion de batterie (BMS) est un ensemble de circuits et de composants électriques qui est associé au fonctionnement de la batterie. Comme illustré à la Figure 16, le système de gestion doit s'interfacer et communiquer avec plusieurs éléments du véhicule.

Le BMS doit gérer tous les éléments liés à la batterie telle que les cellules, les contacteurs de puissance, le détecteur de défaut d'isolation et communiquer les informations pertinentes aux autres systèmes du véhicule. Dans la conception du système de gestion de batterie, il y a deux segments importants, le développement matériel et logiciel. Les sections suivantes détailleront les topologies et éléments matériels ainsi que les fonctions logiciel nécessaires à la conception de système de gestion de batterie.

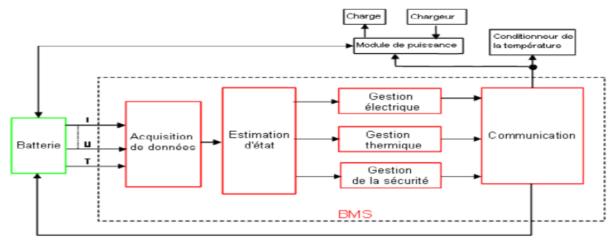


Figure 16:Schéma synoptique de la BMS

Pour certaines applications alimentées par batterie, le module de stockage est doté d'un système de gestion et de distribution d'énergie appelé système de gestion de batterie (BMS). Dans le but d'optimiser ses performances par rapport aux demandes de la mission tout en limitant les risques de dégradation de la batterie, ce système interface avec les autres modules embarqués et fonctionne en temps réel pour le contrôle du charge/décharge. Ce contrôle permet de protéger la batterie contre la surcharge et la sur décharge. Durant toute la mission, un BMS a pour rôle d'assurer plusieurs tâches comme détermination de l'état de charge, la gestion électrique, la gestion de la sécurité.

Les caractéristiques d'un BMS sont dépendantes de l'application. En général, les fonctionnalités du BMS peuvent être découpées en tâches sont schématisée sur la figure suivante :

1. Les fonctionnalités du BMS

L'objectif de ces fonctionnalités et de protéger la batterie de tous les dommages éventuels, de prolonger la durée de vie de ces éléments, et de veiller à maintenir la batterie à un niveau de fonctionnement optimal.

1.1 Acquisition de données

Pour contrôler les processus de charge et de décharge les algorithmes de gestion ont besoin d'un certain nombre de données mesurées (courants, tensions, température, ...).

• Mesure de courant :

Pour la mesure de courant on utilise un capteur de courant à effet hall.

• Mesure de tension :

Pour la mesure de tension on utilise un capteur ou un diviseur de tension.

Mesure de température :

Pour mesurer la température on utilise un thermocouple ou un transistor LM35.

1.2 Estimation de l'état de la batterie

L'état de la batterie est utilisé par le BMS comme paramètre d'entrée et en plus, c'est un paramètre important pour l'utilisateur. L'état de la batterie peut être décrit par les deux paramètres SOC (State of charge) et SOH (State of health). Ces deux paramètres influencent les paramètres internes de la batterie (résistance interne, capacité de stockage, tension à vide,).

Cet indicateur peut être utilisé pour estimer l'autonomie d'un véhicule électrique (SOC) ou la durée de vie de la batterie elle-même (SOH).

De nombreuses méthodes pour estimer l'état de charge de batterie ont été proposées. L'une des premières méthodes, proposée dès 1963 est basée sur une mesure de tension. Parmi l'ensemble des techniques proposées depuis cette époque, on distingue trois grandes familles de méthodes sont représenté dans le chapitre suivant.

1.3 Gestion électrique

La gestion électrique contrôle le processus de charge et de décharge de la batterie. Les tâches suivantes doivent être remplies :

• Le contrôle du processus de charge :

Contrôle de la charge batterie pour assurer une phase de charge la plus courte possible.

• Le contrôle du processus de décharge :

Il n'existe pas un profil de charge et de décharge valable pour tous les types de batterie. La technologie de la batterie utilisée qui fixe le processus de contrôle de charge et décharge.

1.4 Gestion de la sécurité :

La protection de la batterie des risques en évitant la surcharge ou la sur décharge excessive ou d'autres anomalies majeures (l'augmentation de la température pour les Li-Ion) qui peuvent se produire en cas de défaillance de la batterie ou des équipements dans l'environnement qui l'entoure. Cette protection peut être physique, par relai pour arrêt d'urgence ou par envoi d'alarme. Pour cela il est nécessaire d'implanter des systèmes de protection autour de chaque cellule. Ce système de protections doit être très rapide par rapport aux variations des paramètres de protection. Les paramètres les plus contrôlés sont :

- Les courants excessifs,
- Le court-circuit,
- Les surtensions et les surcharges,
- Les sous tensions,
- Les surchauffes,
- L'augmentation de la pression à l'intérieur des cellules,
- Les longues périodes en état de charge faible.

1.5 Gestion thermique

Le Contrôle thermique de la batterie a pour but de maintenir les batteries dans une plage d'opération sécurisée (entre 10 et 35 C). Ce contrôle peut aller d'une simple mesure de la température afin de revoir la stratégie des équipements auxiliaire à mettre en servie.

La gestion thermique de la batterie se divise en deux fonctions spécifiques, la surveillance de la température des cellules et le contrôle de la température de la batterie, le BMS peut envoyer des messages au système de gestion de véhicule (VCU) afin de prendre des actions pour réduire l'échauffement des cellules. Les actions peuvent aller de la réduction progressive de la demande en puissance du véhicule à l'arrêt complet. Dans le cas où un système de refroidissement est intégré dans le véhicule, le BMS aura pour tâche de contrôler l'activation de système afin de réduire la température. Certains petits véhicules tels que les motos utilisent du refroidissement passif à convection naturelle ou forcée avec un ventilateur. Les véhicules plus spacieux ont souvent recours à des systèmes au liquide qui permettent à la fois de refroidir ou de chauffer la batterie en condition hivernale.

1.6 Communication

La communication entre le BMS et d'autres dispositifs est une tâche importante. Selon l'application, différents systèmes d'interfaces peuvent être utilisés pour l'échange de données. Voici quelques exemples possibles :

- Le bus CAN (Controller Area Network), le bus LIN (Local Interconnexion Network).
- Signaux analogiques.
- Signaux modulés (MLI).
- le bus I2C (Inter-Integrated Circuit).

1.7 Equilibrage des cellules

La variation des caractéristiques électriques, capacité et résistance interne, due à la dispersion de production, au vieillissement et à la distribution thermique inhomogène peut provoquer des différences de l'état de charge entre cellules au sein d'un pack batterie. En conséquence, si l'état de charge n'est pas périodiquement équilibré, certaines cellules seront exposées à des surcharges ou des sur-décharges causant donc leur dégradation irréversible et probablement la défaillance totale du pack. Pour remédier à ce problème deux solutions sont proposées :

• L'équilibrage passif :

La technique d'équilibrage passif des cellules utilise l'idée de décharger les cellules par une voie de dérivation qui est principalement de nature dissipative. Elle est simple et plus facile à mettre en œuvre que les techniques d'équilibrage actif, car la dérivation peut être externe ou intégrée, ce qui rend le système plus économique dans les deux cas. Cependant, étant donné que toute l'énergie excessive est dissipée sous forme de chaleur, l'autonomie de la batterie est affectée de manière négative et il est moins probable qu'elle soit utilisée pendant la décharge.

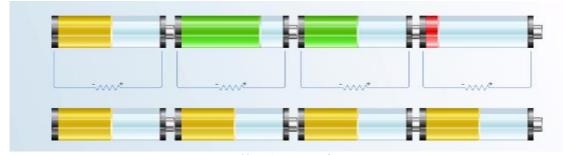


Figure 17:L'équilibrage passif

• L'équilibrage actif :

La technique d'équilibrage actif des cellules utilise la circulation de charge inductive ou la circulation de charge capacitive pour transférer la charge entre les cellules. Cette technique s'est avérée être une approche efficace car elle transfère l'énergie là où elle est nécessaire au lieu de la gaspiller. Cependant, elle exige l'ajout de composants supplémentaires au système, ce qui se traduit par une augmentation du coût.

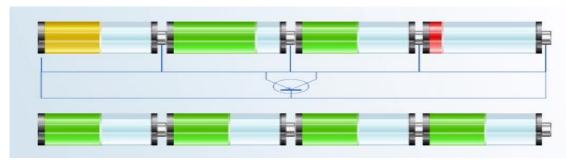


Figure 18:L'équilibrage actif

2. Topologies:

Il existe plusieurs topologies dans la conception des BMS. Dépendant de l'architecture et de la complexité de la batterie, on distingue généralement deux types dans l'industrie automobile

• BMS Centralisé:

Le BMS centralisé, illustré à la Figure 10a, est composé d'une seule unité de contrôle qui prend la mesure de tension de chaque cellule, le courant de sortie de la batterie et exécute les algorithmes d'estimation. Sa simplicité est adéquate pour les batteries de petite taille, mais le câblage peut devenir très complexe lorsque le nombre de cellules augmente. Avec une batterie de grande taille, l'installation et la maintenance peuvent s'avérer complexes. Le nombre élevé de fils rend cette topologie peu fiable, car il y a un risque de défaillance sur chaque fil. Par contre, le coût de l'électronique est réduit puisqu'il nécessite qu'un seul circuit et le refroidissement des composants de balancement des cellules soient à un seul endroit.

• BMS Maître-Esclaves:

Le BMS Maître-Esclaves, illustré à la Figure 10b, est composé de deux circuits électroniques distincts qui ont chacun des fonctions différentes. Le circuit maître sert d'interface entre la batterie et les autres sous-systèmes du véhicule, tel que l'ordinateur de bord ou le chargeur.

Il est doté d'un microcontrôleur plus puissant que les esclaves qui lui permet d'effectuer les calculs d'estimation d'état de charge (SOC), d'état de santé (SOH), les stratégies de balancement et de sécurité. Le circuit maître reçoit les données de chacun des esclaves, ce qui lui donne une vision globale de la batterie. Le circuit esclave est plutôt dédié à l'acquisition des données et le traitement de base de celles-ci. Situé près des cellules, il permet d'acquérir les valeurs de tension et de température pour un lot de cellules. Le nombre de cellules surveillées par le circuit esclave est variable selon le design du module physique sur le lequel le circuit est installé. Cette topologie permet une grande flexibilité dans une application où l'ajout ou le remplacement de module est possible. Comme le maître est indépendant des cellules et que les esclaves sont identiques, l'ajout ou le remplacement d'un module esclave n'a pas d'impact au niveau fonctionnel et matériel. C'est la topologie la plus privilégiée pour des batteries de haute densité et dans le domaine automobile.

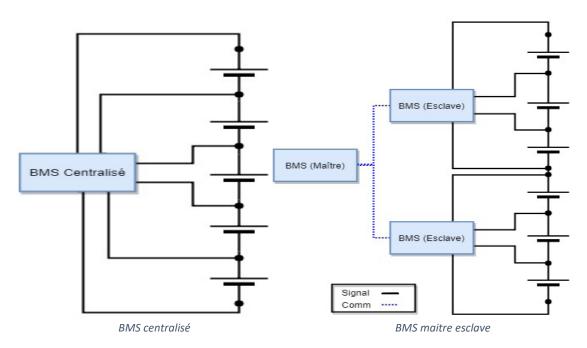


Figure 19:Topologie de BMS

3. Le système de gestion de batterie dans l'automobile

Dans l'industrie automobile, chaque manufacturier a son propre design de circuit de gestion de batterie. Nous pouvons constater dans le Tableau 3 que la topologie le maître – esclave et le balancement de type passif sont les plus utilisés. En ce qui concerne le choix du microcontrôleur et du circuit intégré d'interface cellules, les choix sont très variés. Par contre, il est important de noter que tous les microcontrôleurs, à l'exception du Freescale MC9S12P64 utilisé dans la BMW i3, sont 32bits. La Figure 20 montre le circuit esclave utilisé dans la Tesla Model S.

Modèle	Topologie	Microcontrôleur	Equilibrage
Chevrolet Volt	Maître - Esclave	Freescale S9S08DZ32	Passif
2011			
Tesla Model S	Maître - Esclave	Freescale MC9S12P64	Actif
Mitsubishi	Maître - Esclave	NEC F3612M2	Passif
iMiEV 2011			
BMW i3	Maître - Esclave	Freescale MC9S12P64	Actif
Ford Fusion	Centralisé	Freescale	Passif
2013		MPC5534MVZ80	
Nissan Leaf	Centralisé	Renesas	Passif
2011		PD70F3236BM	

Tableau 3:Design de BMS de certains véhicules disponibles sur le marché



Figure 20:BMS dans Tesla Model S

CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré à une étude bibliographique concernant les batteries lithiumion. Dans un premier temps, nous avons présenté leur origine, leurs grandeurs caractéristiques, leur principe de fonctionnement et les différents types existant. Par la suite nous exposons c'est quoi un système de gestion de batterie (BMS), les différentes fonctionnalités et les topologies utilisé dans le domaine automobile. Chapitre III
Modélisation et
estimation de
l'état de charge de
la batterie au
lithium ion

INTRODUCTION

Dans la première partie de ce chapitre nous allons traiter les différents modèles qui existent et qui représentent le comportement de la batterie, par la suite nous citons les différentes méthodes classiques de l'estimation de l'état de charge avec une étude comparative basé sur les résultats obtenus et les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

I. Modélisation des batteries aux lithium-ion

La modélisation des batteries lithium-ion n'est pas une tâche simple car celle-ci s'apparente à un système complexe basé sur des interactions entre différents domaines tels que la physique, l'électrochimie et la thermique.

Généralement, c'est l'exigence de l'application visée qui fixe le degré de complexité du modèle. Le modèle peut favoriser la simplicité en tenant compte de plusieurs hypothèses simplificatrices, soit exiger plus de performance en intégrant la quasi-totalité des caractéristiques physico-chimique de la batterie. On distingue plusieurs types de modèles qui peuvent être classés selon leur conception :

1. Modèle électrochimique

C'est un modèle complexe qui prend en considération les phénomènes typiquement électrochimiques mis en jeu comme la diffusion, la polarisation et le transfert de masse. Généralement, le modèle électrochimique consiste en des modèles mathématiques représentés par des équations aux dérivées partielles difficiles à résoudre, car elles nécessitent des conditions initiales et aux limites. En plus ces modèles nécessitent plusieurs paramètres chimiques qui sont difficiles à déterminer.

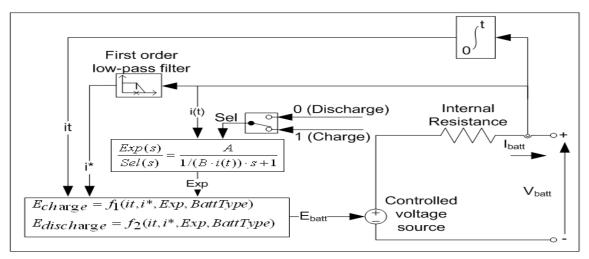


Figure 21:Schéma fonctionnel du modèle

La figure 22 montre le fonctionnement général du modèle. Le modèle repose sur deux équations, une équation pour le cas de décharge et une équation pour le cas de recharge. Ces deux équations permettent de prendre en compte l'effet d'hystérésis entre la charge et la décharge. Le comportement non linéaire de la batterie est inclus dans ces équations et la chute de tension instantanée est représentée par la résistance série interne.

Modèle en Décharge (Ibatt>0):

$$Vbatt = E0 - (If + It) \times \frac{Q}{Q - It} \times K + Ae^{-B \times It}$$
 (2)

Modèle en charge (Ibatt>0):

$$Vbatt = E0 - K \times \frac{Q}{It + 0.1 \times Q} \times If - K \times \frac{Q}{Q - It} \times It + Ae^{-B \times It} \eqno(3)$$

Les variables contenues dans les équations représentent :

- Vbatt est la tension de lecture aux bornes de la batterie (V).
- E0 constante de tension fonction de A et de la tension pleine charge (V).
- K est la résistance de polarisation (Ohms).
- If est le courant filtré (A).
- i est le courant (A).
- It est l'énergie extraite de la cellule (Ah).
- Q l'énergie maximale contenue dans la cellule (Ah).
- A est l'amplitude de tension de la zone exponentielle (V).
- B constante de temps de la zone exponentielle (Ah-1).

2. Modèle circuit électrique équivalent

Ce sont des modèles à base de circuit électriques équivalents. Ces modèles considèrent les phénomènes physico-chimiques tels que par exemple le transfert de charge, la capacité de double couche et la diffusion via des associations de composants électriques de type résistance et capacité.

2.1 Model idéal

Le modèle idéal est le plus utilisée, car simple à étudier, il est composé d'un générateur idéal qui a une résistance interne constante (Rint). La tension en circuit ouvert (V0) et (Vb) qui est la tension aux bornes de la batterie.

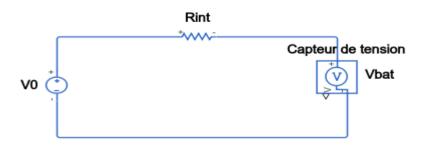


Figure 22:Modèle idéal d'une batterie

Dans ce simple modèle, Rint et V0 sont considérés constantes. Ce modèle ne tient pas compte ni de la variation de la résistance interne de l'accumulateur en fonction de l'état de charge ni de la température. Il peut être appliqué si on néglige la dépendance des paramètres de l'état de charge et de la température.

Tel que : $Vbat = V0 - Rint \times Ib$ (4)

Vbat: Tension de sortie de la batterie

V0 : Tension à vide (OCV)Rint : La résistance interne

2.2 Le modèle de Thévenin

Ce modèle est également une amélioration du modèle simple grâce à l'insertion d'un dipôle RC. Il introduit une résistance appelée résistance de transfert R1, qui représente l'effet de déplacement des ions entre les deux électrodes de la batterie, ainsi qu'une capacité C0 dite à double couche, qui représente le phénomène de contact entre l'électrode et l'électrolyte.

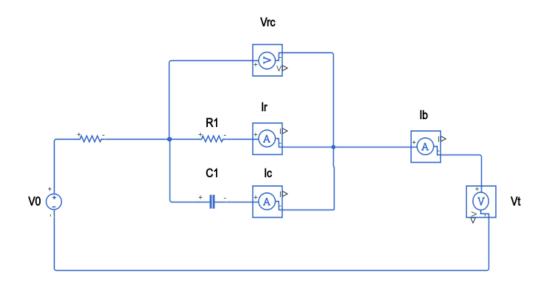


Figure 23:Modèle de Thevenin

R0 : la résistance interne

V0: la tension à vide (OCV)

C1 : la capacité de la double couche

R1: la résistance de transfert

 $\mathbf{V}\mathbf{t}$: tension de sortie de la batterie

Vrc: la tension à la borne RC

Ib : Le courant de la batterie.

Ir : le courant qui circule dans la résistance R0

Ic : le courant qui circule dans la capacité C0

SOC : l'état de charge

a, b: des variables

Tel que:

$$Vt = V0 + R0 \times Ib + Vrc$$
 (5)

$$Ib = Ir + Ic (6$$

$$Ib = \frac{Up}{R1} + C1 \times \frac{dUp}{dt}$$
 (7)

$$\frac{\text{dVrc}}{\text{dt}} = \frac{\text{Ib}}{\text{C1}} - \frac{\text{Vrc}}{\text{R1} \times \text{C1}}$$
 (8)

$$V0 = a \times SOC + b \tag{9}$$

II. La modélisation sous Matlab/Simulink

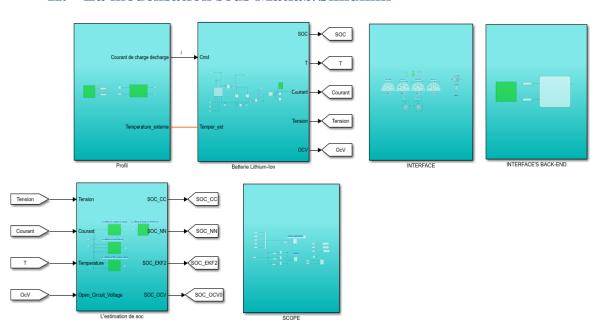
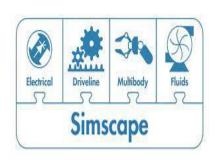


Figure 24:Le système modélisé sous Matlab/Simulink

1. Les outils utilisés





Matlab est un environnement de programmation orienté calcul numérique. Articulé autour du langage de script du même nom, il est doté d'un éditeur permettant d'exécuter des séquences de commandes encapsulées dans des fonctions.

Simulink est un outil de Matlab permettant de modéliser, simuler et analyser un système dynamique. Le logiciel permet d'étudier le comportement d'un grand nombre de systèmes dynamiques incluant les systèmes électriques, mécaniques et thermodynamiques.

Simscape est une extension de Simulink dédiée à la modélisation des systèmes mécaniques, électriques, hydrauliques et bien d'autres, sous forme de réseaux physiques. Les bibliothèques de blocs fondamentaux de chaque domaine permettent d'assembler et de construire des modèles plus complexes grâce à la modélisation sous forme de réseau physique.

2. Batterie Lithium-ion

2.1 Cellule Lib

Dans la modélisation de la cellule lithium-ion on a adopté le modèle de Thévenin discuté dans l'axe précédent, malgré que la bibliothèque Simscape a un bloc prédéfini d'une batterie lithium-ion mais il ne donne pas la possibilité d'agir sur les paramètres internes de la batterie aussi à la place d'utiliser des composants normale (V,R,C) pour créer le modèle de Thévenin, on a personnalisé nos propres composants, ces composants acceptent la température et l'état de charge de la batterie comme des entrées c'est-à-dire que le changement de T et SOC va influencer le système pour objectif d'être proche à la réalité.

La cellule est composée d'une résistance R0 personnalisé responsable de la chute de la tension instantanée. Les composants de réseaux (R1 C1) sont responsables des transitoires à long et à court terme dans la cellule et un générateur de tension V0 qui caractérise la tension en circuit ouvert de la batterie.

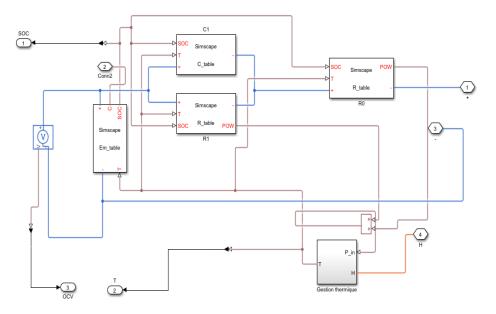


Figure 25:Batterie Lithium-ion

1.1 Système de charge décharge

Le système est composé d'une cellule lithium-ion à base d'un modèle de Thevenin, des capteurs de tension, courant et une source de courant pour créer le profil de charge et décharge aussi la cellule accepte comme entré la température de l'environnement extérieur.

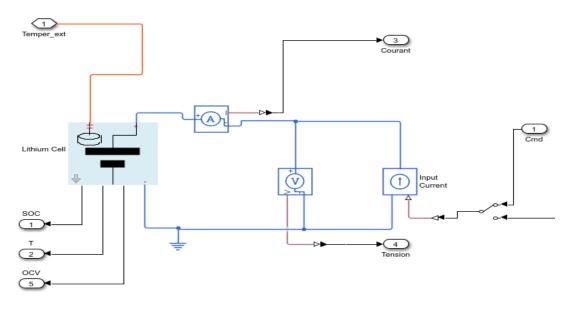


Figure 26:Système de charge décharge

2. Profil

On génère le profil de charge décharge et la température de l'environnement avec la composante « Signal Builder »

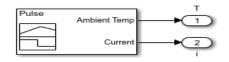


Figure 27:Signal Builder

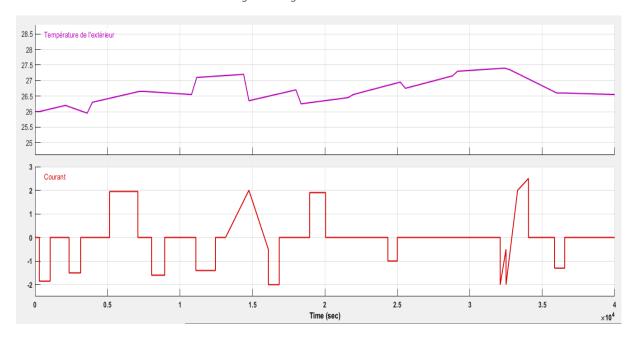


Figure 28:Profil de charge décharge et la température

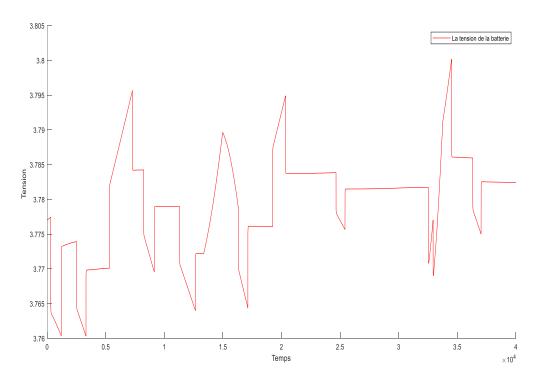


Figure 29:L'évolution de la tension de la batterie selon le profil Estimation

3. L'estimation de l'état de charge

C'est le fruit du projet ce sous-système contient toutes les méthodes d'estimation et on va entamer ça en détail dans l'axe III.

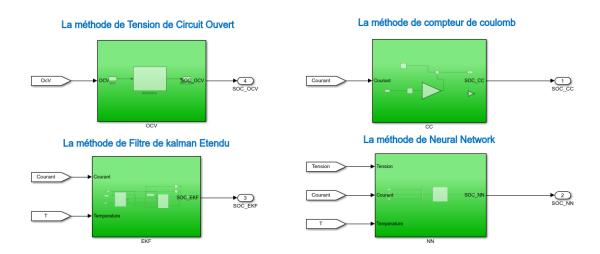


Figure 30:L'estimation de l'état de charge

4. Scope

Dédier à la visualisation des résultats avec des scopes

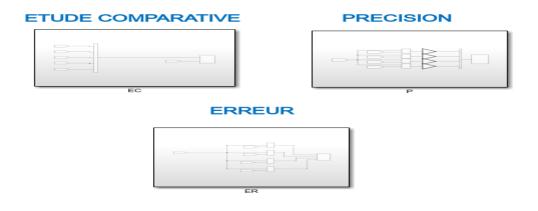


Figure 31:Scope

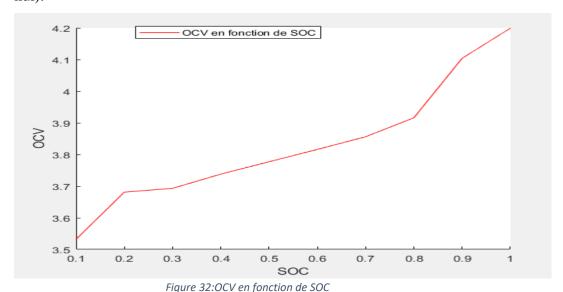
III. L'estimation de l'état de charge de la batterie avec les méthodes classiques

Dans la majorité des applications faisant intervenir un système de stockage d'énergie, la connaissance de l'état de charge de la batterie est primordiale. C'est l'équivalent d'une jauge d'essence pour une voiture ordinaire. Dans le cas d'un véhicule électrique, cette information va aider le conducteur à savoir la distance restante à parcourir avant que sa batterie ne se décharge.

L'état de charge SOC est un paramètre important puisqu'il renvoie les performances de la batterie. Le problème qui est souvent rapporté dans la littérature, c'est que l'état de charge ne peut pas être mesuré directement à l'aide de capteurs. Donc, pour palier à ce problème quelques méthodes ont été développées pour l'estimer.

1. L'estimation de SOC par mesure de tension en circuit ouvert

Cette méthode nécessite donc d'avoir au préalable édité une table de correspondance prenant en compte les effets de la température. De plus, cette méthode a pour principal inconvénient de recourir à une mesure lorsque la cellule n'est pas sollicitée (au repos) depuis un certain temps (après relaxation d'une durée fixée). La détermination du SOC "en ligne" n'est ainsi pas permise lors des phases d'utilisation de la batterie, où la tension de la cellule au repos (OCV) n'est pas accessible car indissociable des chutes de tensions dues à l'impédance interne. Pour pallier à ce problème, un modèle électrique simple est utilisé pour estimer la tension OCV correspondante à une tension mesurée lorsque la batterie est en fonctionnement (courant non nul).



Dans le cas des cellules au lithium ion, la relation entre l'état de charge et la tension en circuit ouvert n'est pas linéaire, tel qu'à la figure, et différente pour chacune des chimies

énumérées dans le Tableau (état d'art).

L'avantage de cette méthode est qu'elle est très simple à implémenter et est très précise, si utilisé avec de bon convertisseur analogique/numérique. Les inconvénients sont que la mesure de tension doit être prise lorsque que la cellule est au repos et que la température influence la courbe, la compensation en température est importante pour obtenir une meilleure précision sur l'estimation de l'état de charge.

1.1 L'implémentation sur Matlab/Simulink



Figure 33:SOC(OCV)

Apres la mesure de la tension en circuit ouvert de la cellule lithium-ion en différente soc on trace la courbe équivalente et on trouve l'équation caractéristique à l'aide de l'application « Curve Fitting » intégrer dans Matlab

Tel que:

1.2 Résultat

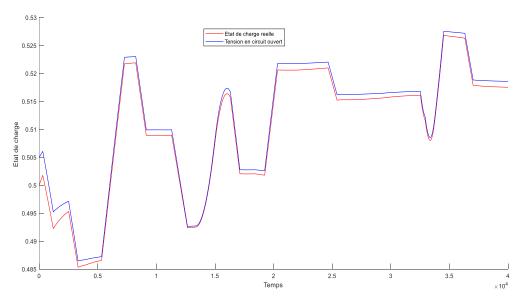


Figure 34:L'estimation de l'état de charge avec OCV

Cette méthode nous donne des résultats raisonnables avec une marge d'erreur entre 0 et 0.5%.

2. L'estimation de SOC par compteur de coulomb

Le compteur de coulomb consiste à mesurer le courant de sortie de la batterie et de faire l'intégration de celui-ci en fonction du temps. Ceci nous permet d'obtenir l'énergie en Ampère-Heure (Ah) entrant ou sortant par la batterie et l'énergie restante sera obtenue en soustrayant le

résultat de la capacité nominale. L'expression de mathématique pour la mesure de l'état de charge est donnée par l'équation 3.3. Cette méthode est très facile à implémenter, car il ne nécessite que l'installation d'un capteur de courant. Par contre, cet algorithme en boucle ouverte est influencé par plusieurs facteurs tels que le bruit électrique, la température, les pointes de courant rapide et l'erreur intrinsèque du capteur.

Ces facteurs ainsi que la difficulté à estimer l'état de charge initial, souvent estimé conjointement avec la méthode tension circuit ouvert, peuvent mener à des erreurs cumulatives significatives qui divergent de la valeur réelle d'état de charge. De plus, la perte de capacité n'est pas considérée, ce qui augmentera l'erreur d'estimation au courant du cycle de vie si aucune calibration n'est faite périodiquement.

$$SOC(t) = SOC(0) - \int \frac{lb}{Qc} dt \quad (11)$$

Ib : Le courant de la batterie.

Qc : La charge totale de la batterie.

SOC (t) : L'état de charge à l'instant t.

SOC (0) : L'état de charge initiale.

2.1 L'implémentation sur Matlab/Simulink

On a fait une traduction de l'équation mathématique à l'aide de Simulink

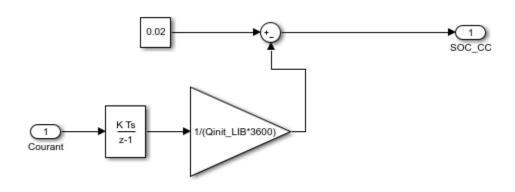


Figure 35:Compteur de coulomb dans Simulink

2.2 Résultat

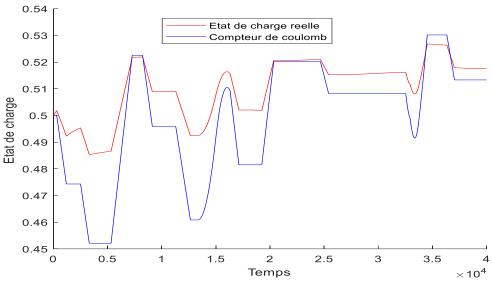


Figure 36:L'estimation de l'état de charge avec compteur de coulomb

La méthode de compteur de coulomb n'est pas pratique dans les applications compliquées comme l'automobile

3. L'estimation du SOC par le filtre de KALMAN

Les filtres de Kalman sont des algorithmes adaptatifs qui permettent d'estimer l'état de paramètres d'un modèle dynamique à partir de données observées ayant une certaine marge d'erreur. Ces filtres sont très utilisés dans le domaine automobile, positionnement radar, aérospatial et dans la navigation GPS. Les filtres de Kalman sont un ensemble d'équations qui permettent de prédire l'état présent et de le corriger de façon répétée pendant que le système est en opération. Le filtre de Kalman est un procédé constituer de deux équations, l'équation 2 qui permet de prédire l'état présent xk du système dynamique à partir de l'état précédent xk-1 et l'équation 3 qui permet d'actualiser l'état présent à partir des mesures prises.

$$X_k = A_k \times X_{k-1} + B_k \times U_k + W_k$$
 (12)

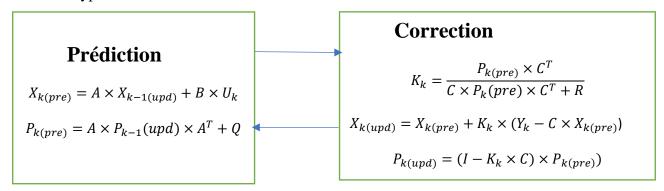
$$Y_k = C_k \times X_k + D_k \times U_k + v_k \tag{13}$$

Dans ces équations x représente l'état du système, u les variables d'entrées, w le bruit de procédé, y la mesure, v le bruit de mesure et les matrices A, B, C, D représentent la dynamique du système.

3.1 Le filtre de kalman Etendu

Le filtre de Kalman a été développé pour les systèmes linéaires et n'est donc pas adapté aux caractéristiques non linéaires des batteries Li-ion. À cette fin, le filtre de Kalman étendu (EKF) est recommandé. Les filtres de Kalman sont largement utilisés pour estimer l'état de

charge et l'état de santé de batterie. Il existe plusieurs méthodes dérivées de Kalman étendu et plusieurs manières différentes d'implémenter le filtre. Les différents types de filtres Kalman sont : Filtre de Kalman (KF), Filtre de Kalman Etendu (EFK), "Unscented" Kalman (UKF) et le filtre de Kalman Etendu Adaptative (AEKF) avec deux configurations de modèles électriquement équivalentes. Le filtre de Kalman est un choix très intéressant car c'est une méthode bien documentée dans le domaine, facile à mettre en œuvre et combinable avec de nombreux types de modèles.



L'algorithme KF comporte deux étapes de calcul à savoir l'étape de prédiction et l'étape de correction. Dans l'étape de prédiction, la covariance des erreurs est prédite à partir des valeurs données du bruit de processus(Q), du bruit de mesure(R) et de l'état initial.

Une fois les prédictions effectuées, le gain de Kalman est trouvé et les états du système et la covariance d'erreur sont mis à jour, ce qui relève de l'étape de correction. La figure 4.3 montre le déroulement de l'algorithme filtre de Kalman étendu.

Le filtre de kalman est basé sur le modèle de Thevenin discuté dans figure 2 tel que :

$$U = Ib X = \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SOC \\ Vrc \end{bmatrix} Q = \begin{bmatrix} 10^{-5} & 10^{-6} \end{bmatrix} R = 2 \times 10^{-3} P = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

U : l'entrée du système. X : les états à observer. P :

Q et R : bruit de processus et bruit de mesure.

$$\dot{X} = f(X, U) + Q \qquad Y = g(X, U) + R$$

D'après les équations (8) et (11) on a :
$$f(X, U) = \begin{bmatrix} f1 \\ f2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{U}{Qc} \\ \frac{U}{C1} - \frac{X2}{R1 \times C1} \end{bmatrix}$$
 (14)

D'après les équations (5) et (9) on a $g(X, U) = a \times X1 + b + X2 + U \times R0$ (15) Après la linéarisation su système on trouve que :

$$\dot{X} = A_k \times X + B_k \times U \quad (16)$$

$$Y = C_k \times X + D_k \times U \qquad (17)$$

$$A_{k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{1}}{\partial x_{1}} & \frac{\partial f_{1}}{\partial x_{2}} \\ \frac{\partial f_{2}}{\partial x_{1}} & \frac{\partial f_{2}}{\partial x_{2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_{1} \times C_{1}} \end{bmatrix} \qquad B_{k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{1}}{\partial U} \\ \frac{\partial f_{2}}{\partial U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{Qc} \\ \frac{1}{C_{1}} \end{bmatrix}$$

$$C_{k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial x_{1}} & \frac{\partial g}{\partial x_{2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dV0}{dSOC} & 1 \end{bmatrix} \qquad D = \frac{\partial g}{\partial U} = R0$$

3.2 L'implémentation de filtre de Kalman Etendu sur Matlab/Simulink

On a mis les équations d'algorithme filtre de kalman dans une fonction Matlab pour gérer les deux phases : prédiction et correction. Le bloc lié aux sortie son objectif est l'initialisation aussi sauvegarder l'état actuelle pour l'utiliser comme entré après.

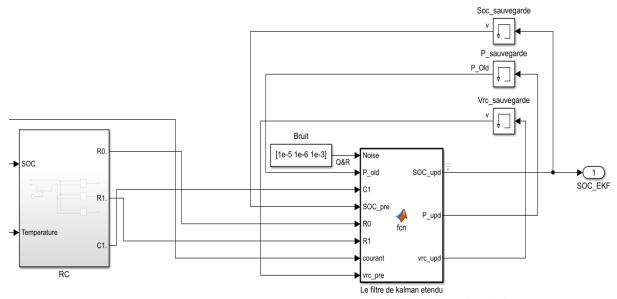


Figure 37:Filtre de kalman étendu sous Simulink

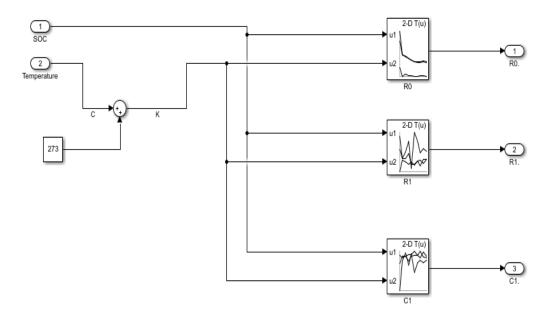


Figure 38:Les paramètres internes de la batterie.

Les paramètres interne de la batterie sont insérés dans des tableau et le choix se fait selon l'état de charge et la température de la batterie.

3.3 Résultat

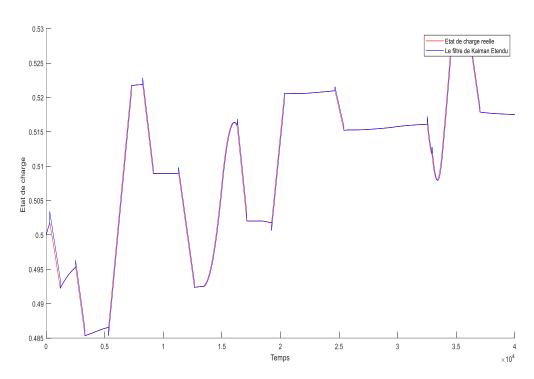


Figure 39L'estimation de l'état de charge avec le filtre de Kalman Etendu

Cette méthode est la plus utilisée dans l'industrie automobile car il estime l'état de charge avec une bonne précision.

4. Etude comparative entre les méthodes classiques

Méthode	Complexité	Précision	Limitation
OCV	Faible	Moyenne	 -La non linéarité de la courbe OCV(SOC) pour la batterie lithium ion. -La batterie doit être en repos pour estimer l'état de charge.
Compteur de Coulomb	Faible	Faible	 -Méthode en boucle ouverte. -Nécessite l'estimation de l'état de charge initiale. -L'intégrale accumule les erreurs.
Filtre de Kalman Etendu	Moyenne	Elevée	-L'estimation des paramètres pour le modèle équivalent. -Une marge d'erreur dans le début d'estimation.

Tableau 4:Comparaison entre les méthodes d'estimation

Dans notre projet on trouve que le filtre de kalman étendu est la méthode classique la plus efficace par rapport aux autres méthodes.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents modèles qui représentent l'accumulateur et les méthodes classiques qui permettent d'estimer l'état de charge de la batterie.

Tout d'abord on a présenté deux principales approches de la modélisation de la batterie dans la littérature : les modèles électrochimiques et les modèles de type circuit électrique équivalent. Ensuite, une présentation est faite sur les procédures de caractérisation des modèles de type circuit électriques équivalent et simulation de modèle de Thevenin pour connaître la réponse de ces modèles, et finalement nous avons défini les différentes méthodes d'estimation de l'état de charge et l'implémenter dans notre système modélisé avec Simulink.

Chapitre IV
L'estimation de
l'état de charge
Avec l'intelligence
artificielle

Introduction

Ce chapitre met l'accent sur les notions d'intelligence artificielle ainsi mettre la lumière sur les différents types d'apprentissage automatique existant et la différence avec l'apprentissage profond. Aussi les réseaux de neurone et les outils utilisés. L'application du le réseau de neurones sur notre base de données Pour l'estimation de l'état de charge de la batterie et ensuite évaluer la performance du modèle puis effectuer l'intégrer dans une interface graphique pour comparer la précision de chaque méthode d'estimation.

I. L'intelligence Artificielle

1. Définition

L'intelligence artificielle (IA, ou AI en anglais pour Artificial Intelligence) consiste à mettre en œuvre un certain nombre de techniques visant à permettre aux machines d'imiter une forme d'intelligence réelle, en ayant le pouvoir d'auto-apprentissage, de prise de décision et de raisonnement. Elle a connu une grande évolution depuis son émergence passant par l'apprentissage automatique « Machine Learning » et arrivant à l'apprentissage approfondi « Deep Learning ».

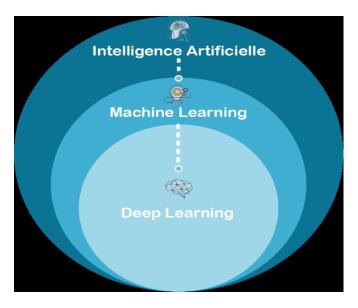


Figure 40:La relation entre AI, ML et DL

2. Apprentissage automatique « Machine Learning »

Le « Machine Learning » est une branche de l'intelligence artificielle qui permet aux machines d'apprendre par elles même de façon à pouvoir réaliser des opérations complexes par la suite. Autrement dit, c'est un processus permettant à la machine de reproduire un comportement grâce à des algorithmes, eux-mêmes alimentés par un grand nombre de données.

Un exemple simple est celui d'apprendre à la machine à reconnaitre un chien et un chat. Tout comme un enfant, il faudra lui montrer plusieurs exemples d'animaux et lui notifier lequel est un chat, lequel est un chien.

Il existe plusieurs algorithmes de ML regroupés en trois catégories :

- L'apprentissage supervisé « Supervised Learning » : l'apprentissage supervisé consiste en des variables d'entrée (x) et une variable de sortie (Y). Vous utilisez un algorithme pour apprendre la fonction de mappage de l'entrée à la sortie, Le but est d'appréhender si bien la fonction de mappage que lorsque vous avez de nouvelles données d'entrée (x), vous pouvez prévoir les variables de sortie (Y) pour ces données.
- L'apprentissage non supervisé « Unsupervised Learning » : L'apprentissage non supervisé consiste à ne disposer que des données d'entrée (X) et pas de variables de sortie correspondantes. L'objectif de l'apprentissage non supervisé est de modéliser la structure ou la distribution sous-jacente dans les données afin d'en apprendre davantage sur les données.
- L'apprentissage renforcé « Reinforcement Learning » : cette méthode consiste à laisser l'algorithme apprendre de ses propres erreurs. Afin d'apprendre à prendre les bonnes décisions.

3. Apprentissage approfondi « Deep Learning »

L'apprentissage approfondi « Deep Learning » est une dérivée de L'apprentissage automatique, utilise des réseaux de neurones pour simuler la prise de décision humaine, des algorithmes inspirés du cerveau humain, apprennent à partir de grandes quantités de données. Permet aux machines de résoudre des problèmes complexes même en utilisant un ensemble de données très diversifié, non structuré et interconnecté.

En principe, il revient à un humain d'apprendre à la machine à reconnaitre les caractéristiques d'un objet, afin qu'elle puisse effectuer une régression par exemple, c'est le cas du Machine Learning. Or, le Deep Learning nous a introduit une architecture évoluée des réseaux de neurones qui permet à la machine elle-même d'analyser l'objet pour le filtrer et identifier ses caractéristiques.

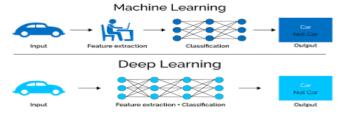


Figure 41: Machine Learning VS Deep Learning

II. Réseaux de neurones

1. Neurone biologique

C'est la cellule de base du cerveau humain, sa fonction principale se situe dans le traitement de l'information. La figure suivante représente les éléments de base d'un neurone biologique. Ce dernier est composé d'un corps cellulaire dit soma, de dendrites, et d'axones. Les dendrites représentent les pôles récepteurs par les quelles les cellules reçoivent les signaux provenant d'autres neurones, alors que les axones servent à générer l'information dans le corps cellulaire. La conception d'un neurone artificiel dit formel est schématiquement inspirée du fonctionnement du vrai neurone.

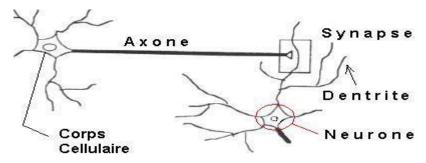


Figure 42:Le neurone biologique

2. Neurone artificiel

Le neurone artificiel (ou cellule) est un processeur élémentaire, Il reçoit les entrées et produit un résultat à la sortie, la figure suivante montre un schéma comportant la structure générale d'un neurone artificiel.

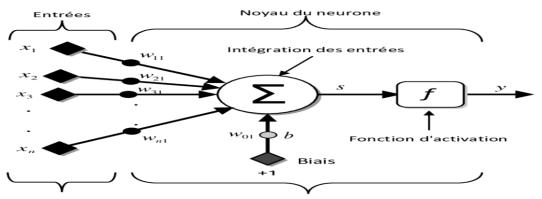


Figure 43:neurone artificiel

X1, X2, ..., Xn: sont les entrées externes. Y est la sortie. W1, W2, ..., Wn: sont les poids associés à chaque connexion. X est le vecteur d'entrée, W' est le vecteur poids, b est appelé le biais.

La fonction f est appelée fonction d'activation, Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction d'activation. Les plus courantes sont présentées sur le tableau suivant, avec leurs équations mathématiques. On remarquera qu'à la différence des neurones biologiques dont l'état est binaire, la plupart des fonctions d'activation sont contenue et offrant une infinité de valeurs comprises dans l'intervalle [0, +1] ou [-1, +1].

Les réseaux de neurones artificiels sont des combinaisons de fonctions élémentaires appelées neurones formels, ou simplement neurones associés en couches et fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.

Catégorie	Type	Equation	Allure
	Binaire (fonction de Heaviside)	$f(x) \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \\ 1 & \text{si } x \ge 0 \end{cases}$	-1 X
Seuil	Signe	$f(x) \begin{cases} 1 \sin x < 0 \\ -1 \sin x \ge 0 \end{cases}$	#1 +1 ×
	Identité	f(x) = x	, sex
	Linéaire positif	$f(x) \begin{cases} 1 & \text{si } x < 0 \\ x & \text{si } x \ge 0 \end{cases}$	y(x)
Linéaire	Saturé	$f(x) \begin{cases} 0 \text{ si } x < 0 \\ 1 \text{ si } x \ge 1 \\ x \text{ si non} \end{cases}$	+1 X
Non linéaire	Logistique (Sigmoïde)	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	+1 x
	Tan-sigmoïde (Tanh)	$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1$	0 x

Tableau 5:Les fonctions d'activation

Les réseaux de neurones artificiels sont des combinaisons de fonctions élémentaires appelées neurones formels, ou simplement neurones associés en couches et fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.

3. Architecture des réseaux de neurones

Selon le type de connexion entre les neurones, Les réseaux de neurones peuvent être classés en deux grandes catégories :

- Les réseaux de neurones statiques (**feed forward**)
- Les réseaux de neurones récurrents (**feed back**)

3.1 Les réseaux de neurones statiques

Ils peuvent être organisés en plusieurs couches. Une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées, et une couche de sortie. L'information circule des entrées vers les sorties sans retour en arrière. Ce type de réseaux est utilisé pour effectuer des taches d'approximation de fonction non linéaire.

Le perceptron multicouche PMC c'est le réseau de neurone statique le plus utilisé. Les neurones sont arrangés par couche. Les neurones de la première couche reçoivent le vecteur d'entrée, ils calculent leurs sorties qui sont transmises aux neurones de la seconde couche qui calculent eux même leurs sorties et ainsi de suite de couche en couche jusqu'à celle de sortie. Chaque neurone dans la couche cachée est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante, et il n'y a pas de connexions entre les cellules d'une même couche.

La figure suivante représente une structure d'un réseau de neurones statique avec deux couches cachées.

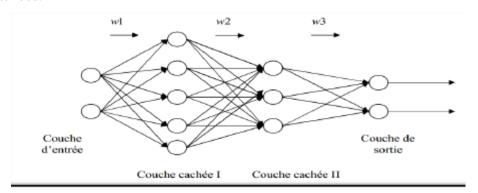


Figure 44:Structure d'un réseau de neurones statique avec deux couches cachées.

III. L'estimation de l'état de charge avec un réseau de neurone

1. Les outils utilisés



Matlab est un environnement de programmation orienté calcul numérique. Articulé autour du langage de script du même nom, il est doté d'un éditeur permettant d'exécuter des séquences de commandes encapsulées dans des fonctions.

Simulink est un outil de Matlab permettant de modéliser, simuler et analyser un système dynamique. Le logiciel permet d'étudier le comportement d'un grand nombre de systèmes dynamiques incluant les systèmes électriques, mécaniques et thermodynamiques.



Neural Network Toolbox ou NNtool est un outil intégré dans Matlab permet de créer les réseaux de neurone, l'entrainer et avoir les résultats selon la problématique. Il est possible aussi de personnaliser le nombre des couches (Layers), couche caché (Hidden Layers) ainsi les fonctions d'activation en fin d'utiliser le réseau de neurone dans Simulink

2. Le prétraitement de la base de données

Pour entrainement du réseau de neurone on a utilisé une base de données « open source » labélisé compose de trois colonnes sont la tension (V), le courant (I) et la température (T) de la batterie comme entrées et une colonne contient l'état de charge de la batterie (SOC) comme valeur ciblée, la batterie utilisée pour la collection des données est la batterie lithium-ion LG 18650HG2.

2.1 Nettoyage de données

Le nettoyage des données est un processus qui vise à identifier et corriger les données altérées, inexactes ou non pertinentes. Cette étape fondamentale du traitement des données améliore la cohérence, fiabilité et valeur des données.

Les causes les plus courantes d'inexactitude dans les données sont les valeurs manquantes, les entrées qui n'apparaissent pas dans l'emplacement adéquat et les fautes de frappe. Dans certains cas, le nettoyage des données exige que certaines valeurs soient renseignées ou corrigées ; dans d'autres cas, les valeurs devront être tout simplement supprimées.

Dans notre cas la base de données était en format .txt c'est-à-dire une base de données brute car on a aucune idée sur le dimensionnement ou s'il y a des valeurs manquantes ou pas.

```
4.17223,-0.01143,-10.1702428,1.0
4.16901,-0.05145,-10.1702428,1.0
4.16708, -0.06206, -10.1702428, 1.0
4.16515, -0.06533, -10.1702428, 0.9999965517241379
4.16322,-0.06615,-10.1702428,0.9999965517241379
4.16193,-0.06615,-10.1702428,0.9999965517241379
4.16129, -0.06696, -10.1702428, 0.9999965517241379
4.16, -0.06615, -10.1702428, 0.9999965517241379
4.15872,-0.06615,-10.1702428,0.9999965517241379
4.15807,-0.06696,-10.15813599999999,0.9999931034482759
4.15679, -0.06615, -10.15813599999999, 0.9999931034482759
4.1555,-0.06615,-10.15813599999999,0.9999931034482759
4.15486, -0.06696, -10.15813599999999, 0.9999931034482759
4.15357, -0.06696, -10.1702428, 0.9999931034482759
4.15292,-0.06696,-10.1702428,0.9999896551724137
4.15228, -0.06696, -10.1702428, 0.9999896551724137
4.15099, -0.06778, -10.1702428, 0.9999896551724137
4.15035, -0.06696, -10.1702428, 0.9999896551724137
4.14971,-0.06696,-10.1702428,0.9999896551724137
4.14906,-0.06778,-10.1702428,0.9999896551724137
4.14842,-0.06778,-10.15813599999999,0.9999862068965518
4.14778, -0.06696, -10.15813599999999, 0.9999862068965518
```

Figure 45: La base de données brute

On a importé la base de données dans Matlab sous format .CSV (Column Separated Value) et après le nettoyage on a obtenu la base de données suivante avec les dimensions (285315x4)

	Tension	Courant	Temp_rature	soc
	Number	Number	▼Number ▼	Number -
1	4.17223	-0.01143	-10.1702428	1
2	4.16901	-0.05145	-10.1702428	1
3	4.16708	-0.06206	-10.1702428	1
4	4.16515	-0.06533	-10.1702428	0.999996552
5	4.16322	-0.06615	-10.1702428	0.999996552
6	4.16193	-0.06615	-10.1702428	0.999996552
7	4.16129	-0.06696	-10.1702428	0.999996552
8	4.16	-0.06615	-10.1702428	0.999996552
9	4.15872	-0.06615	-10.1702428	0.999996552
10	4.15807	-0.06696	-10.158136	0.999993103
11	4.15679	-0.06615	-10.158136	0.999993103
12	4.1555	-0.06615	-10.158136	0.999993103
13	4.15486	-0.06696	-10.158136	0.999993103
14	4.15357	-0.06696	-10.1702428	0.999993103
15	4.15292	-0.06696	-10.1702428	0.999989655
16	4.15228	-0.06696	-10.1702428	0.999989655
17	4.15099	-0.06778	-10.1702428	0.999989655
18	4.15035	-0.06696	-10.1702428	0.999989655
19	4.14971	-0.06696	-10.1702428	0.999989655
20	4.14906	-0.06778	-10.1702428	0.999989655
21	4.14842	-0.06778	-10.158136	0.999986207
22	4.14778	-0.06696	-10.158136	0.999986207
23	4.14713	-0.06696	-10.1702428	0.999986207

Figure 46: La base de données après le nettoyage

2.2 La séparation de données

La séparation de données est un processus important car on ne peut pas insérer directement la base des données dans le réseau de neurone on doit premièrement la séparer en deux parties : l'entrée et la valeur ciblée.

On n'a pas obligé de séparer la base de données en partie d'entrainement, partie de test et partie de validation car l'outil NNtool nous donne la possibilité de faire la séparation automatiquement et on va voir ça après.

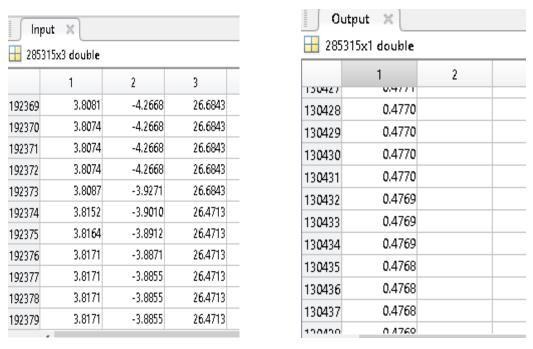


Figure 47: La séparation des données

3. La création du modèle

Après la partie de prétraitement de données nous somme prêt pour la création du modèle. La première étape est l'insertion de la base de données sous forme d'entrée et valeur ciblé.

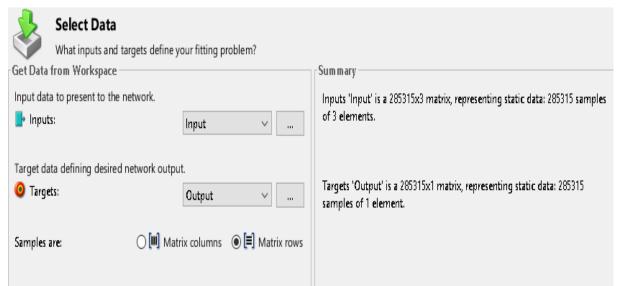


Figure 48:L'importation des données

On doit noter ici qu'il n'y a pas de règles précises concernant cette séparation (train, test, validation), malgré cela, d'une manière générale la base de test représente entre 10 et 25% de la base de données, suivant le problème étudié. Les deux bases de données ainsi obtenues par cette séparation doivent impérativement couvrir l'espace de fonctionnement.

Dans notre cas on a donné à la base d'apprentissage 70% de la base de données, la base de test elle est composée de 15% et la base de validation 15%.

La base de test est réservée uniquement à la mesure finale de la performance. Autrement dit, elle sert à vérifier si le réseau de neurones à une bonne performance sur les exemples qu'il n'a pas appris, Avec les réseaux de neurones, il existe toujours le risque de sur-apprentissage, c'est-à-dire les réseaux contiennent plusieurs paramètres pour représenter une fonction qui n'est pas complexe.

La base de validation permet de mettre en évidence le problème s'il se présente. Le sur apprentissage se traduit par une augmentation de l'erreur pendant la phase de validation.

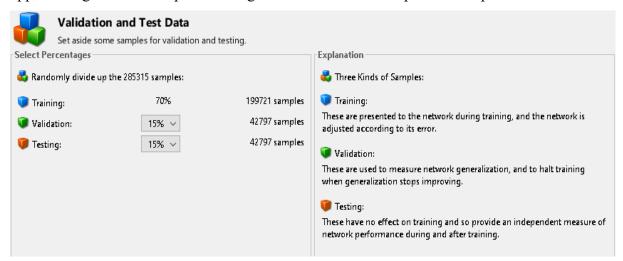


Figure 49: Séparation

Après, il faudra choisir l'architecture des réseaux de neurones avant de passer à l'étape de l'apprentissage, pour notre système on a une seule sortie et 3 entrées et par plusieurs essais nous avons trouvé que 100 c'est le nombre optimal des neurones dans la couche cachée, La fonction d'activation de la sortie est l'identité, pour la couche cachée, nous avons choisi une fonction d'activation de type tangente hyperbolique. L'architecture du réseau de neurone :

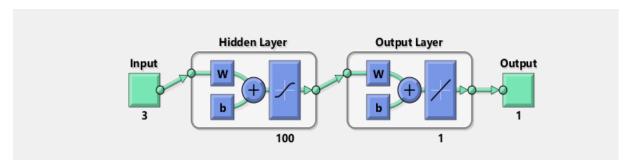


Figure 50:L'architecture du réseau de neurone

Nous avons choisi d'utiliser un réseau de neurones statique (FEED FORWARD) pour sa capacité de résoudre les problèmes non linéaires.

4. La phase d'apprentissage

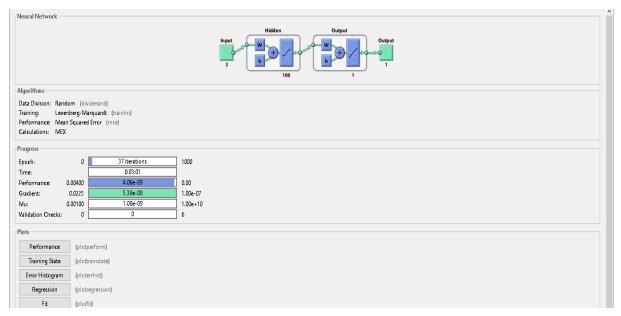


Figure 51:La phase d'entrainement

Selon la largeur et la cohérence de la base des données le temps d'entrainement change et aussi la performance de modèle.

- Epoque (Epoch): Une époque consiste à former le réseau neuronal avec toutes les données de formation pendant un cycle. Dans une époque, on utilise toutes les données exactement une fois. Une époque est constituée d'un ou plusieurs lots « Butchs », dans lesquels nous utilisons une partie de l'ensemble de données pour former le réseau neuronal. Le passage des exemples de formation dans un lot est appelé itération. Dans l'entrainement du modèle on a choisi 1000 comme nombre d'époque pour avoir des meilleurs résultats
- Itération : Une époque est parfois associée à une itération. Pour clarifier les concepts, considérons un exemple simple où nous disposons de 1000 points de données, comme le montre la figure ci-dessous :



Figure 52:La relation entre l'époque et l'itération

• L'erreur quadratique moyenne (Mean Squared Error): L'erreur quadratique moyenne est un indicateur de vérification de la fiabilité d'un modèle. Cet outil étudie les écarts entre les valeurs réellement observées et les valeurs prédites par le modèle. L'erreur quadratique est une valeur toujours positive. Plus les valeurs obtenues avec le modèle sont proches des valeurs observées, plus les écarts sont faibles et l'erreur quadratique proche de zéro.

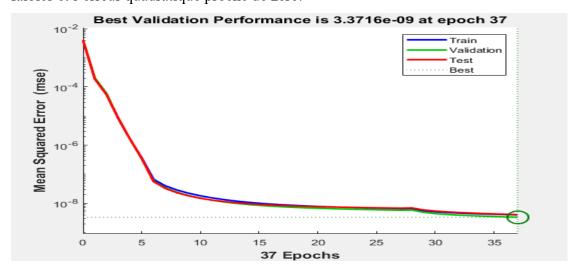


Figure 53:Le meilleur MSE obtenu

• Levenberg-Marquardt: L'algorithme de Levenberg-Marquardt (LM) est une amélioration de la méthode classique de Gauss-Newton dans la résolution des problèmes de régression non-linéaire des moindres carrés. Il s'agit de la méthode recommandée pour les problèmes (de régression) non-linéaires des moindres carrés, car il est plus efficace par rapport aux algorithmes d'optimisation plus généraux.

5. L'implémentation dans Simulink

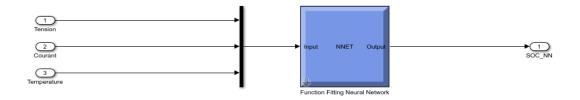


Figure 54:Réseau de neurone pour estimer l'état de charge.

L'outil Neural Network Toolbox nous permet de transformer le modèle entrainé à une composante dans l'environnement Simulink. Le modèle accepte comme entrée la tension, le courant et la température de la batterie et comme sortie il va nous donner l'état de charge prédit.

6. Les résultats

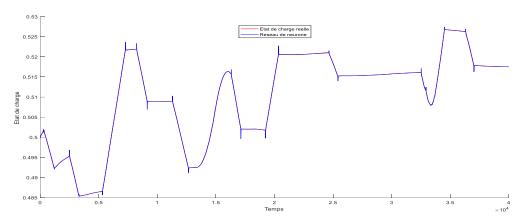


Figure 55:L'estimation de l'état de charge avec le réseau de neurone

C'est la méthode la plus efficace par rapport aux autres méthodes, généralement parfait avec une petite marge d'erreur dans quelques points.

IV. L'interface graphique

L'étape suivante dans le projet est la réalisation d'une interface graphique similaire à un tableau de bord pour visualiser le changement de l'état de charge réel et estimé avec différentes méthodes selon le profil de charge et décharge créer avec des variateurs du courant afin de valider les résultats obtenus avec le réseau de neurone et prouver que c'est la méthode la plus efficace pour estimer l'état de charge.

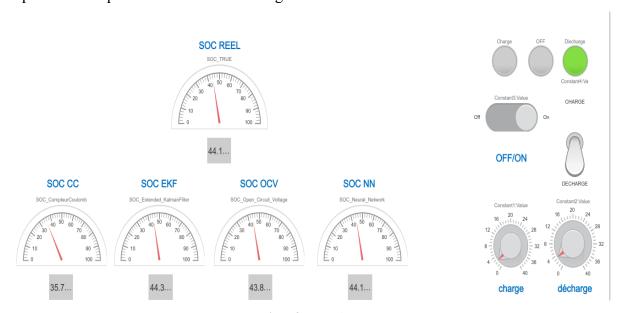


Figure 56:L'interface graphique

Les variateurs du courant sont liés avec un le système ci-dessous :

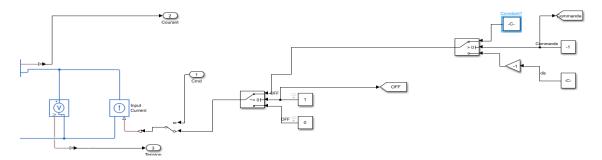


Figure 57:La commande du courant 2

L'interrupteur à objectif de changer manuellement entre la commande du courant fournit par « Signal Builder » et la commande du courant fournit par les variateurs du courant.

Aussi li y a le bouton OFF/ON dans l'interface graphique son rôle est d'activer au désactiver le système de charge décharge.

Pour gérer le fonctionnement des lampes on a créé une logique de contrôle avec Stateflow (Stateflow est un outil de logique de commande utilisé pour modéliser des systèmes réactifs via des machines à états et des organigrammes dans un modèle Simulink.)

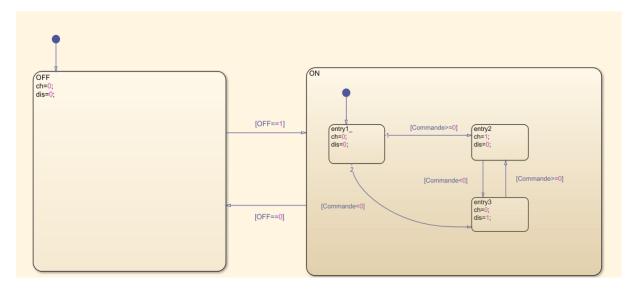


Figure 58: La logique du contrôle

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté c'est quoi l'intelligence artificielle et sa relation avec l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond.

Ensuit l'utilisation d'un modèle à base de réseau de neurone pour estimer l'état de charge et les étapes adoptées ainsi la réalisation d'une interface graphique pour valider les résultats.

Conclusion générale

La gestion d'énergie dans l'industrie automobile est indispensable pour optimiser la consommation énergétique ainsi que la durée de vie des batteries. La connaissance de l'état de charge sera essentielle surtout pour la mise en sécurité de ces accumulateurs.

Dans ce document, nous avons élaboré une étude sur les batteries lithium-ion, ses terminologies et son BMS, ce qui nous a permis de nous familiariser avec cette technologie qui représente une partie indispensable aux applications des systèmes électriques et télécommunications portables.

Ensuite nous avons entamé la modélisation et les méthodes existantes dans la littérature (Compteur de coulomb, Tension en circuit ouvert et le filtre de kalman étendu) qui permet d'estimer l'état de charge SOC de la batterie et des simulations pour le modèle de Thevenin dans les phases de charge et décharge. Dans cette partie nous avons travaillé sur Simulink et la création de composants sous *Simscape*.

Ensuite on s'est consacré à l'estimation de l'état de charge par le prédicteur neuronale. On a commencé par une étude générale sur le fonctionnement des réseaux de neurones. Nous avons conçu notre propre modèle qui permet de donner un état de charge identique à l'état de charge réel. Finalement pour la validation nous avons réalisé une interface graphique qui contient toutes les méthodes d'estimation avec un variateur du courant et des boutons pour contrôler le fonctionnement.

Références

http://philippe.boursin.perso.sfr.fr/velec/pdf/pile2006.pdf

http://www.mathworks.com/videos/physical-modeling-with-simscape-82144.html

 $\underline{https://sites.google.com/site/fesherierjojkoqdr/partie-i-les-caracteristiques-des-batteries-liion/fonctionnement}$

http://lucbor.fr/batteries_lithium_1.pdf

https://fr.mathworks.com/videos/lithium-ion-battery-parameter-estimation-

 $\underline{https://sites.google.com/site/fesherierjojkoqdr/partie-i-les-caracteristiques-des-batteries-liion/fonctionnement}$

https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau de neurones artificiels

http://www.mathworks.com/help/nnet/ref/trainlm.htm