

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE : Sciences de l'Ingéniorat
DEPARTEMENT : Électrotechnique

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Électrotechnique

OPTION : Commande Electrique

Thème

Etude de la gestion d'énergie d'une chaîne photovoltaïque

Présenté par:
Zendah Ramzi

Dirigé par:
MohammediMoufid

Jury de soutenance:

- | | | | |
|--------------------------|------------|-------|---------------------|
| - Kelaiaia Mounia Samira | Président | Grade | Université d'Annaba |
| - MohammediMoufid | Rapporteur | Grade | Université d'Annaba |
| - Bouchikha Hocine | Examineur | Grade | Université d'Annaba |
| - Bouazza Salah Eddine | Examineur | Grade | Université d'Annaba |

Promotion : Juin2018

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences de l'ingénierie, pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui ont déployé de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée de qualité.

Nous tenons à remercier sincèrement notre directeur de mémoire Monsieur, Mohammedi Moufid, ce qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il nous a voulu nous consacrer sans ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

On n'oublie pas nos parents pour leurs sacrifices, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Sommaire :

Remerciements	1
INTRODUCTION GENERALE	6
Chapitre 1 : Etat de l'art sur les batteries	7
1-1 Introduction	7
1-1-2 Mode d'utilisation d'un système solaire photovoltaïque.....	7
1-2 Description des batteries	8
1-3 Principe de fonctionnement général	9
1-3-1 Rendement faradique.....	10
1-3-2 Etat de charge (SoC) et profondeur de décharge (DoD)	11
1-3-3 Auto-décharge des batteries	11
1-4 Différents types de batteries	11
1-4-1 Batteries nickel-cadmium (NiCd)	12
1-4-2 Batterie nickel-hydrure métallique (NiMH).....	13
1-4-3 Batteries lithium-ion (Li-Ion).....	14
1-4-4 Batteries acide/plomb	16
1-4-4-1 Types de batterie plomb-acide les plus courants	17
1-4-4-2 Régime de décharge.....	17
1-4-4-3 Régime de charge	18
1-5 Comparaison technique entre les différents types de batteries cotées technique	18
1-6 Comparaison entre les différents types des batteries.....	19
1-7 Effet de mémoire	21
1-8 Conditions pour choisir une batterie pour une installation PV	21
1-8-1 Mesure de la quantité d'énergie que peut stocker une batterie solaire	21
1-8-2 Estimation du revenu photovoltaïque.....	21
1-8-3 Tension des batteries solaires	22
1-8-4 Durée de vie de la batterie utilisée dans un système PV	22
1-8-5 Autonomie nécessaire	23
1-8-6 Dimensionnement des batteries solaires	23
1-9 Types de défaillances	23
1-10 Applications des batteries.....	24
1-10-1 Electronique	24

1-10-2 Véhicules propres	25
1-10-3 Energie renouvelable.....	25
1-11 Peut-on coupler des batteries de voiture à des panneaux solaires ?.....	26
1-12 Conclusion.....	26
Chapitre 2 : Modélisation, simulation et association des batteries	27
2 Introduction	27
2-1 Modélisation d'une batterie par un circuit électrique équivalent	27
2-2 Modèles mathématique des batteries	28
2-2-1 Modèle mathématique de la batterie nickel-cadmium (NiCd) et batterie nickel-hydrure métallique (NiMH).....	28
2-2-2 Le modèle mathématique de la batterie lithium-ion (Li-Ion).....	31
2-2-3 Le modèle mathématique des batteries acide/plomb	33
2-3 Effet de la température	37
2-4 Effet de vieillissement.....	39
2-5 Associations d'une batterie avec un véhicule électrique (VE).....	41
2-6 types de batterie utilisée pour voiture électrique.....	41
2-7 Critères de choix des batteries pour une voiture électrique.....	43
2-7-1 Autonomie	43
2-7-2 Poids.....	43
2-7-3 Sécurité	44
2-7-4 Le bilan écologique de la batterie voiture électrique.....	44
2-7-5 Le bilan carbone	44
2-7-6 Le bilan environnemental.....	44
2-7-7 Perspectives d'évolution de la batterie des VE.....	44
2-8 Comparaisons entre les types des batteries utilisées dans la VE	45
2-9 Constitutions d'un moteur à courant continue	46
2-10 Régime de fonctionnement d'un moteur à courant continu	47
2-11 Simulation d'un système batterie-Mcc	48
2-12 Conclusion.....	53
Chapitre 3 : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque	54
3-1 Introduction	54
3-2 Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque.....	54

3-2-1 Circuits équivalant et principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	54
3-3 Associations des cellules PV.....	57
3-3-1 Association série des cellules PV	57
3-3-2 Association parallèle des cellules PV	58
3-3-3 Association mixte (Série +Parallèle) des cellules PV.....	59
3-3-4 Simulation d'un système photovoltaïque	59
3-4 Recherche du point maximale	61
3-4-1 Hacheurs boost.....	63
3-5 Simulation du système PV – Hacheur boost avec la commande MPPT :	65
3-4 Association système (PV- Hacheur) avec un onduleur	66
3-4-1 Définition d'un onduleur	66
3-4-2 Principe de fonctionnement d'un onduleur	66
3-5 Simulation système (PV- Hacheur) avec un onduleur	68
3-6 Conclusion.....	69
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	71

INTRODUCTION GENERALE

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir effet, les besoins énergétique des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement, un grande partie de la production mondiale d'énergie est assuré à partir de source fossile. La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production électrique est produite à partir de ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources. D'autant plus que la demande ne cesse de croître et dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole. On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables: l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque, Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leur système de conversion de l'énergie en électricité souffre souvent d'un manque d'optimisation qui en fait encore des systèmes trop chers, et présentant des déficiences importantes en rendement et en fiabilité. Pour cela, bien qu'il existe de plus en plus de travaux de recherches prouvant la viabilité de sources comme, par exemple, l'énergie photovoltaïque (PV) ou l'énergie éolienne, beaucoup de réticentes existent encore pour installer ces systèmes à grande échelle, autant en production de masse que chez des particuliers.

Chapitre 1 : Etat de l'art sur les batteries

1-1 Introduction

Le photovoltaïque convertit le rayonnement solaire en électricité. Comme ce n'est pas l'utilisateur qui décide du moment de production de l'énergie, il faut pouvoir stocker l'électricité pour l'utiliser au moment voulu. Pour cela on utilise des batteries solaires.

1-1-2 Mode d'utilisation d'un système solaire photovoltaïque

Les systèmes PV sont composés selon les exigences en trois types :

- Autonome.
- Hybride.
- raccordée au réseau.

Systeme autonome

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique. Avec un système de stockage est associée aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production, ce système de stockage représente une part très importante du coût de l'installation et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement.

Systeme hybride

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de stockage de l'énergie. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.

Systeme PV raccordée au réseau

Une installation PV peut être connectée en parallèle avec le réseau d'électricité. Les panneaux solaires sont connectés en série pour former des « strings », eux même reliés à un onduleur. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif. Chaque onduleur est choisi en fonction de la puissance des panneaux et peut accueillir un ou plusieurs strings Si la consommation locale est supérieure à la production de l'installation PV, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs.

1-2 Description des batteries

Les batteries destinées au stockage de l'électricité provenant de panneaux solaires subissent un grand nombre de cycles de charge et de décharge. Leur état de charge évolue au fil de la journée, un phénomène accentué encore plus au cours des saisons : c'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont le plus déchargées en raison d'un ensoleillement plus limité. Lorsque l'on n'est pas raccordé au réseau, vous devrez consommer l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques sur place et installer des batteries tampons qui stockeront l'énergie pour les usages de nuit sans ensoleillement. Une batterie constitue l'élément de l'installation du système photovoltaïque qui requiert la plus grande attention.

La durée de vie des batteries dépendra directement de son mode d'utilisation et d'un entretien régulier.

Les opérations habituelles qui doivent être effectuées sur une batterie classique sont les suivantes : vérification tous les 6 mois du niveau de l'électrolyte qui doit être maintenu dans les niveaux « Maximum » et « Minimum ». Le niveau correct de l'électrolyte étant en l'absence de repères visuels de 20 mm au-dessus de la protection des séparateurs.

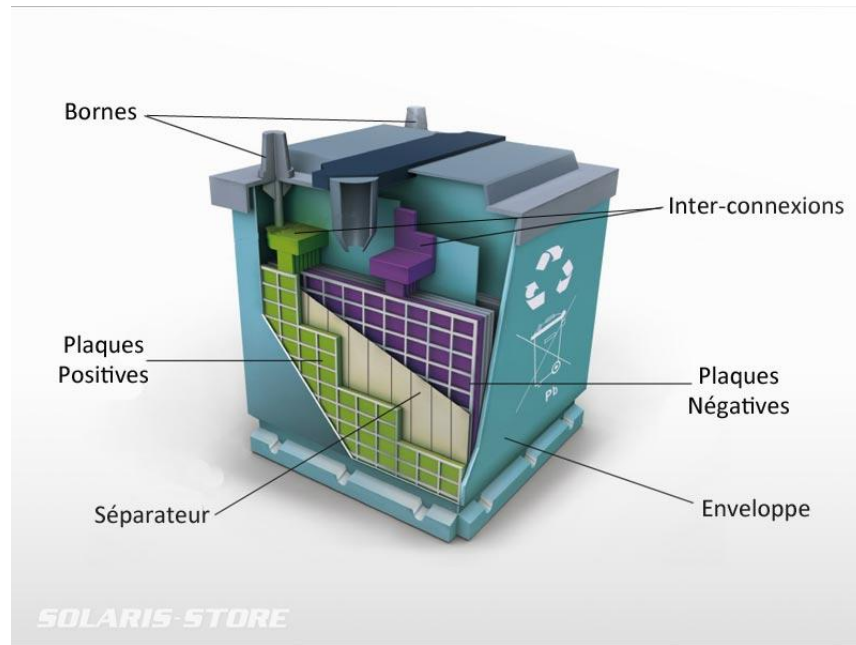
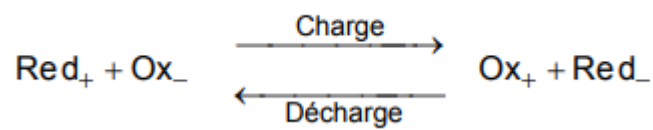


Figure 1.1 image description de l'intérieur d'une batterie.

1-3 Principe de fonctionnement général

A l'intérieur d'une batterie, une réaction d'oxydo-réduction induit un transfert d'électrons de l'anode vers la cathode.



La réaction électrochimique à l'intérieur d'une batterie

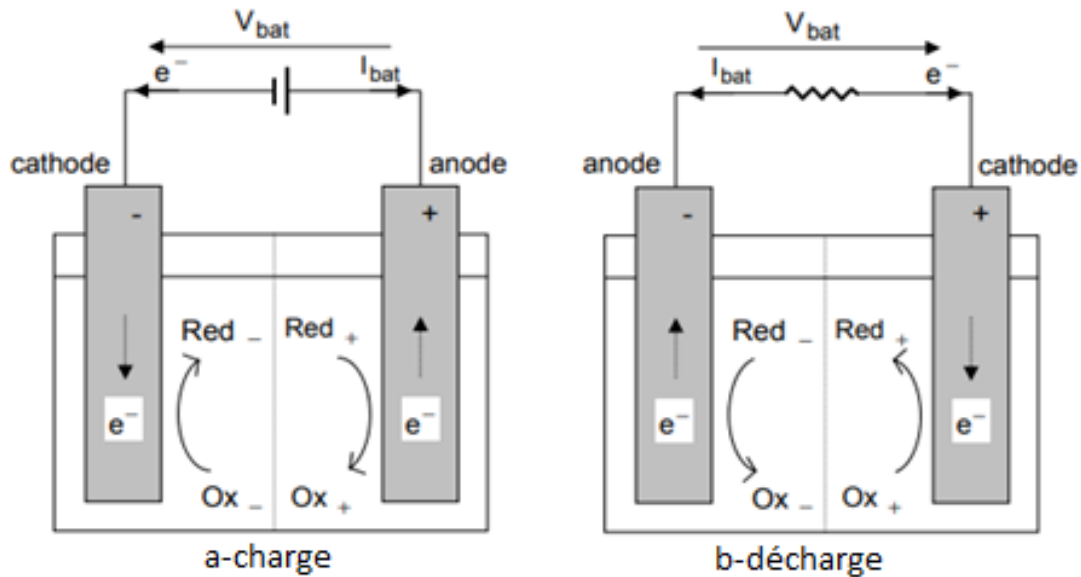


Figure 1.2 Batterie en charge (a) et en décharge (b)

Le courant est produit par la circulation d'électrons entre 2 plaques ou électrodes :

- une électrode positive capable de céder ou de capter les électrons.
- une électrode négative capable de céder ou de capter les électrons.

Le courant est créé par un mouvement d'ensemble des électrons qui se déplacent de l'électrode positive à l'électrode négative en passant par un fil de métal (conducteur), pour alimenter un récepteur.

1-3-1 Rendement faradique

Le rendement faradique représente l'efficacité de la charge d'une batterie. Il est le rapport de la capacité de la batterie sur la quantité de charge fournie à la batterie lors de la charge complète. A cause des réactions secondaires à l'intérieur de la batterie, la quantité de charge fournie à la batterie n'est pas entièrement récupérable. Ainsi, le rendement faradique peut être inférieur à 100% et varie en fonction de la technologie de la batterie. Par exemple, le rendement faradique est proche de 100% pour les batteries Li-ion et autour de 80~90% pour les batteries NiMH.

1-3-2 Etat de charge (SoC) et profondeur de décharge (DoD)

L'état de charge (ou SoC pour « State of Charge » en anglais) est le rapport de la charge disponible en Ah sur la capacité de la batterie. Par exemple, quand la batterie est pleinement chargée, l'état de charge (SoC) vaut 100% et quand la batterie est complètement déchargée, le SoC vaut 0%. La définition du SoC n'est pas unique, parce que la capacité réelle ou la capacité nominale peuvent être utilisées au dénominateur dans la formule du SoC.

$$SoC = \frac{\text{Charge disponible en Ah}}{\text{Capacité de la batterie}} \quad (1)$$

La profondeur de décharge (ou DoD pour « Depth of Discharge » en anglais) est aussi un indicateur de niveau de charge de la batterie. Son expression est donnée par :

$$DoD = 1 - SoC \quad (1.2)$$

1-3-3 Auto-décharge des batteries

L'auto-décharge se produit toujours, même si la batterie n'est connectée à rien. Le taux d'auto-décharge dépend de la température ambiante et du type de batterie. À des températures supérieures à 55°C, l'auto-décharge est encore plus rapide. Ces températures peuvent être atteintes si la batterie est stockée dans un garage ou une remise lorsqu'il fait chaud. Une des idées reçues concernant le stockage des batteries est que, si on laisse une batterie sur un sol en béton, elle se déchargera rapidement. Cela était vrai il y a plus de trente-cinq ans, lorsque les boîtiers de batterie étaient en caoutchouc dur. En raison de l'humidité du béton, ce type de batterie se déchargeait directement dans le sol en béton. Toutefois, les boîtiers des batteries modernes sont en plastique de polypropylène et peuvent être stockés sur du béton sans crainte d'auto-décharge excessive.

1-4 Différents types de batteries

Quatre principales générations d'accumulateurs se partagent actuellement le marché des batteries rechargeables. Il s'agit des technologies nickel-cadmium (NiCd), nickel-hydrure métallique (NiMH) et lithium-ion (Li-Ion). Les batteries acide/plomb.

1 4-1 Batteries nickel-cadmium (NiCd)

Une batterie nickel-cadmium ou Ni-Cd est un accumulateur électrique rechargeable utilisant de l'hydroxyde de nickel et du cadmium comme électrodes.



Figure 1.3 Batterie nickel-cadmium (NiCd)

Température de fonctionnement [°C]	0 → 50
Energie spécifique théorique [Wh/kg]	236
Densité d'énergie [Wh/kg]	45 → 65
Puissance spécifique (à 80% DOD) [W/kg]	100 → 180
Temps de charge [h]	5 → 8
Coefficient de surcharge admissible [%]	10 → 15
Rendement énergétique [%]	70 → 80
Tension par cellule chargée [V]	1,35

Tableau 1.1 Caractéristiques des batteries Ni-Cd.

1-4-2 Batterie nickel-hydrure métallique (NiMH)

Un accumulateur nickel-hydrure métallique ou NiMH (de l'anglais nickel-metal hydride) est une batterie électrique rechargeable utilisant de l'hydrure métallique (composé permettant de stocker de l'hydrogène) et de l'oxyhydroxyde de nickel comme électrode.



Figure1.4 Batterie nickel-hydrure métallique (NiMH)

Ce type de batteries (Ni-MH) est présent sur le marché depuis seulement quelques années. Elles présentent des caractéristiques très intéressantes, notamment en termes de densité de puissance et de densité d'énergie, comme le montre le tableau suivant.

Température de fonctionnement [°C]	0 → 50
Energie spécifique théorique [Wh/kg]	300
Densité d'énergie [Wh/kg]	55 → 80
Densité d'énergie volumique [Wh/dm ³]	140 → 160
Puissance spécifique (à 80% DOD) [W/kg]	160 → 200
Temps de charge [h]	6 → 12
Coefficient de surcharge admissible [%]	5 → 12
Rendement énergétique [%]	75 → 85
Tension par cellule chargée [V]	1,2

Tableau 1-2 Caractéristiques des batteries Ni-MH

1 4-3 Batteries lithium-ion (Li-Ion)

Une batterie lithium-ion, ou accumulateur lithium-ion, est un type d'accumulateur lithium. Ce dernier est un accumulateur électrochimique dont la réaction est fondée sur l'élément lithium.



Figure 1.5 batteries lithium-ion (Li-Ion)

Ces batteries font partie des nouveaux types fort prometteurs. Leurs énergies massique et volumique sont très élevées, de l'ordre de respectivement 150 Wh/kg et 300 W/kg. Le lithium est en effet le plus léger des métaux et possède un potentiel électrochimique élevé, ce qui en fait le métal le plus attractif pour constituer l'électrode négative d'une batterie.

Lithium-métal, dangereuses et explosives, lithium-ions, stables avec la densité énergétique la plus élevée du marché, lithium-Polymère, technologie sèche prometteuse.

Elles sont réservées aux systèmes photovoltaïques portables où leur grande capacité de décharge (six fois mieux que le plomb étanche) est leur grand intérêt.

Leur prix est encore prohibitif mais elles fournissent en général, environ 1 300 cycles à 100 % de décharge.

Cette technologie très jeune, est tout de même prometteuse et en développement constant. Un résumé des caractéristiques de ces batteries est fourni au tableau suivant.

Température de fonctionnement [°C]	ambiante
Energie spécifique théorique [Wh/kg]	275
Densité d'énergie [Wh/kg]	90 → 150
Puissance spécifique (à 80% DOD) [W/kg]	150 → 300
Temps de charge [h]	12 → 24
Coefficient de surcharge admissible [%]	1 → 2
Rendement énergétique [%]	85 → 95
Tension par cellule chargée [V]	3,2

Tableau 1-3 Caractéristiques des batteries lithium-ion (Li-Ion)

1-4-4 Batteries acide/plomb



Figure 1.6 batteries acide/plomb

La batterie au plomb a toujours été - et est toujours actuellement - la source d'énergie la plus répandue.

On y trouve deux sortes :

- Les batteries au plomb ouvertes avec un électrolyte d'acide sulfurique dilué d'eau distillée. Elles ont la particularité d'être des accumulateurs fiables, dont la technologie est bien connue depuis le XIXe siècle et maîtrisée. Elles ont l'inconvénient d'être influencées fortement par la température ambiante qui baisse fortement leur capacité. De plus, elles demandent un entretien régulier (remise à niveau avec de l'eau distillée), leur électrolyte s'évaporant avec le temps.
- Les batteries au plomb ouvertes avec un électrolyte d'acide sulfurique dilué d'eau distillée. Elles ont la particularité d'être des accumulateurs fiables, dont la technologie est bien connue depuis le XIXe siècle et maîtrisée. Elles ont l'inconvénient d'être influencées fortement par la température ambiante qui baisse fortement leur capacité. De plus, elles demandent un entretien régulier (remise à niveau avec de l'eau distillée), leur électrolyte s'évaporant avec le temps.

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

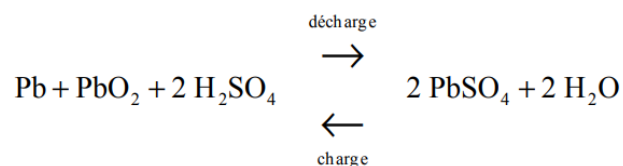


Figure 7 la réaction d'oxydoréduction des batteries acide/plomb

Température de fonctionnement [°C]	0 → 45
Energie spécifique théorique [Wh/kg]	170
Densité d'énergie [Wh/kg]	30 → 40
Puissance spécifique (à 80% DOD) [W/kg]	60 → 130
Temps de charge [h]	7 → 9
Coefficient de surcharge admissible [%]	5 → 20
Rendement énergétique [%]	65 → 85
Tension par cellule chargée [V]	2,1

Tableau 1-4 Caractéristiques des batteries au plomb.

1-4-4-1 Types de batterie plomb-acide les plus courants

- Plomb-antimoine et plomb-calcium
- Les batteries dites 'ouvertes' et les batteries dites 'étanches'
- La batterie de démarrage à plaque plane (ouverte)
- La batterie semi-traction à plaque plane (ouverte)
- La batterie 'traction' (ouverte)
- La batterie gélifiée (VRLA)
- La batterie AGM (VRLA)
- La batterie à éléments cylindriques (VRLA)

1-4-4-2 Régime de décharge

Les deux polarités se sulfatent, l'électrolyte est consommé (les ions SO_4^{2-} vont sur les électrodes). L'oxygène libéré par l'électrode positive s'unit aux ions H^+ en solution pour former de l'eau. Si la décharge est totale, l'électrolyte ne sera plus composé que d'eau distillée.

1-4-4-3 Régime de charge

Les deux polarités se désulfatent, l'électrolyte est régénéré (mise en solution d'ions SO_4^{2-}). La plaque positive est peroxydée (formation de PbO_2) et des ions sont libérés (augmentation de la concentration H^+ de l'électrolyte). flammes ou d'étincelles à proximité d'une batterie peut être très dangereuse lors de la charge. C'est la raison pour laquelle un local à accumulateurs doit toujours être efficacement aéré.

1-5 Comparaison technique entre les différents types de batteries cotées technique

	Acide/plomb	NiCd	NiMH	Li-Ion
Cycle de vie¹	> 1000	1500	500	500 à 1000
Temps de charge	8 à 16 h	2 à 4 h	2 à 4 h	2 à 4 h
Autodécharge²	5 %	20 %	20 %	10 %
Tension	2 V	1,25 V	1,25 V	3,6 V
Température d'utilisation	-35 à 60 °C	-20 à 60 °C	-20 à 60 °C	-20 à 60 °C
Densité d'énergie	30 à 50 Wh/kg	45 à 80 Wh/kg	60 à 120 Wh/kg	110 à 180 Wh/kg

Tableau 1-5 Caractéristiques des différents types de batteries, les valeurs indiquées peuvent varier en fonction des applications spécifiques.

1-6 Comparaison entre les différents types des batteries

Types batteries	Avantages	Inconvenient	coût
nickel-cadmium (NiCd)	<ul style="list-style-type: none"> • Charge simple et rapide, même après une longue période de stockage, et notamment à froid. • Grande durée de vie en nombre de cycles de charge et de décharge. • Conserve ses performances à basse température et ne vieillit pas prématurément à haute température. • Résistance interne très faible. • Stockage aisé, quel que soit son niveau de charge. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible densité énergétique. • Auto-décharge assez rapide (20 % / mois). • Sensibilité à l'effet mémoire. • Contient des substances dangereuses (6 % de Cd) ce qui implique qu'il doit être collecté en fin de vie pour recyclage. • Coût d'achat plus élevé que la technologie standard. 	Coût d'achat plus élevé que la technologie standard.
nickel-hydrure métallique (NiMH)	<ul style="list-style-type: none"> • En tant qu'accumulateurs, la capacité à fonctionner pendant plusieurs centaines de cycles de charge-décharge ; • Une densité massique supérieure à celle des nickel-cadmium ; • Simple à stocker et à transporter (l'accumulateur ne contient pas de lithium) ; • Ne contient pas de cadmium, métal lourd et toxique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Détection de fin de charge complexe • Durée de vie plus faible que le nickel-cadmium en nombre de cycles. 	Coût d'achat plus élevé que la technologie standard.
lithium-ion (Li-Ion)	<ul style="list-style-type: none"> • bonne autonomie • haute densité d'énergie pour un poids très faible 	<ul style="list-style-type: none"> • Les courants de charge et de décharge admissibles sont plus 	Plutôt bon marché

	<ul style="list-style-type: none"> • pas d'effet mémoire • ont une faible auto-décharge • Ils ne nécessitent pas de maintenance. • Ils peuvent permettre une meilleure sécurité que les batteries purement lithium, mais ils nécessitent toujours un circuit de protection. • grande variété de formes. 	<p>faibles qu'avec d'autres techniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il peut se produire un court-circuit entre les deux électrodes par croissance dendritique de lithium. 	
acide/plomb	<ul style="list-style-type: none"> • pas d'effet mémoire • bonne durée de vie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poids élevé • faible autonomie • sensible au froid difficilement transportable en raison d'acide liquide (pour les véhicules électriques, certains fabricants utilisent un mélange eau-acide gélatineux et non liquide). 	Un bon marché

Tableau 1.6 Comparaison entre les différents types des batteries

A partir du tableau on peut constater que les coûts varient considérablement, en fonction du choix de batterie, et que les batteries ouvertes sont moins chères que les batteries étanches. Les batteries étanches par contre, offrent beaucoup de facilités d'emploi :

- elles sont sans entretien.
- elles ne gazent pas ou presque pas (à condition que la batterie ne soit pas chargée avec une tension trop élevée).
- elles peuvent être installées, pour cette raison, dans des endroits difficilement accessibles.

D'autre part, les batteries étanches résistent moins bien à la surcharge, La surcharge provoque des dégagements gazeux (par la soupape de sécurité) ayant pour résultat une perte d'eau qui ne peut plus être récupérée. Les conséquences en sont une perte de la capacité et un vieillissement prématuré.

1-7 Effet de mémoire

L'effet mémoire touche les batteries nickel-hydrure de métal (Ni-MH). Le principe est que lorsque l'on recharge une batterie sans jamais la laisser se décharger totalement, on finit par perdre la capacité non utilisée : une batterie utilisée la plupart du temps à 75% finit par perdre 25% de sa capacité. Une décharge complète avec un appareil approprié peut rendre réversible ce phénomène.

1-8 Conditions pour choisir une batterie pour une installation PV

Choisir la meilleur batterie pour un système, il faut d'abord connaître et calculer les paramètres suivants :

1-8-1 Mesure de la quantité d'énergie que peut stocker une batterie solaire

La première question à se poser est celle de la capacité de stockage de l'énergie photovoltaïque nécessaire. La quantité d'électricité stockable dans une batterie s'exprime en Watt-heure (Wh) mais les fabricants indiquent souvent la capacité de leurs produits en Ampère-heure (Ah). Dans ce cas, il faut multiplier ce chiffre par la tension aux bornes des batteries (2 ; 6 ; 12 ou 24 Volts) pour obtenir l'énergie équivalente en Watt-heure. Par exemple, une batterie dont la tension est de 12V et ayant une capacité de 100Ah peut stocker jusqu'à 1200Wh.

La capacité d'une batterie est accompagnée d'une indication de type C5, C20 ou C100, correspondant respectivement à un temps de décharge de 5h, 20h et 100h. Plus le temps de décharge de la batterie est long, plus elle sera capable de fournir une grande quantité d'énergie.

1-8-2 Estimation du revenu photovoltaïque

La revente de l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques peut vous garantir un revenu régulier à un coût de revente fixe pendant 20 ans.

1-8-3 Tension des batteries solaires

Autre paramètre important, la tension de stockage de l'énergie photovoltaïque : 12V, 24V ou 48V. Plus vous utilisez d'énergie, plus vous devez utiliser une tension élevée afin de limiter les déperditions d'énergie dues au transport ou au stockage de l'énergie.

Pour obtenir la tension ou la capacité souhaitée, il est souvent nécessaire d'assembler plusieurs batteries. Le montage des batteries peut se faire en série ou en parallèle :

- Le montage en parallèle permet d'additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en V).
- Le montage en série permet d'additionner la tension des batteries (en V), tout en gardant la capacité en Ah d'une seule batterie.

1-8-4 Durée de vie de la batterie utilisée dans un système PV

Les batteries doivent pouvoir être chargées et déchargées un grand nombre de fois. C'est ici que la notion de cycle prend toute son importance car c'est l'unité permettant d'estimer la durée de vie d'une batterie solaire. Un cycle est constitué d'une phase de charge et d'une phase de décharge.

La durée de vie, ou nombre de cycles, que peut effectuer une batterie varie fortement en fonction du type de batterie et surtout de son utilisation. On peut donner les estimations suivantes par type de batterie :

- La batterie au plomb ouverte = 400 à 500 cycles
- La batterie AGM = 600 à 900 cycles
- La batterie GEL = 800 à 1300 cycles
- La batterie GEL Long Life = 600 à 2400 cycles

il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau photovoltaïque et les batteries solaires. Il est essentiel pour gérer la profondeur de décharge de la batterie et ainsi prolonger sa durée de vie. Le niveau de charge des batteries solaires ne doit pas descendre en dessous de 40%, ni dépasser les 95%.

1-8-5 Autonomie nécessaire

L'autonomie d'une installation photovoltaïque est le nombre de jours pendant lesquels vos batteries contiennent l'énergie nécessaire à votre consommation, sans avoir besoin d'être rechargées. L'autonomie moyenne d'une installation en site isolé est de 3 à 5 jours. Pour trois jours d'autonomie, il vous faudra donc une batterie capable de stocker 3000Wh si votre besoin énergétique journalier est de 1000Wh. Avec une tension de 12V, la capacité sera de 250 Ah. Pour respecter la profondeur de décharge maximale de 40%, une capacité de 420 Ah environ sera nécessaire.

1-8-6 Dimensionnement des batteries solaires

Le calcul de la capacité **C** du parc de batteries dépend de plusieurs données :

$$C(Ah) = \frac{(D.N)}{(L.U)} \quad (1.1)$$

Avec :

- **N**, le nombre de jours avec un ensoleillement insuffisant. En France, pour une utilisation annuelle, 5 jours de réserve en batteries sont nécessaires. En Afrique de l'Ouest, nous prenons 3 jours ou 4 jours en intégrant la saison des pluies.
- **D**, la demande énergétique quotidienne exprimée en Wh/jour. Il s'agit de l'énergie nécessaire pour alimenter vos appareils électriques. D s'obtient en multipliant la puissance de chacun de vos appareils par leur durée d'utilisation quotidienne en heures.
- **U**, la tension en Volt sous laquelle est installée le parc de batteries (12 V, 24 V, 48 V...)
- **L**, la profondeur de décharge maximum des batteries.

1-9 Types de défaillances

La durée de vie moyenne des batteries de tous types a considérablement augmenté lors des deux dernières décennies grâce à l'utilisation de nouvelles technologies de fabrication et à l'emploi de nouveaux matériaux

On groupe généralement les causes de défaillances en six catégories :

1- Réparable

2- Endommagée : une erreur de manipulation lors d'un transport ou un choc violent a endommagé la batterie.

- 3- Circuit ouvert : dans ce cas, une rupture du circuit électrique se produit dans la batterie, par exemple la liaison électrode/borne terminale, et le circuit est interrompu. La tension aux bornes vaut alors 0 V. la batterie est inutilisable.
- 4- Court-circuit.
- 5- Electrode/grille : cette catégorie regroupe tous les phénomènes de défaillance liée aux électrodes et aux grilles supportant les matériaux actifs.
- 6- "Abusée" La batterie a été dans ce cas exposée à des conditions extrêmes : courant de charge ou de décharge trop important ou prolongé.

1-10 Applications des batteries

1-10-1 Electronique

Les batteries sont déjà très largement utilisées dans tous les appareils électroniques grand public, comme les ordinateurs et téléphones portables, les lecteurs musicaux. De l'aérospatiale (batteries de satellites, robots et sondes spatiales – les électrodes sont dans ce cas faites de matériaux nobles, ce qui permet à la batterie de fonctionner à très basse température) ou encore de la médecine (défibrillateurs et moniteurs portables).



(a) Batterie d'un ordinateur



(b) Batterie d'un portable

Figure 1.7 Batteries utilisées dans les appareils électroniques

1-10-2 Véhicules propres

Les moyens de transport. Les bicyclettes à assistance électrique, voitures électriques.



Figure 1.8 Batterie d'une voiture

1-10-3 Energie renouvelable

Il existe de nombreux sites isolés dans le monde, alimentés par des systèmes autonomes de génération d'électricité. Ces générateurs utilisent les sources renouvelables locales. On y trouve des panneaux photovoltaïques, des éoliennes et des micro-turbines. L'électricité provenant des sources renouvelables est intermittente, et dépendante des conditions climatiques. Ces générateurs renouvelables sont couplés généralement à un système de stockage assurant une disponibilité en continue d'énergie.

SOLAR PANEL SYSTEM FOR HOME

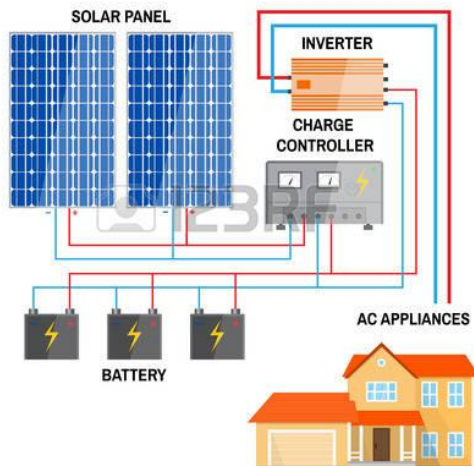


Figure 1.9 panneau PV

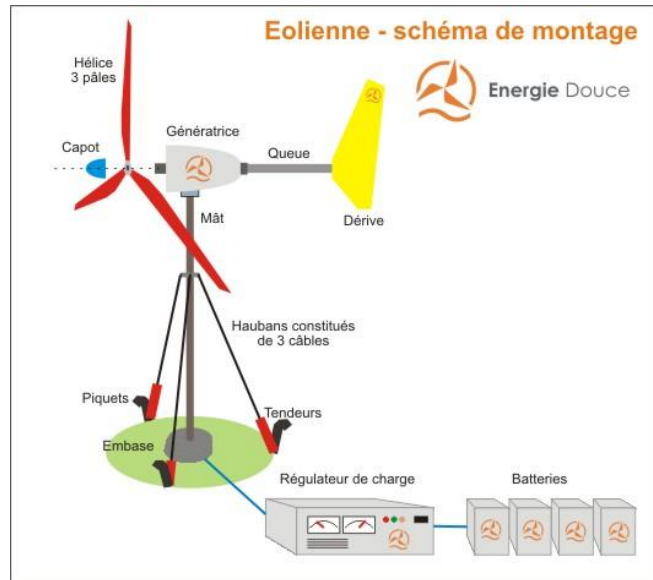


Figure 1.9 Eolienne

1-11 Peut-on coupler des batteries de voiture à des panneaux solaires ?

On peut utiliser des batteries de voiture pour stocker l'électricité des panneaux photovoltaïques.

En effet, l'utilisation de batteries de voiture comme solution de stockage est très fréquente en sites isolés. Mais une batterie de ce type n'est pas adaptée au cyclage. En effet, les batteries automobiles fournissent un courant de démarrage élevé pendant une courte durée.

Avec le fonctionnement cyclique solaire, les batteries de démarrage d'une automobile serait inutilisable après seulement quelques jours.

De ce fait, il vaut mieux investir directement dans des batteries qui vous coûteront moins cher dans le temps.

1-12 Conclusion

De nombreuses sociétés s'intéressent aux techniques de stockage de l'énergie et essaient de proposer des technologies destinées à abaisser le prix du stockage ce celle produit par les panneaux solaire.

Pour le photovoltaïque, la batterie au plomb restera un composant incontournable pour encore des décennies.

Chapitre 2 : Modélisation, simulation et association des batteries

2 Introduction

La modélisation consiste à traduire les phénomènes qui se produisent dans des systèmes physiques par une représentation souvent mathématique. La modélisation des sources électrochimiques est intéressante pour plusieurs raisons. En effet, un modèle complet de la batterie permet de prédire son comportement dans certaines conditions de fonctionnement, d'adapter le type de batterie à l'application pour une utilisation optimale de l'énergie, de comprendre les dégradations dues à des conditions particulières de fonctionnement, d'interpréter l'influence de certains paramètres ou profils de charge ou décharge sur les performances de la batterie.

2-1 Modélisation d'une batterie par un circuit électrique équivalent

La cellule électrochimique se comporte globalement comme une impédance sous une excitation donnée. On représente alors son fonctionnement par un circuit électrique formé de sources de tension, de résistances, de capacités et éventuellement d'inductances qui laisse passer le courant avec la même amplitude et la même phase que la vraie cellule sous cette excitation.

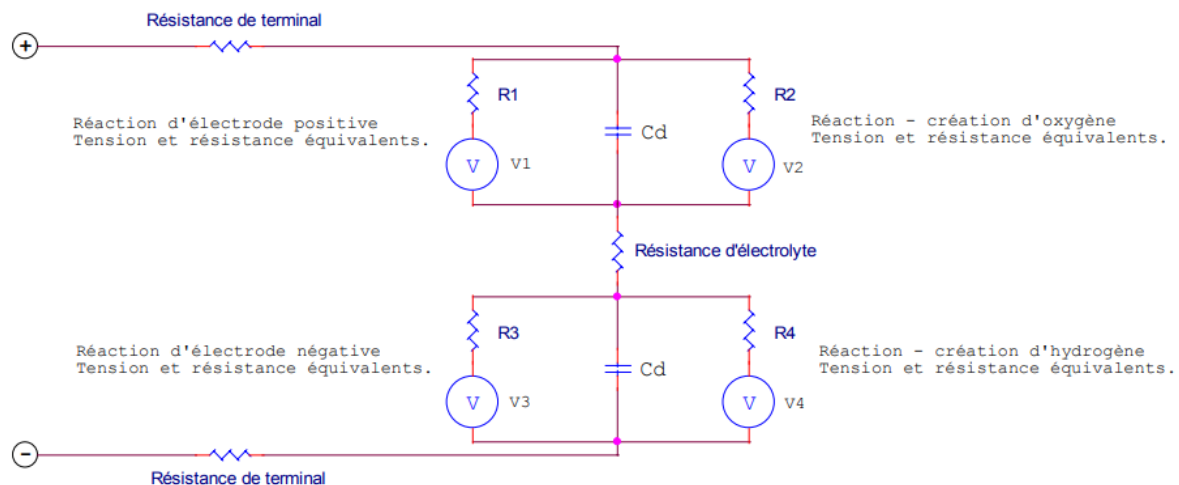


Figure 2-1 Modèle électrique d'une batterie

2-2 Modèles mathématique des batteries

On peut généraliser tous les modèles mathématiques des batteries de décharge et charge dans ces deux équations :

$$f_d(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + f(s) \quad (2.1)$$

$$f_c(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + f(s) \quad (2.2)$$

Avec :

f_d : Equation de décharge.

f_c : Equation de charge.

$f(s)$: Equation caractéristique pour chaque type de batterie.

2-2-1 Modèle mathématique de la batterie nickel-cadmium (NiCd) et batterie nickel-hydrure métallique (NiMH)

- model de décharge ($i^* > 0$) :

$$f_d(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.3)$$

- Model de charge ($i^* < 0$):

$$f_{ch}(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{|it|+0.1Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (2.4)$$

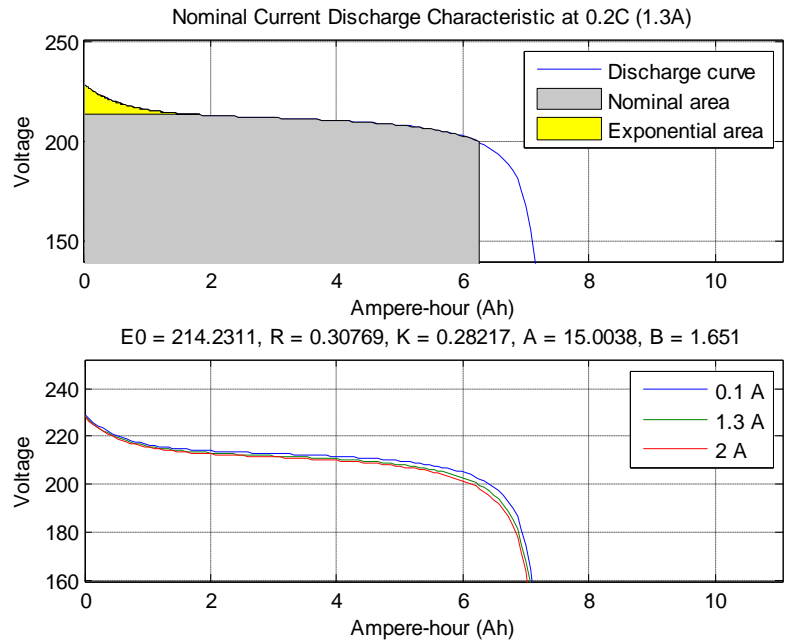


Figure 2.2 Caractéristique de décharge du courant nominal de batterie Nickel-Cadmium

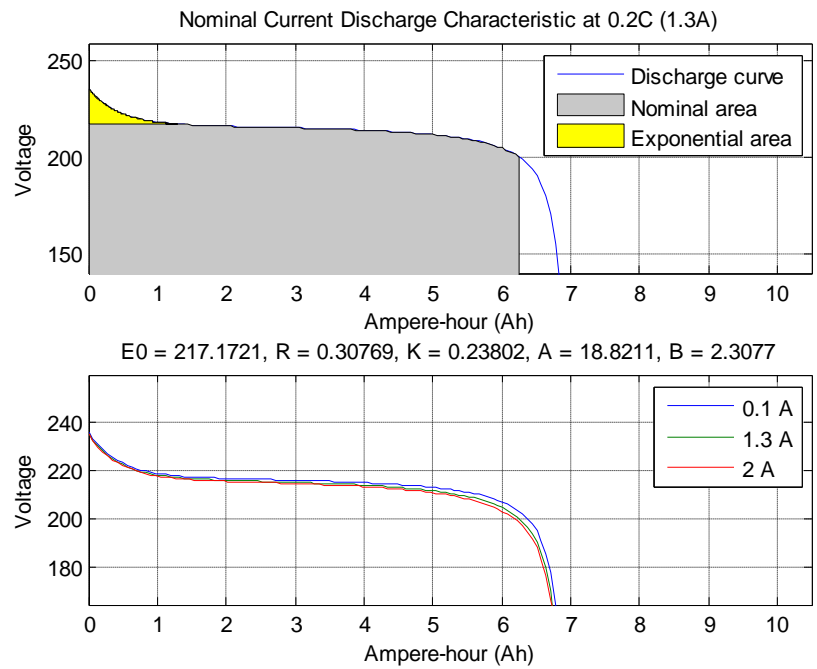


Figure 2-3 Caractéristique de décharge pour batterie Ni-MH

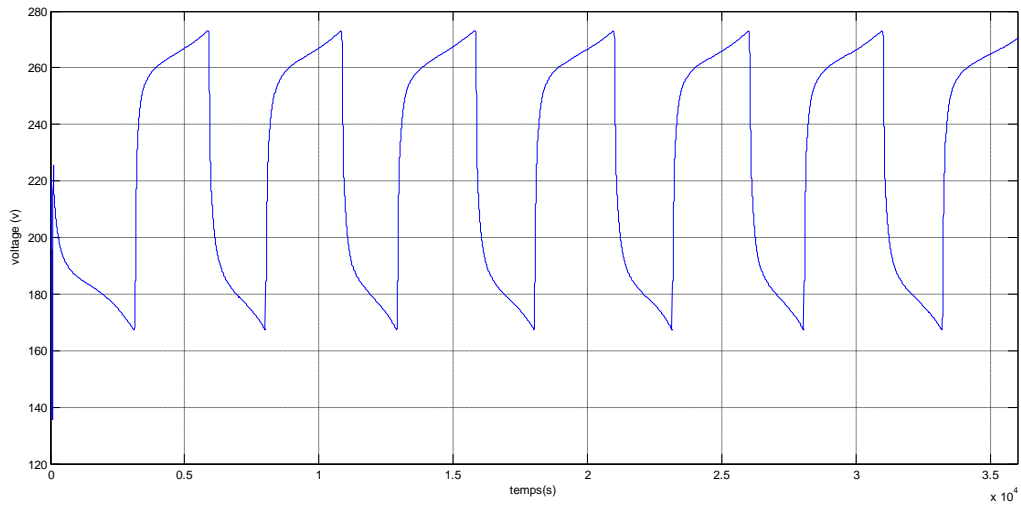


Figure 2-4 Tension en fonction du temps de batterie nickel-cadmium (NiCd) et batterie nickel-hydrure métallique (NiMH)

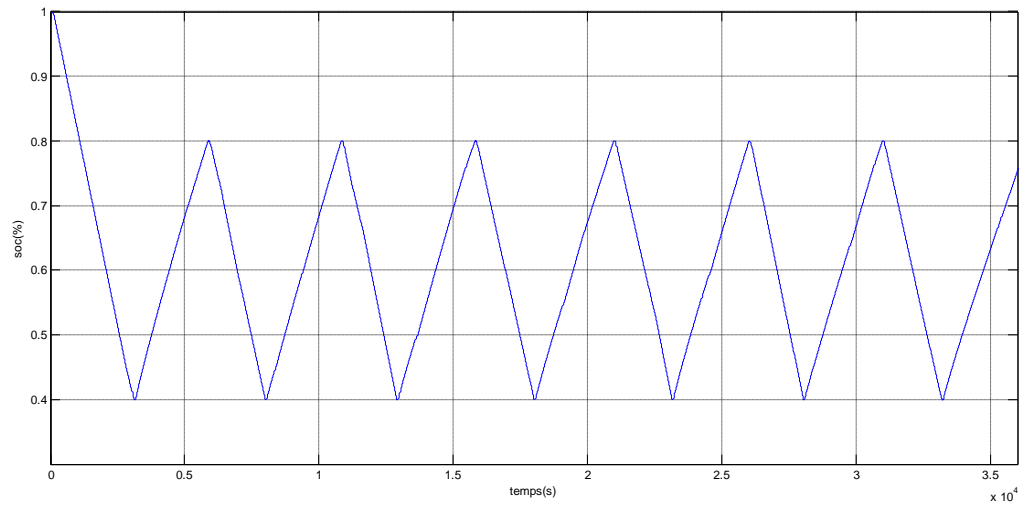


Figure 2-5 SOC en fonction du temps de batterie nickel-cadmium (NiCd) et batterie nickel-hydrure métallique (NiMH)

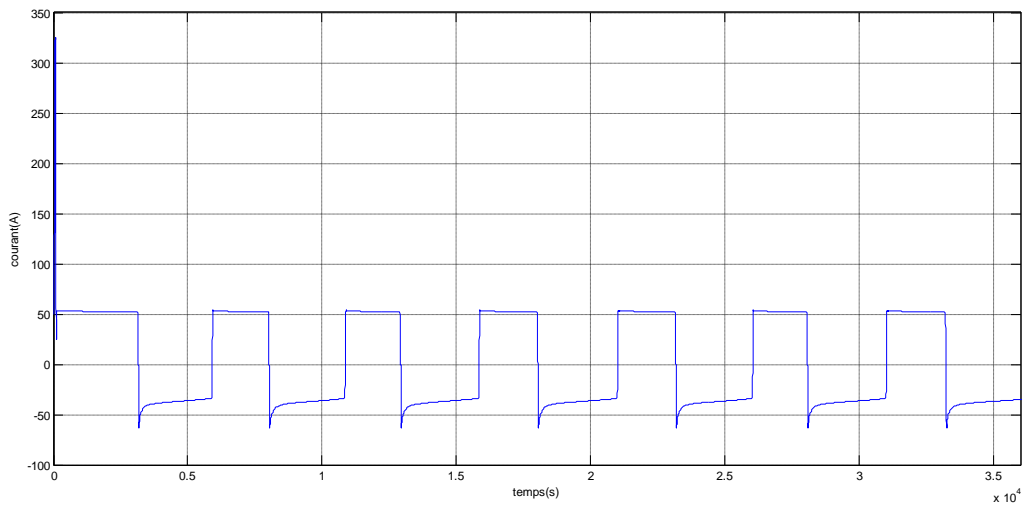


Figure 2-6 Courant en fonction du temps de Batterie nickel-cadmium (NiCd) et batterie nickel-hydrure métallique (NiMH)

2-2-2 Le modèle mathématique de la batterie lithium-ion (Li-Ion)

- Model de décharge ($i^* > 0$)

$$f_d(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (2.5)$$

- Model de charge ($i^* < 0$)

$$f_{ch}(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (2.6)$$

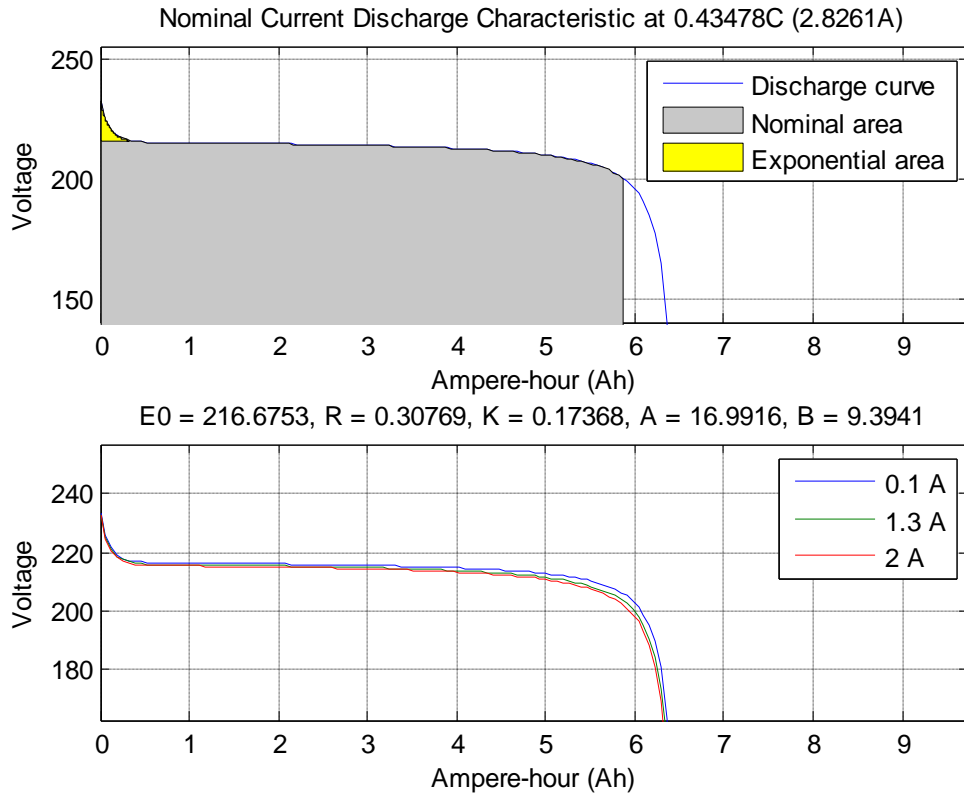


Figure 2.7 Caractéristique de décharge du courant nominal de batterie lithium-ion (Li-Ion)

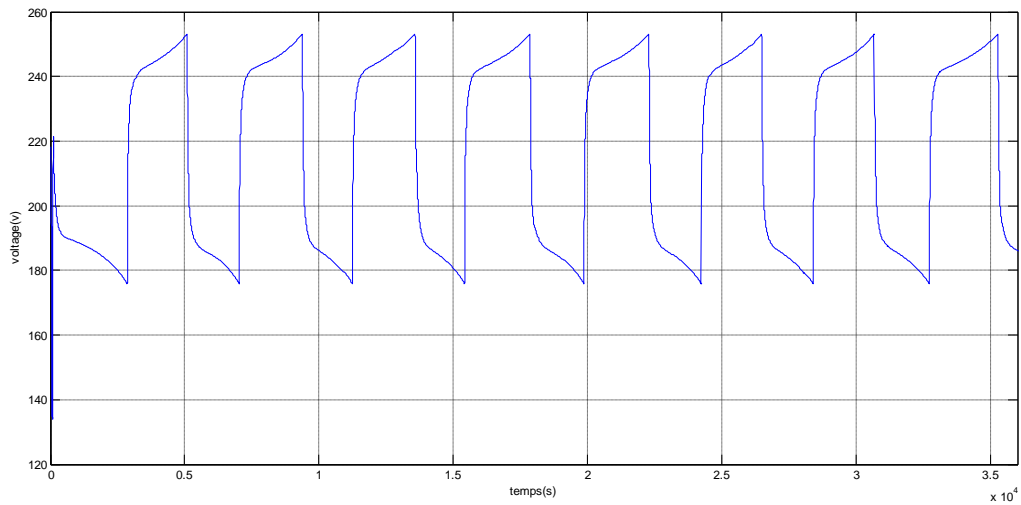


Figure 2-8 Tension en fonction du temps de la batterie lithium-ion (Li-Ion)

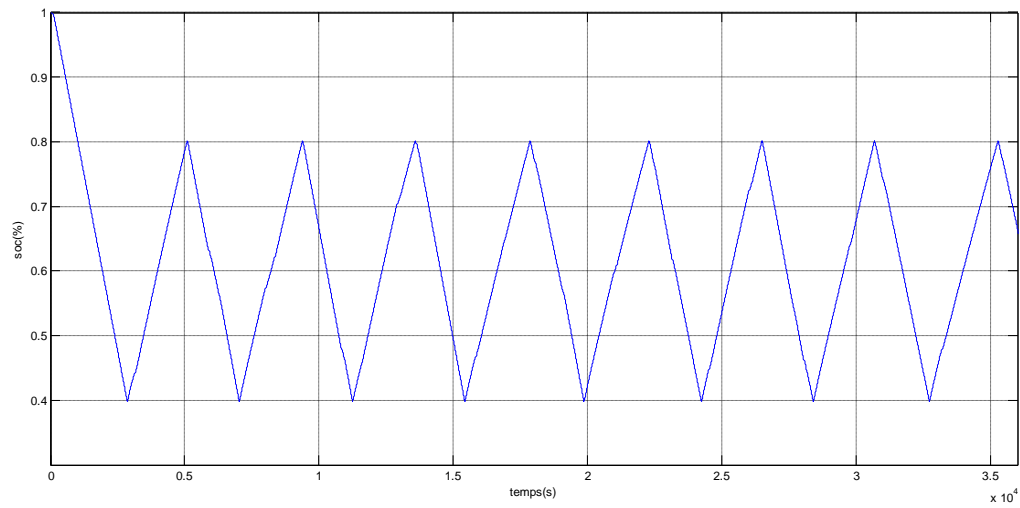


Figure 2-9 SOC en fonction du temps de la Batterie lithium-ion (Li-Ion)

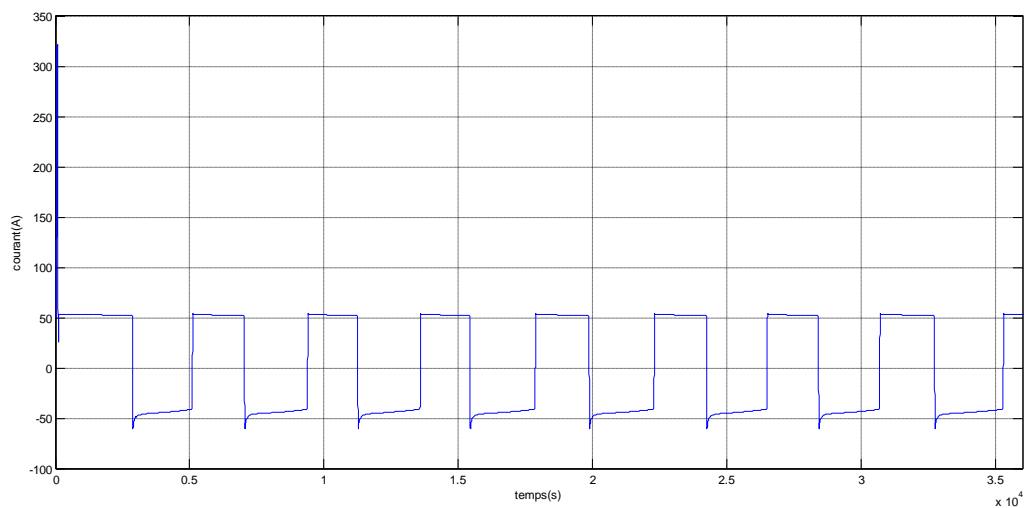


Figure 2-10 Courant en fonction du temps de la Batterie lithium-ion (Li-Ion)

2-2-3 Le modèle mathématique des batteries acide/plomb

- Model de décharge ($i^* > 0$) :

$$f_d(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} + it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.7)$$

- Model de charge ($i^* < 0$) :

$$f_{ch}(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} + it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (2.8)$$

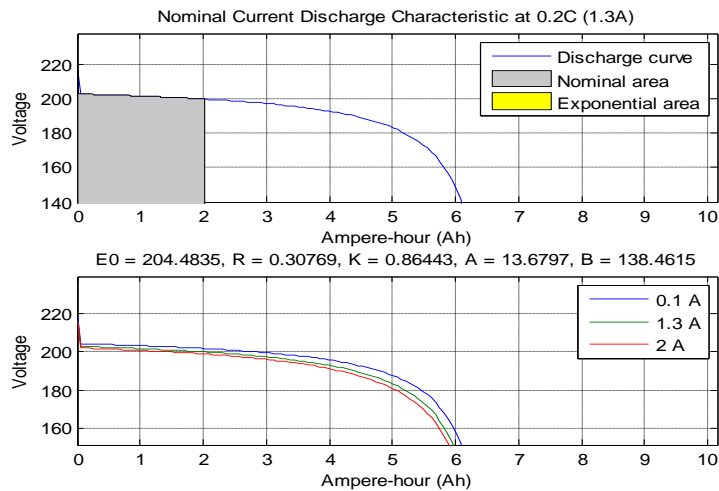


Figure 2.11 Caractéristique de décharge du courant nominal pour Batterie acide-plomb

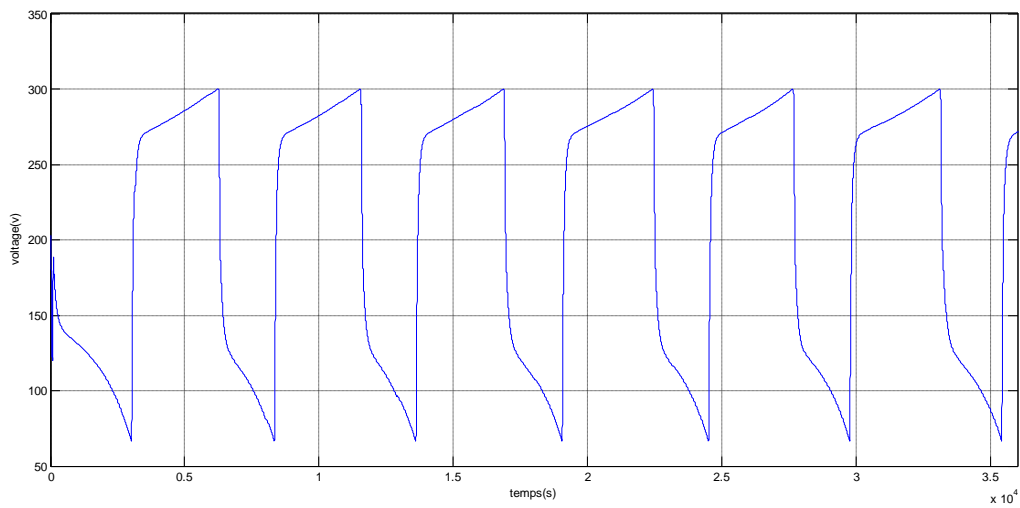


Figure 2-12 Tension en fonction du temps de la Batterie acide/plomb

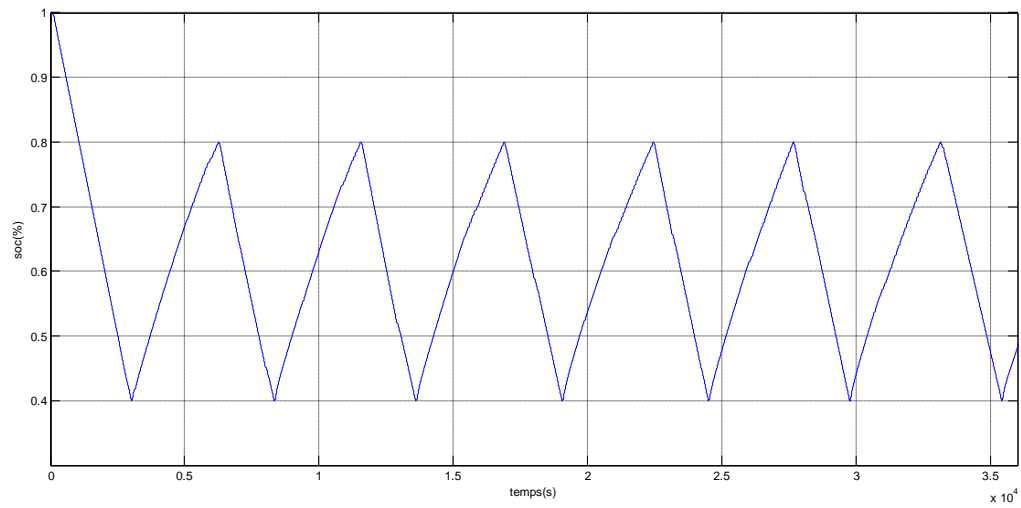


Figure 2-8 SOC en fonction du temps de la Batterie acide/plomb

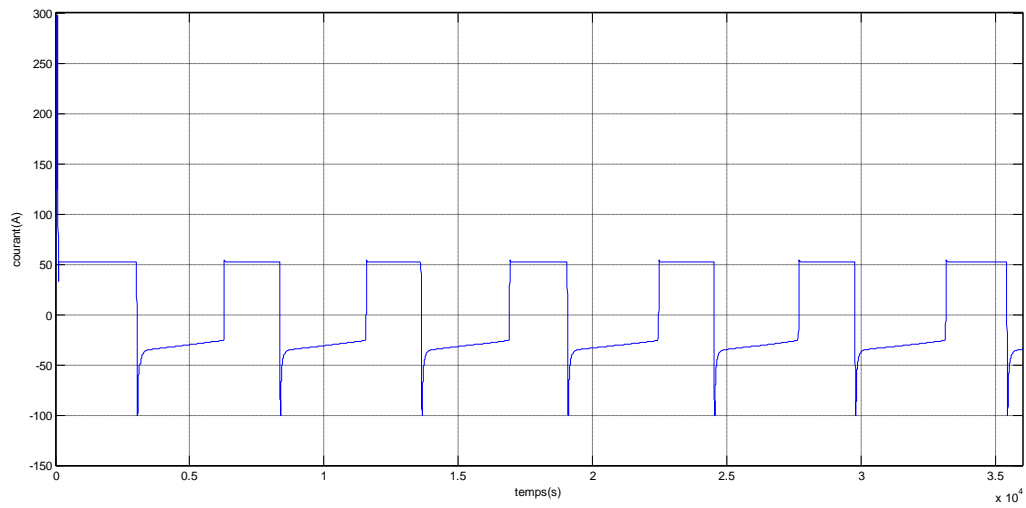


Figure 2-13 Courant en fonction du temps de la Batterie acide/plomb

Avec :

- E_{batt} Voltage non-linéaire de la batterie en V
- E_0 constant de voltage de la batterie en V
- $Exp(s)$ Zone exponentielle dynamique en V

- $Sel(s)$ Représente le mode de la batterie $Sel(s) = 0$ la batterie en mode décharge
 $Sel(s) = 1$ la batterie en mode charge
- k : Constante de polarisation en Ah^{-1}
- i^* : Courant à basse fréquence en A
- i : Courant de batterie en A
- it : Capacité extraite en Ah
- Q : Capacité maximale de la batterie en Ah
- A : Tension exponentielle en en V
- B : Capacité exponentielle en en Ah^{-1}

Les paramètres d'un circuit équivalent son modifier pour représenter les types de batteries, basé sur ses caractéristiques de décharge. La courbe de décharge est compose on trois parties montré dans la figure suivante.

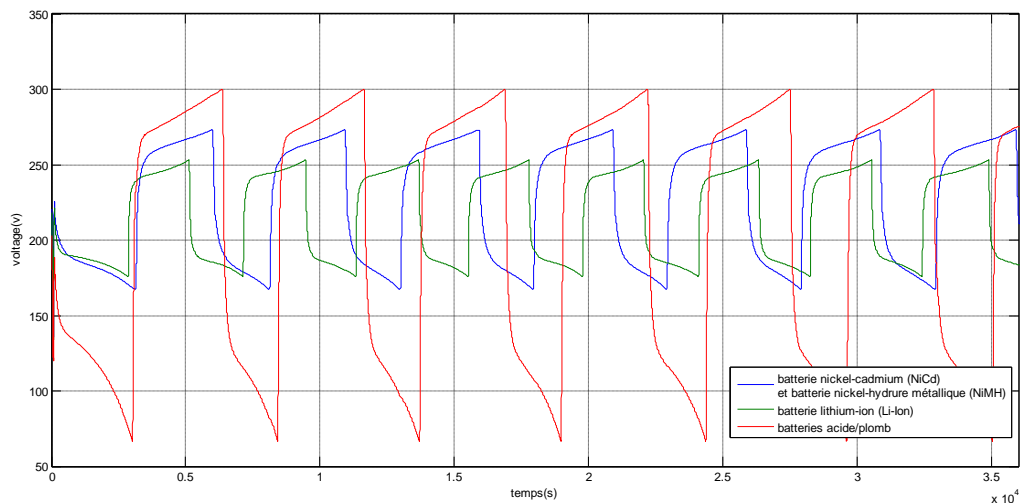


Figure 2-14 Mix des trois tensions des trois types des batteries

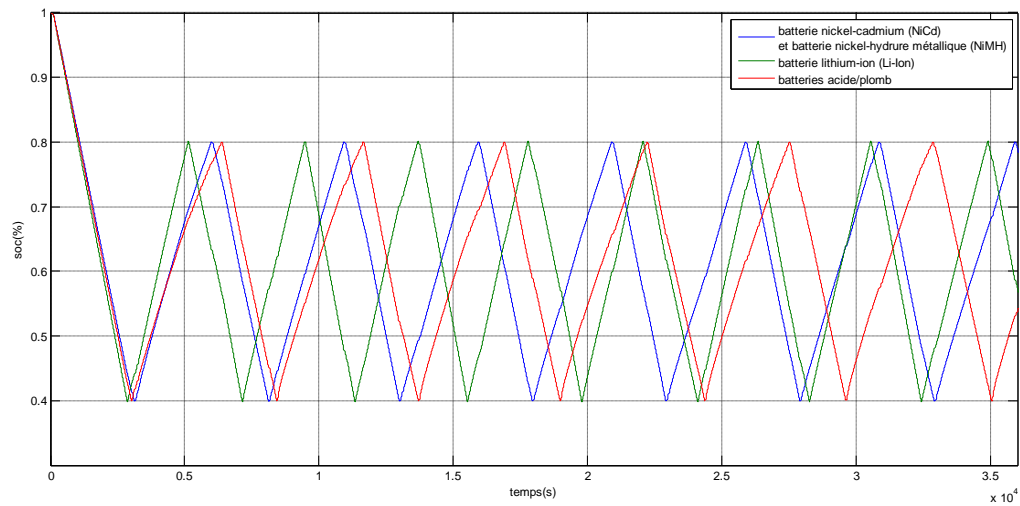


Figure 2-15 mix des trois SOC des trois types des batteries

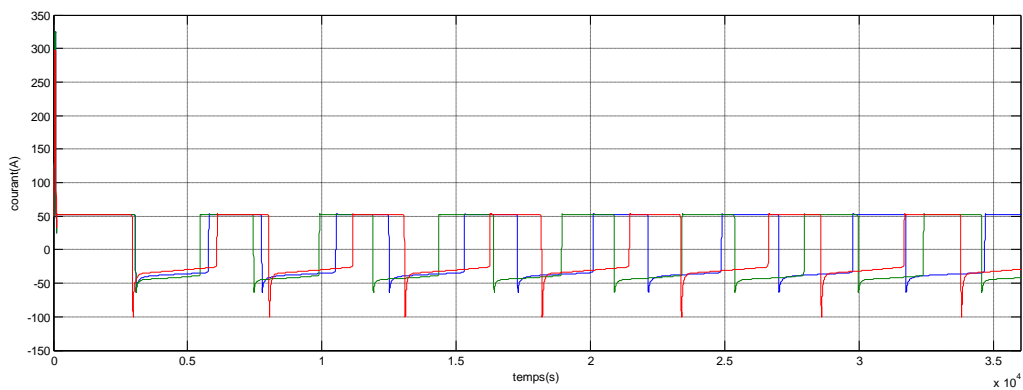


Figure 2-13 mix des trois courants des trois types des batteries

D'après les trois courbes qui sont le mix de tension, SOC et courant de chaque type de batterie on remarque que il y a une différence d'amplitude et un déphasage de temps entre chaque courbe de sa propre batterie, et ça confirme que chaque type a sa propre paramètre propriété et influence sur un circuit.

2-3 Effet de la température

Pour le type de batterie lithium-ion, l'impact de la température sur les paramètres du modèle est représenté par ces équations :

- Modèle de décharge ($i^* > 0$) :

$$f_d(it, i^*, i, T, T_a) = E_0(T) - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot (i^* + it) + A \cdot \exp(-B \cdot it) - C \cdot it \quad (2.9)$$

$$V_{batt}(T) = f_1(it, i^*, i, T, T_a) - R(T) \cdot i \quad (2.10)$$

- Modèle de charge ($i^* < 0$) :

$$f_{ch}(it, i^*, i, T, T_a) = E_0(T) - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{it + 0.1 \cdot Q(T)} \cdot i^* - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) - C \cdot it \quad (2.11)$$

$$V_{batt}(T) = f_1(it, i^*, i, T, T_a) - R(T) \cdot i \quad (2.12)$$

Avec :

- $E_0(T) = E_0|_{T_{ref}} + \frac{\partial E}{\partial T} (T - T_{ref})$ (2.13)

- $K(T) = K|_{T_{ref}} \cdot \left(\alpha \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right)$ (2.14)

- $Q(T_a) = Q|_{T_a} + \frac{\Delta Q}{\Delta T} \cdot (T_a - T_{ref})$ (2.15)

- $R(T) = R|_{T_{ref}} \cdot \exp\left(\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)\right)$ (2.16)

Et :

- T_{ref} : Température ambiante nominale en K.
- T : Température interne en K.
- T_a : Température ambiante en K.
- E/T : Coefficient de température et tension réversible.
- α : Constant de taux d'Arrhenius pour la résistance de polarisation.
- β : Constante de taux d'Arrhenius pour la résistance interne.
- $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$: Coefficient de température de capacité maximale en Ah/K.
- C : Pente de la courbe de décharge nominale en V/Ah.

La cellule ou la température interne T à tout moment t est :

$$T(t) = L^{-1} \left(\frac{P_{loss} R_{th} + T_a}{1 + s \cdot \tau_c} \right) \quad (2.17)$$

Avec :

- R_{th} : Résistance thermique en °C/W.

- tc : Constante de temps thermique cellule à température ambiante en °C/W.
- P_{loss} : Chaleur globale générée pendant le processus de charge / décharge donné par :

$$P_{loss} = (E_0(T) - V_{batt}(T)) \cdot i + \frac{\partial E}{\partial T} \cdot i \cdot T \quad (2.18)$$

2-4 Effet de vieillissement

Pour le type de batterie lithium-ion, l'impact du vieillissement sur la capacité de la batterie et la résistance interne est représenté par ces équations :

$$Q(n) = \begin{cases} Q_{BOL} - \varepsilon(n) \cdot (Q_{BOL} - Q_{EOL}) & \text{si } k/2 \neq 0 \\ Q(n-1) & \text{autrement} \end{cases} \quad (2.19)$$

$$R(n) = \begin{cases} R_{BOL} + \varepsilon(n) \cdot (R_{EOL} - R_{BOL}) & \text{si } k/2 \neq 0 \\ R(n-1) & \text{autrement} \end{cases} \quad (2.20)$$

Avec :

- $n = kT_h$ ($k = 1, 2, 3, \dots, \infty$)

Et :

- T_h Durée du demi-cycle en S, un cycle complet est obtenu lorsque la batterie est déchargée et chargée ou inversement.
- Q_{BOL} Capacité maximale de la batterie en Ah, la température ambiante nominale au début de la vie "at the beginning of life" BOL.
- Q_{EOL} est la capacité maximale de la batterie en Ah, la température ambiante nominale à la "end of life" EOL

Le facteur de vieillissement de la batterie ε est exprimé en :

$$\varepsilon(n) = \begin{cases} \varepsilon(n-1) + \frac{0.5}{N(n-1)} \left(2 - \frac{DOD(n-2) + DOD(n)}{DOD(n-1)} \right) & \text{si } k/2 \neq 0 \\ \varepsilon(n-1) & \text{autrement} \end{cases} \quad (2.21)$$

Avec

- *DOD* c'est le profondeur de décharge " depth-of-discharge " en % après une durée de demi-cycle .
- *N* est le nombre maximum de cycles et est donné par :

$$N(n) = H \left(\frac{DOD(n)}{100} \right)^{-\xi} \cdot \exp \left(-\psi \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_a(n)} \right) \right) \cdot \left(I_{dis_ave}(n) \right)^{-\gamma_1} \cdot \left(I_{ch_ave}(n) \right)^{-\gamma_2} \quad (2.22)$$

Et:

- *H* Constante du nombre de cycles .
- ξ Facteur d'exposant pour le DOD.
- ψ Constante de taux d'Arrhenius pour nombre de cycle.
- I_{dis_ave} Courant de décharge moyen en A pendant une durée de demi-cycle.
- I_{ch_ave} Courant de charge moyen en A pendant une durée de demi-cycle.
- γ_1 Facteur d'exposant pour le courant de décharge.
- γ_2 Facteur d'exposant pour le courant de charge.

2-5 Associations d'une batterie avec un véhicule électrique (VE)

Une voiture électrique se déplace grâce à un ou plusieurs moteurs électriques alimentés par une batterie. Pas d'embrayage ni de boîte de vitesses, mais une pédale d'accélérateur qu'il suffit de presser pour que la batterie délivre du courant qui sera transformé en courant alternatif via un convertisseur. Ce processus permet de générer un champ électromagnétique dans lequel une bobine de cuivre se met à tourner, comme dans n'importe quel petit moteur électrique de jouet.

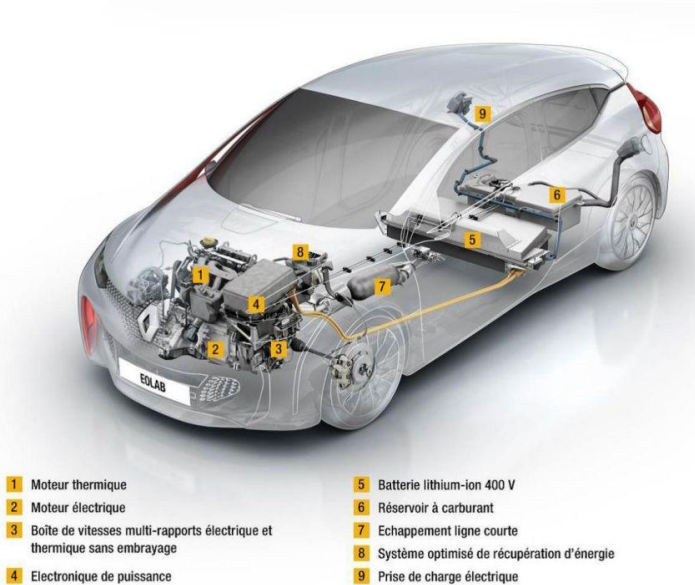


Figure 2-14 Constitution d'une voiture électrique associée aux batteries ou

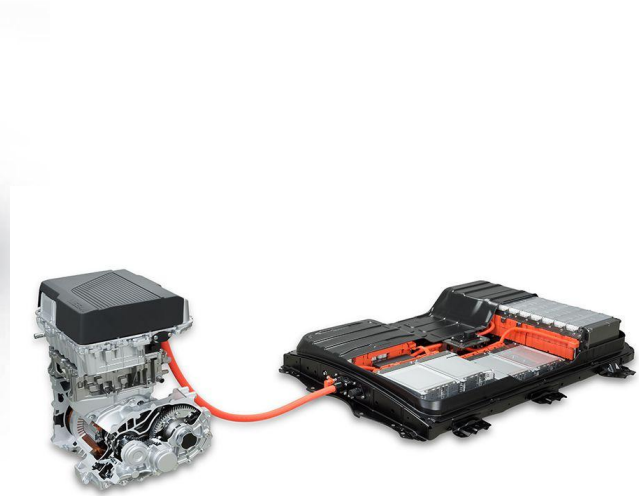


figure 2-15 Moteur électrique DC « pack »

2-6 types de batterie utilisée pour voiture électrique

Il existe différents types de batteries. Si leur fonctionnement est similaire, les matériaux utilisés réagissent différemment et ont donc des performances différentes. Voici les caractéristiques des principaux types de batteries utilisées par l'industrie automobile.

- **Batteries au plomb**

Une batterie dite au plomb (ou plomb/acide) est une batterie qui utilise une anode et une cathode en plomb. Elle présente l'avantage de délivrer un courant de forte puissance.

permettant d'alimenter des moteurs eux aussi puissants. En revanche, elles ont une densité énergétique faible et offrent donc une faible autonomie à un véhicule. De plus, leur durée de vie est plutôt limitée (autour de 600 cycles).

Principal avantage, elles sont simples à produire et le plomb est un métal commun : leur coût est donc faible. Cependant, le plomb est toxique et polluant même s'il se recycle plutôt facilement.

- **Les batteries au nickel**

Les batteries Nickel-cadmium (Ni-Cd) sont très courantes dans l'industrie en général et ont équipé un certain nombre d'anciens projets de véhicules électriques. Elles sont légèrement plus performantes que les batteries au plomb (jusqu'à 80 Wh/kg) et relativement bon marché. Cependant, elles possèdent un effet mémoire important ce qui rend leur utilisation contraignante. De plus, le cadmium est très polluant et difficile à recycler.

Les batteries Nickel métal-hydrure (Ni-Mh) stockent plus d'énergie (jusqu'à 110 Wh/kg) et ne contiennent pas d'élément très polluant. En revanche, leur durée de vie est limitée et elles se déchargent rapidement même quand elles ne sont pas utilisées (auto-décharge).

Enfin, les batteries Nickel-Zinc (Nickel Metal-Zinc) ont des performances comparables à la technologie Nickel-Cadmium. En revanche, elles sont beaucoup moins polluantes, mais plus chères.

- **Batterie au lithium**

L'appellation "batterie au lithium" regroupe de nombreuses technologies qui utilisent du lithium sous différentes formes. Ces technologies sont aujourd'hui les plus performantes mais restent aussi très chères. Elles semblent toutefois s'imposer dans l'industrie automobile.

Les batteries lithium-ion, tout d'abord, utilisent le lithium sous forme d'ions insérés dans l'électrolyte. Mais là encore il en existe différents types, basées sur des matériaux différents :

- les **batteries lithium-ion "classiques"** : elles sont **très performantes** (150 à 200 Wh/kg), **mais chères**. En effet, ces accumulateurs utilisent du cobalt ou du manganèse qui sont

rare et peuvent provoquer des réactions instables. Ils requièrent alors des systèmes de contrôle coûteux. **Elles ont une durée de vie plutôt élevée (autour de 1000 cycles) et surtout aucun effet mémoire.**

- les **batteries lithium-ion fer phosphate** sont **moins performantes** (100 Wh/kg) mais beaucoup plus sûres et **moins coûteuses**. Leur durée de vie peut atteindre les 2000 cycles.

Les batteries lithium polymère sont très proches des batteries lithium-ion, sauf qu'elles utilisent un électrolyte solide (gélifié). Cela permet de produire des accumulateurs avec des formes très diverses et qui sont plus sûres que les batteries lithium-ion classiques. Ils sont en revanche moins performants et plus chers à produire.

2-7 Critères de choix des batteries pour une voiture électrique

La batterie de voiture électrique peut comporter certains inconvénients en matière d'autonomie, de temps de recharge et de coût.

2-7-1 Autonomie

Selon les mesures prises par le cycle d'homologation NDEC (New European Driving Cycle), une batterie de voiture électrique peut tenir de 160 à 200 km. Pourtant, en utilisation réelle, la batterie d'un VE tient rarement plus de 100 km.

La recharge de la batterie est souvent longue et tributaire des types de prises utilisées :

- La prise domestique 220 V, disponible partout, mais nécessitant une recharge de 10 à 13 heures.
- La prise domestique 220 V, disponible partout, mais nécessitant une recharge de 10 à 13 heures.
- La station de recharge rapide (parkings souterrains, grandes surfaces, etc.) permet une recharge en 30 minutes.

2-7-2 Poids

Actuellement, le poids des batteries des VE est de 250 kg : pour avoir aujourd'hui l'autonomie d'un véhicule thermique, le poids des batteries devrait s'élever à 1 250 kg !

2-7-3 Sécurité

Certaines batteries lithium-ion peuvent court-circuiter avec le vieillissement et provoquer une explosion.

2-7-4 Le bilan écologique de la batterie voiture électrique

Pour établir une photographie la plus juste possible de l'impact environnemental du VE et de ses batteries, il faut connaître quelques chiffres.

2-7-5 Le bilan carbone

Le bilan carbone moyen du véhicule thermique est de 142 g/km équivalent CO². Celui du VE, quant à lui, oscille (grandement à cause de la batterie) entre 1 g/km et 150 g/km. Cela dépend si les cycles de recharge sont exclusivement assurés en production d'électricité par les centrales ou si cette énergie est fournie par des centraux charbons, gaz ou fuel.

2-7-6 Le bilan environnemental

Il est très réducteur de se limiter au bilan carbone (comme le font beaucoup de lobbies). Le bilan environnemental couvrant le cycle de vie complet du véhicule (production, utilisation et recyclage) est beaucoup plus représentatif.

Une analyse du cycle de vie du VE initiée par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) est parvenue aux conclusions suivantes :

- Le fossé entre véhicule thermique et VE est faible (impact inférieur de 9 à 14 % pour 100 000 km parcourus au bénéfice du VE).
- La batterie a un impact important sur ces résultats, à cause de sa production (extraction de métaux comme le lithium), son utilisation (consommation d'énergie à la recharge) et son recyclage, difficile et consommateur d'énergie.

2-7-7 Perspectives d'évolution de la batterie des VE

Leur avenir est conditionné par une évolution de leur coût, poids et performances.

Actuellement, les évolutions concernent les matériaux utilisés. En effet, de nouvelles batteries sont développées, constituées de fer et phosphate. Elles présentent un certain nombre d'avantages :

- Elles sont beaucoup moins chères à produire en série.

- Elles sont moins sensibles à l'échauffement.
- Leur durée de vie est supérieure (2 000 à 3 000 cycles de charge/décharge).

Pour la pérennité du VE, d'autres pistes sont étudiées, notamment l'utilisation de super condensateurs en remplacement des batteries. Cela supprimerait la problématique du poids. C'est à ce prix que le VE pourra s'imposer face au véhicule thermique.

2-8 Comparaisons entre les types des batteries utilisées dans la VE

Le tableau suivant illustre les avantages et les inconvénients pour chaque types des batteries utilisé dans la véhicule électrique :

Batteries	Avantages	Inconvénients
Cadmium nickel	<ul style="list-style-type: none"> • Légère durée de vie importante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Haute toxicité du cadmium (n'est plus utilisée)
Nickel métal hydrure	<ul style="list-style-type: none"> • Légère capacité importante (stockage énergie) peu polluante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Onéreuse Elévation de température proportionnelle à la charge, donc nécessité d'un système de refroidissement.
lithium	<ul style="list-style-type: none"> • Tension nominale élevée (3 à 3,7 volts/élément) Stable en charge et décharge • Importantes densités d'énergies massiques et volumiques (160Wh/Kg et 400Wh/l). 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation délicate (nécessité d'une gestion automatisée de l'alimentation) Recyclage encore non maitrisé (<i>Réglementation UN 3490 - UN 3090 pour le transport et le conditionnement de ces batteries</i>).
Lithium-ion	<ul style="list-style-type: none"> • Forte énergie massique et volumique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inflammabilité.

Tableau 2.1 les Différences entre les types des batteries les plus utilisé pour les VE

2-9 Constitutions d'un moteur à courant continu

Appelé aussi moteur DC, le moteur à courant continu est bien connu puisque c'est lui que l'on retrouve notamment dans les jouets radiocommandés. Les premiers TGV étaient dotés de moteurs DC avant de passer aux moteurs synchrones. Le moteur à courant continu se compose d'un stator (inducteur), d'un rotor (induit), de balais (aussi appelés charbons) et d'un collecteur (figure 2. 16). Lorsque le moteur est alimenté, le champ magnétique généré permet de le faire tourner (sens déterminé par celui du courant). La vitesse de rotation est directement liée à certains paramètres tels que le nombre de tours du bobinage (composante du rotor), sa superficie, le courant passant dans la bobine et la force du courant magnétique.

L'avantage d'un moteur à courant continu est qu'il ne nécessite pas d'électronique pour être piloté. Il peut être directement branché sur une alimentation électrique, avec ou sans variateur de vitesse. Il a aussi une forte capacité à entraîner des charges élevées. Le moteur à courant continu souffre principalement d'un entretien délicat au niveau du collecteur (pièce fragile et coûteuse). Quant aux balais, ils doivent être changés régulièrement, car plus la vitesse de rotation est élevée plus les balais doivent appuyer pour maintenir le contact.

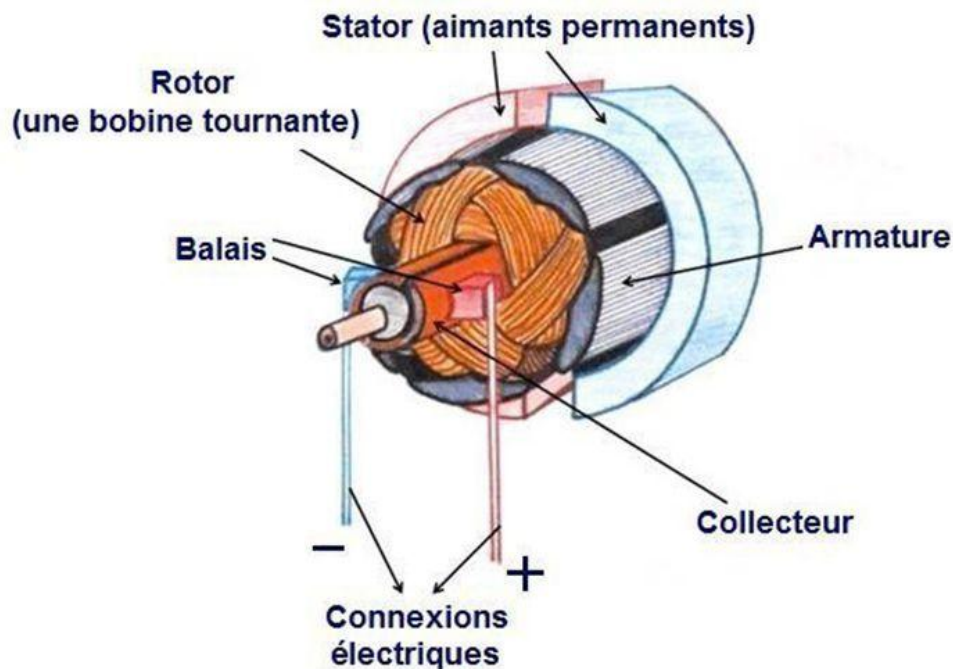


Figure 2-16 Constitution d'un moteur DC

2-10 Régime de fonctionnement d'un moteur à courant continu

Comme toutes les machines tournantes, la machine à courant continu est réversible. Elle possède deux sens de rotation possibles. Elle peut donc fonctionner dans les quatre quadrants de fonctionnement suivant son sens de rotation et son mode de transfert de l'énergie (moteur ou génératrice). On obtient ainsi dans le plan vitesse-couple :

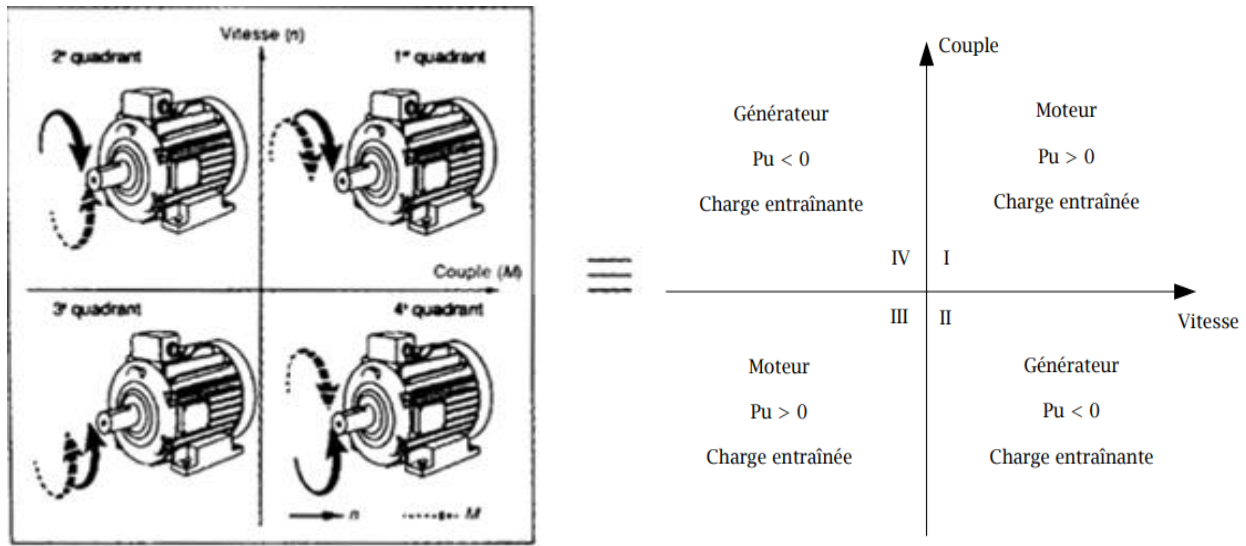


Figure 2-17 Quadrants de fonctionnement

Dans les quadrants Q1 et Q3, la puissance est positive ($U \cdot I > 0$) : C'est le fonctionnement normal en moteur : la machine fournit un "couple moteur". (Le sens de rotation du moteur change entre Q1 et Q3).

Dans les quadrants Q2 et Q4, la puissance est négative : fonctionnement en génératrice. La machine fournit un couple de freinage : la machine fournit de l'énergie au réseau ou au récepteur. Il est donc possible de récupérer l'énergie mécanique lors du freinage si le système d'alimentation est réversible.

Si on néglige R_l , on peut dire que la vitesse n est l'image de la tension U .

De même, $C_m = K_I$ permet de dire que le courant circulant dans l'induit est l'image du couple.

Le plan $n=f(C_m)$ est donc équivalent au plan $U = f(I)$.

2-11 Simulation d'un système batterie-Mcc

Le schéma bloc de simulation du système batterie- moteur et représenté par la figure2. ?

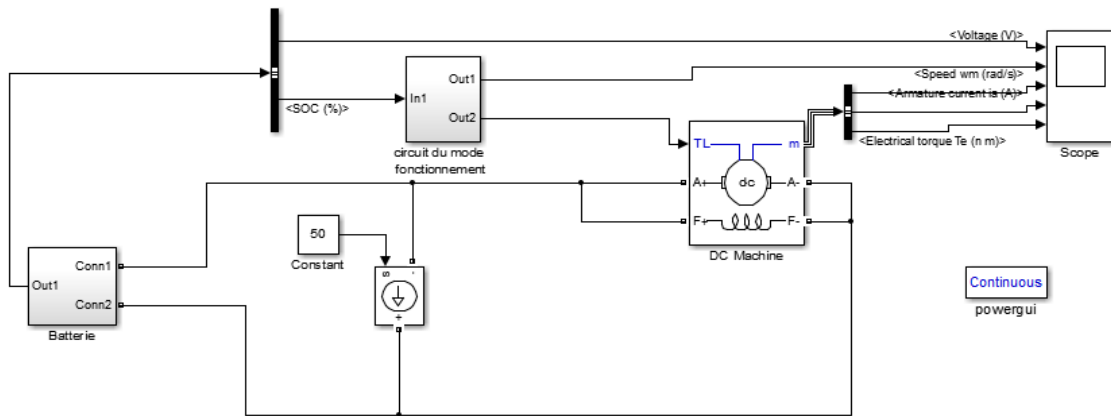


Figure 2-18 Associations batterie avec machine courant continu

Ce schéma bloc nous permet d'obtenir les résultats de simulations pour chaque type de batterie

Le résultat de simulation nous donne les courbes suivantes :

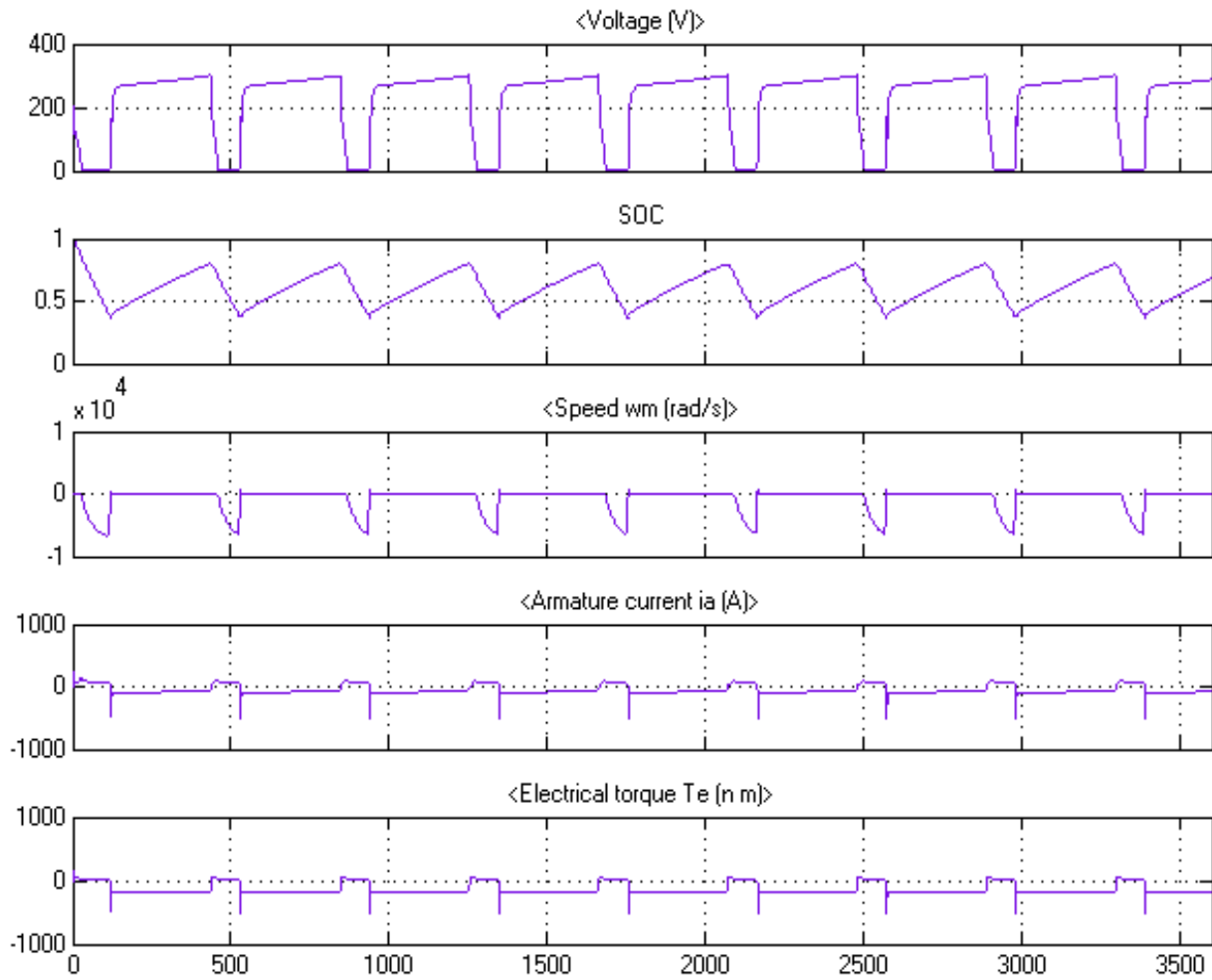


Figure 2.19 Résultats de simulation de batterie (plomb-acide) – MCC en fonction de temps

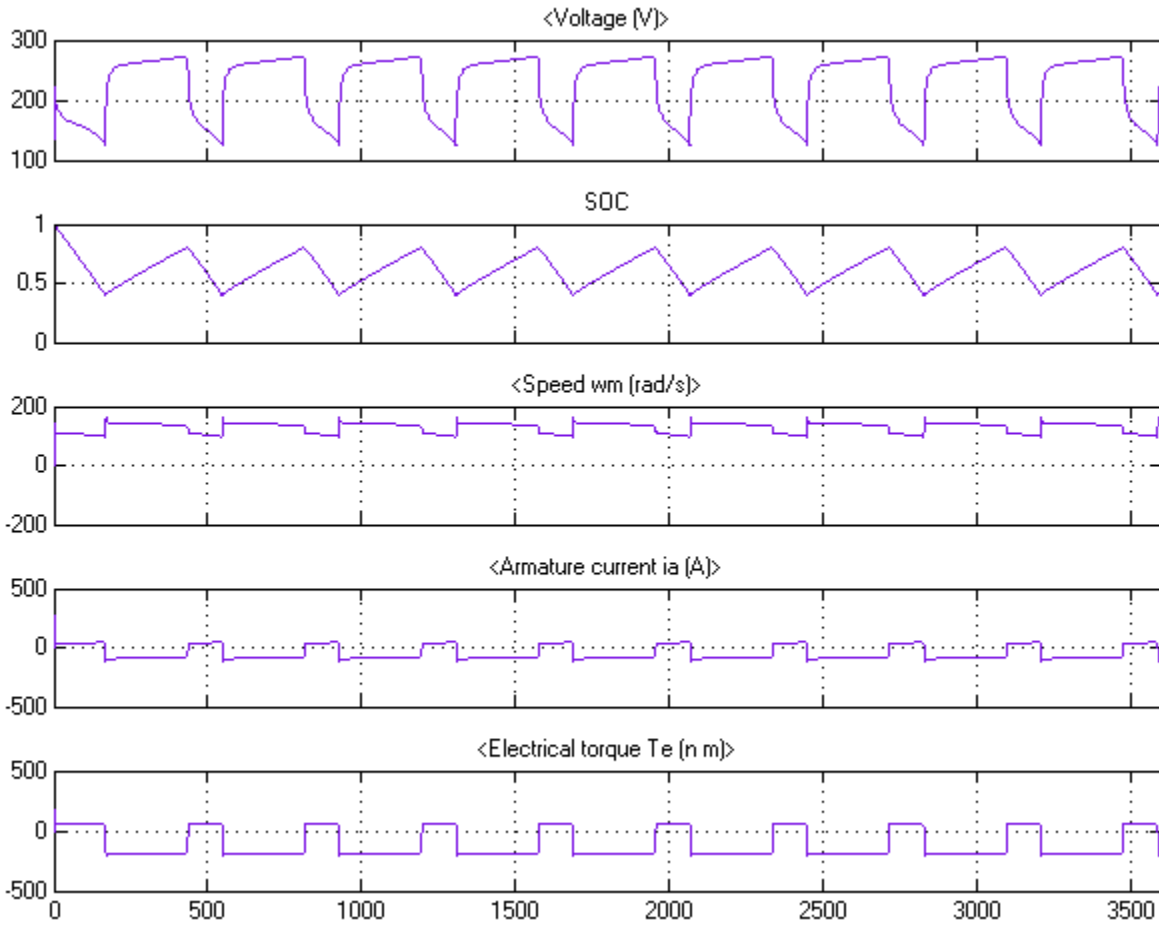


Figure 2.20 Résultats de simulation de batterie (Ni-MH) – MCC en fonction de temps .

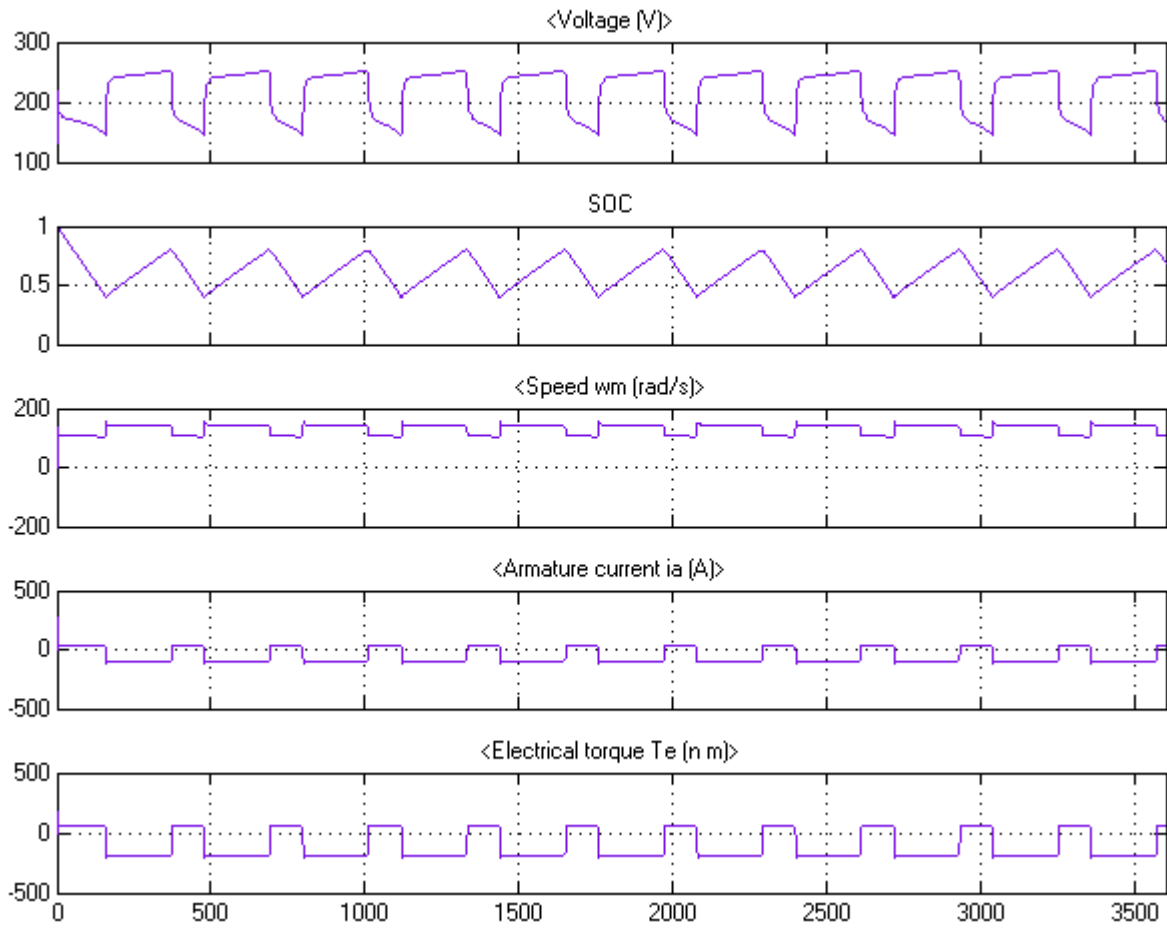


Figure 2.21 Résultats de simulation de batterie (Lithium-Ion) – MCC en fonction de temps .

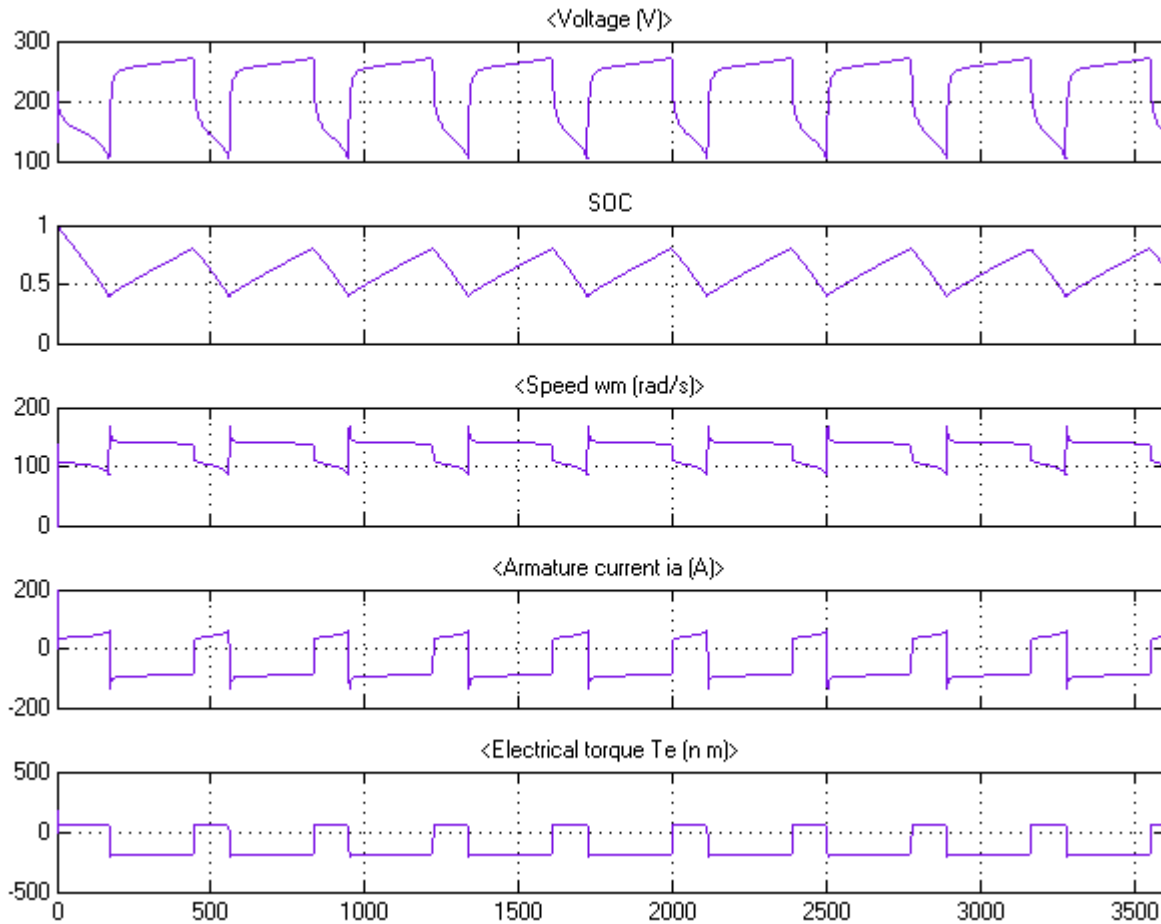


Figure 2.22 Résultats de simulation de batterie (Nickel-Cadmium) – MCC en fonction de temps .

Avec un couple de charge $C_r = 50 Nm$, on remarque que le régime charge-décharge de la batterie dépend du régime du fonctionnement du moteur à courant continu, pour les quatre types des batteries, lorsque la machine à courant continu fonctionne en régime de freinage, par récupération d'énergie (générateur), la batterie dans ce cas joue le rôle d'un récepteur d'énergie (régime de charge) jusqu'à SOC = 80% ce qui signifie le signe négatif dans du courant l'armature. Par contre quand la machine fonctionne en régime moteur, elle devienne donc un récepteur et elle consomme l'énergie de la batterie (régime de décharge) jusqu'à SOC = 40%. Ce qui signifie le signe positif dans l'armature du courant.

2-12 Conclusion

Dans ce chapitre on a vu les différents types des batteries, leur modélisation mathématique avec résultats de simulation, on a donné quelque information sur véhicule électrique et l'exploitation de la batterie dans ce domaine et on a associé ses derniers avec une machine à courant continue, et on a vu l'influence de ses batteries sur le courant, vitesse et le couple de la machine .

Chapitre 3 : Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque

3-1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale.

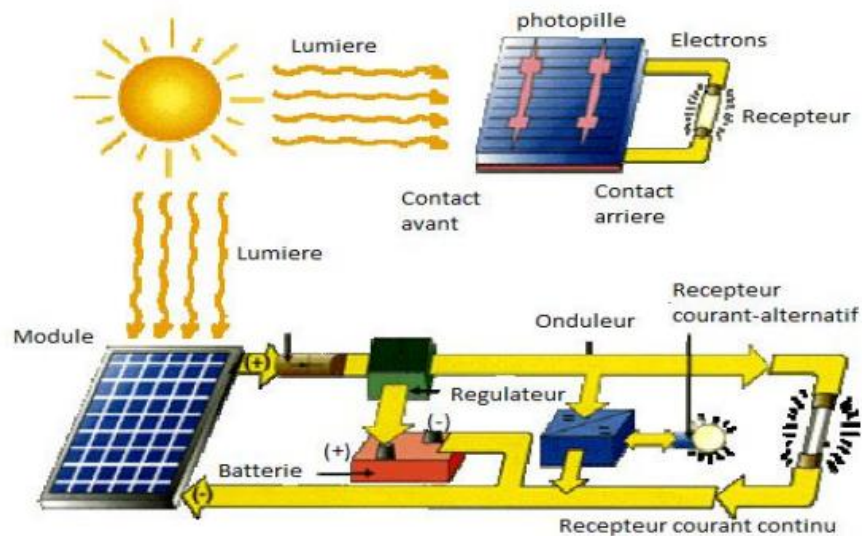


Figure 3-1 Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque

3-2 Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque

3 2-1 Circuits équivalant et principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

- Constitution et principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V.

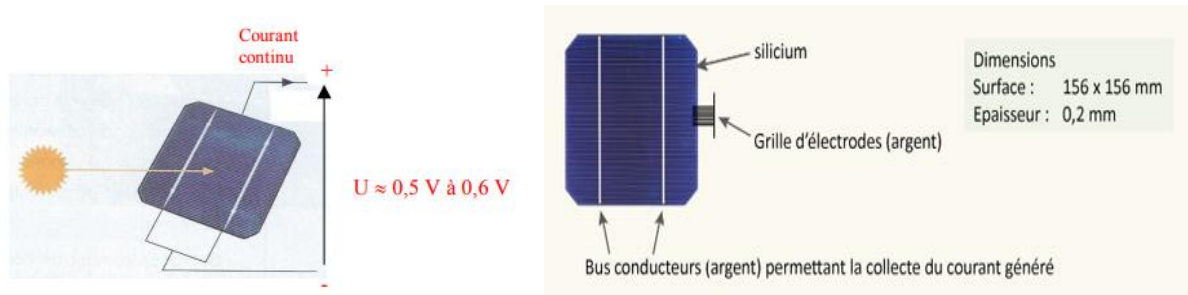


Figure 3-2 Description d'une cellule

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

- une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P).
- une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N).

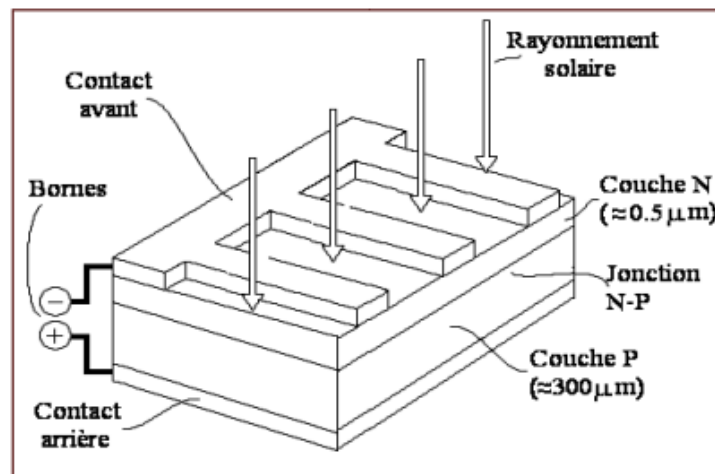


Figure 3-3 Principe de fonctionnement d'une cellule

Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors

dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque

A la surface, le contact électrique (électrode négative) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium.

Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé.

- **Circuit équivalent et modèle mathématique**

une cellule photovoltaïque comporte en réalité une résistance série R_s et une résistance shunt R_p . Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique I-V de la cellule

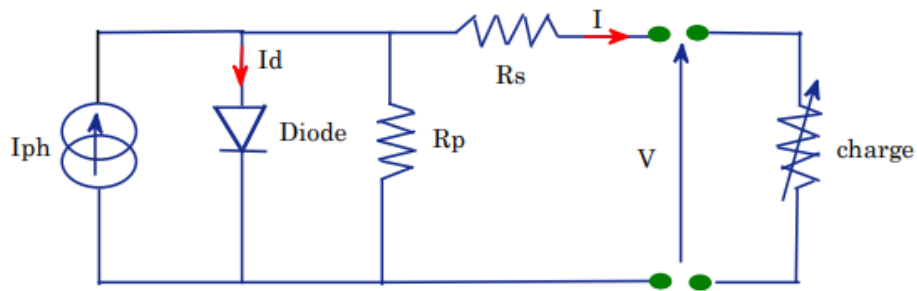


Figure 3-4 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

- La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension est donné par :

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (3.1)$$

Avec :

$$I_d = I_0 \left(\exp \left[\frac{q}{m.k.T_c} (V + I.R_s) \right] - 1 \right) \quad (3.2)$$

Ou :

V : Tension de sortie de la cellule.

I : Courant de sortie de la cellule.

I_{ph} : Courant photo-généré ou photo-courant (A).

I_0 : Courant de saturation de la diode (A).

T_c : Température absolue de fonctionnement de la jonction (K°)

m : Facteur d'idéalité de la diode ($m \in [1.2]$), La valeur typique de m est 1.3

R_s : Résistance série

R_p : Résistance parallèle

q : La charge électrique $1.6 * 10^{-19}$ (c)

k : Constant de Boltzmann $1.38 * 10^{-23}$ J/K

Dans la pratique l'équation (3.1) peut être simplifiée. Pour le cas d'une cellule solaire de bonne qualité, on admet que :

- La résistance R_p a une valeur assez élevée. Donc le terme $\frac{V+I.R_s}{R_p} = 0$
- L'expression $\left[\frac{q}{m.k.T_c} (V + I.R_s) \right] \gg 1$

Par conséquent, l'équation courant-tension de la cellule s'écrit donc :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left[\frac{q}{m.k.T_c} (V + I.R_s) \right] \right) \quad (3.3)$$

3-3 Associations des cellules PV

3-3-1 Association série des cellules PV

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Un

module de 36 cellules en série (Type GTO136 - 80/2) est suffisant pour obtenir une tension compatible avec la charge. Pour avoir plus de tension, il faut assembler N_s modules en série, par contre pour le courant généré, un nombre N_p de modules en parallèle permet d'en ajouter, les diodes de protection série et parallèles protègent le circuit contre le retour de courant. L'association en série des cellules délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule

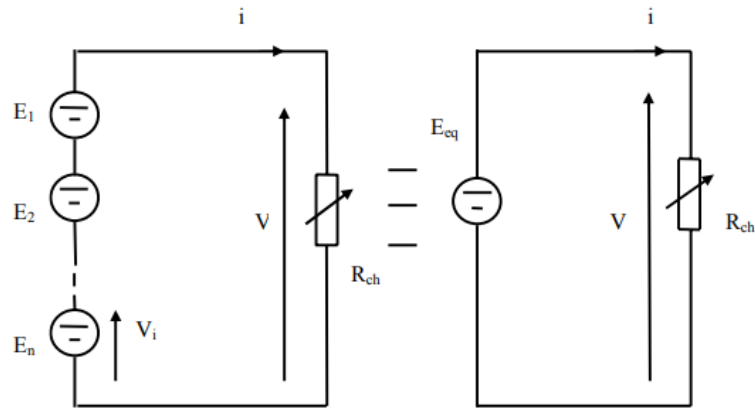


Figure 3-5 Association de N_s modules solaires en série.

3-3-2 Association parallèle des cellules PV

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'une seule cellule.

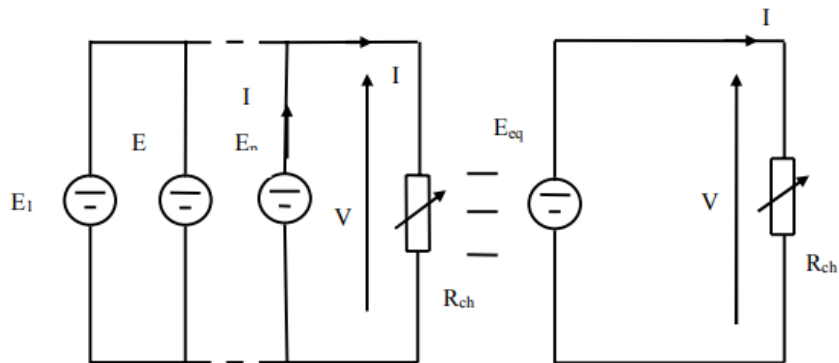


Figure 3-6 Association de N_p modules solaires en parallèle

3-3-3 Association mixte (Série +Parallèle) des cellules PV

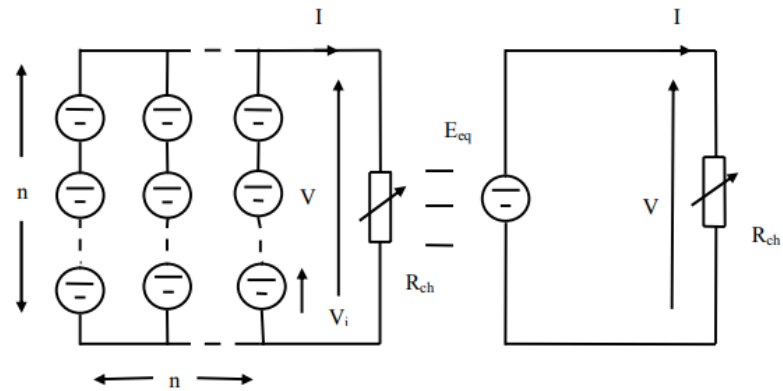


Figure 3-7 Association mixte $N_s \times N_p$ modules solaires.

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est-à-dire Série-Parallèle.

3-3-4 Simulation d'un système photovoltaïque

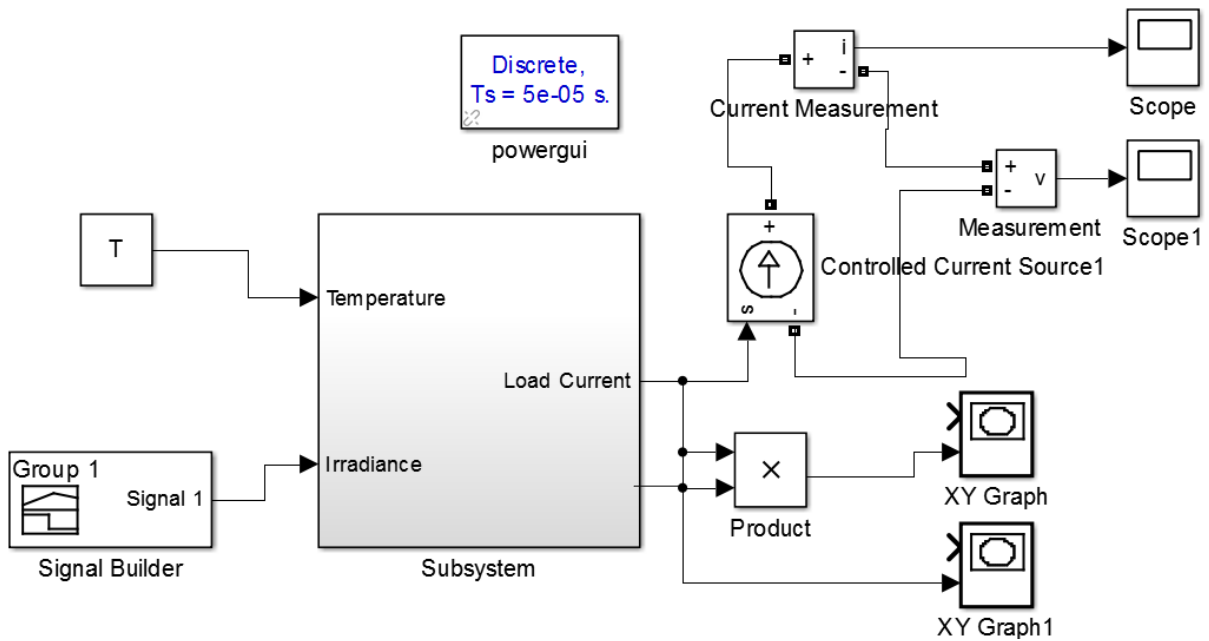


Figure 3-8 Schéma bloc d'un panneau solaire

La figure 3-9 représente la variation de l'irradiation imposée à l'entrée du système PV.

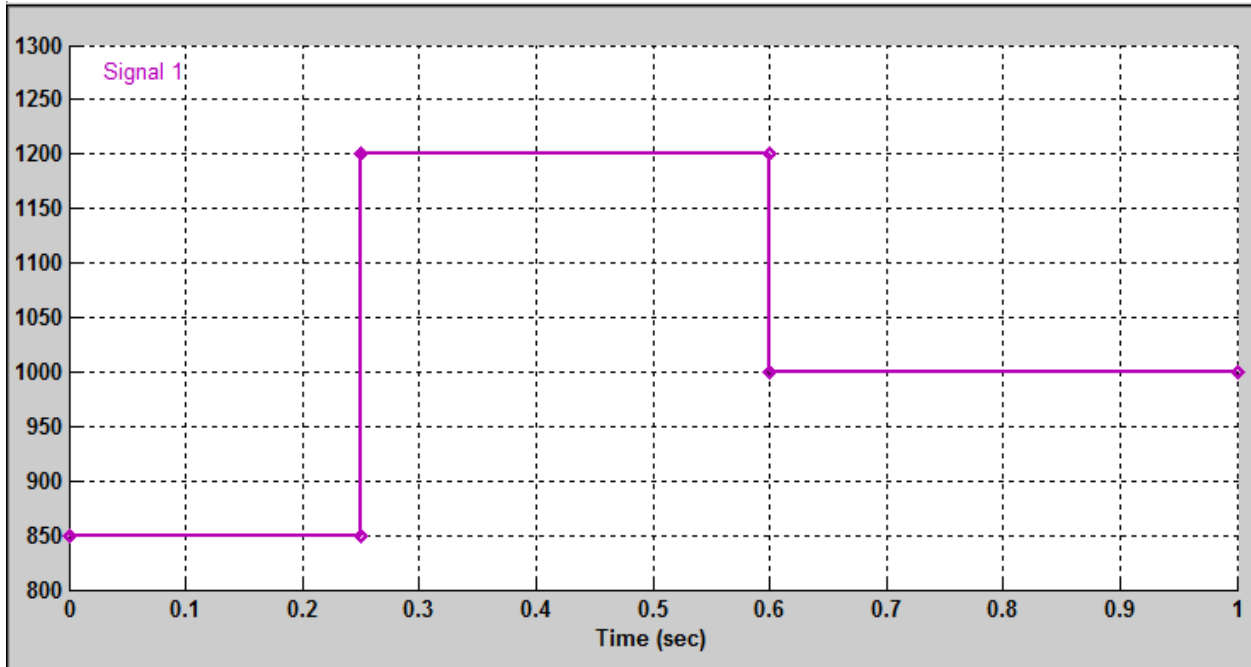


Figure 3-9 La variation de l'irradiation (G)

Les résultats de simulation obtenue à la sortie du système PV lors de la variation de G, courant, tension et les caractéristiques V (I) et P (V) sont illustrés respectivement par les figures 3-10, 3-11 et 3-12.

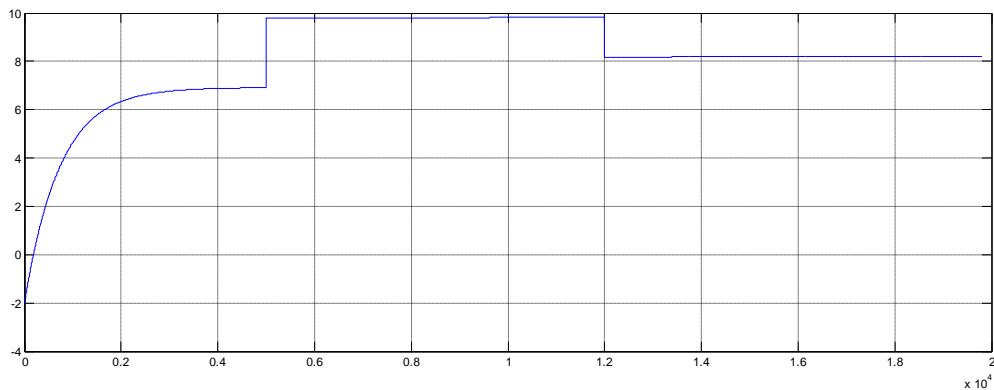


Figure 3-10 Courant

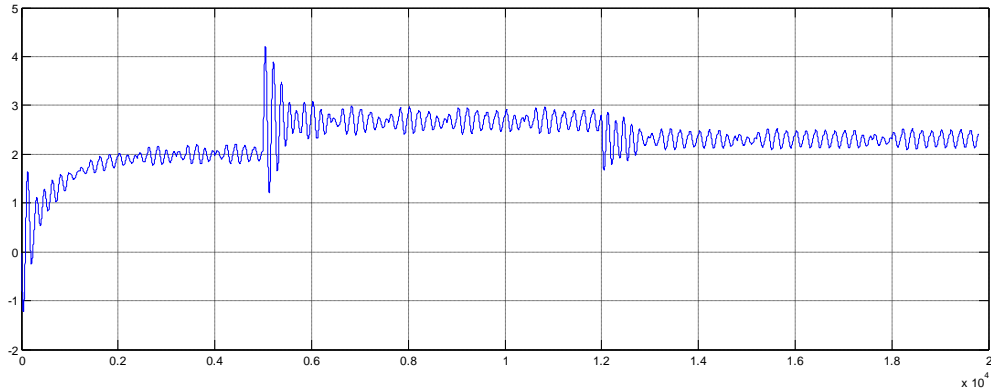
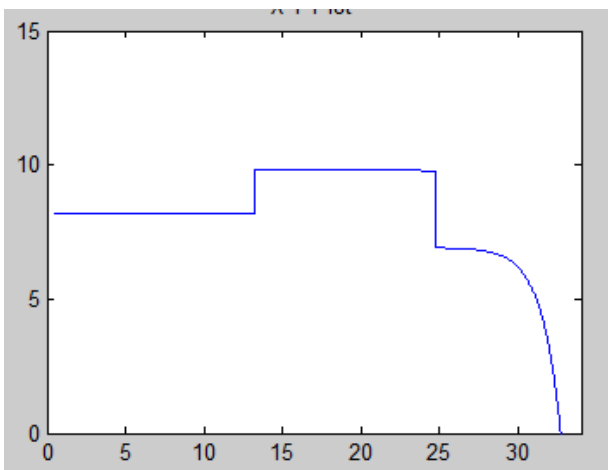
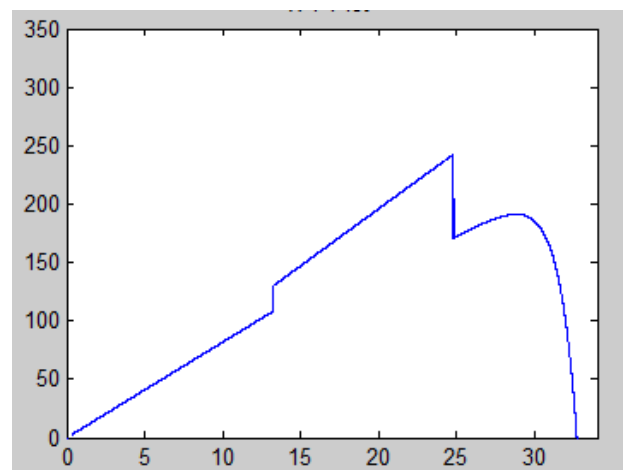


Figure 3-11 tension



a. Courant en fonction de la tension



b. Puissance en fonction de la tension

Figure 3-12 Caractéristiques du système PV

3-4 Recherche du point maximale

- Principe de la commande MPPT :

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{mpp} , I_{mpp}).

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure suivante.

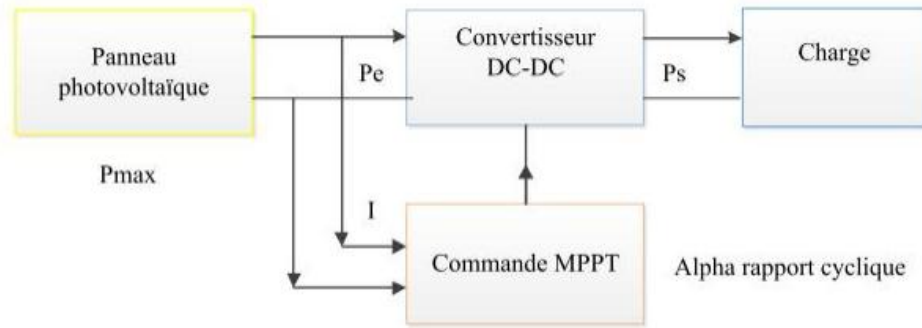


Figure 3-13 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir.

La figure qui suit illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

- Pour une variation d'ensoleillement (cas a), Il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2.
- Variations de température de fonctionnement du GPV (cas c). Bien qu'il faille également agir au niveau de la commande.
- Pour une variation de charge (cas b). On peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut

On peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande. En résumé, le suivi du PPM.

Réalisé au moyen d'une commande spécifique nommée MPPT agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le PPM du GPV. Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV.

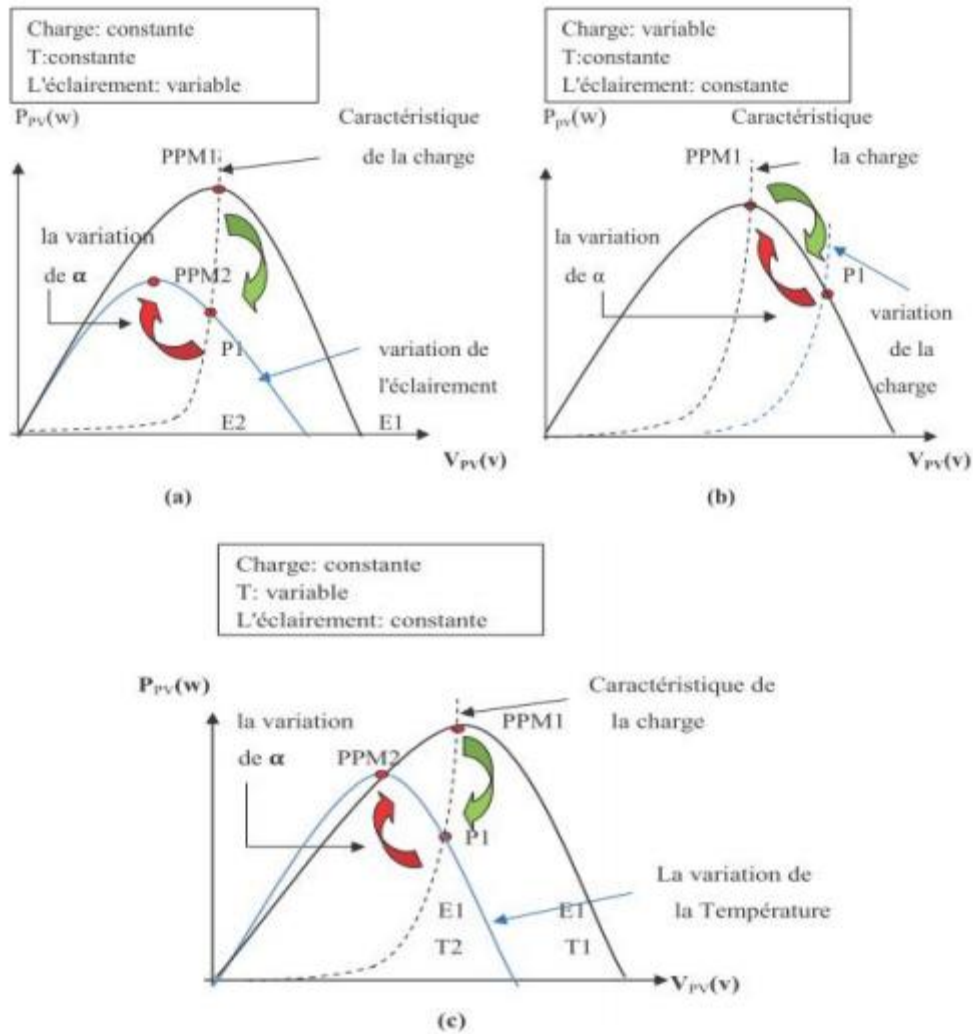


Figure 3-14 les variations de G , charge et température.

Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximale a) suite à une variation d'éclairement, b) suite à une variation de charge, c) suite à une variation de température.

3-4-1 Hacheurs boost

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K peut être remplacé par un

transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage), Connue aussi sous le nom de « boost » ou hacheur parallèle, Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure.

- Circuit équivalent :

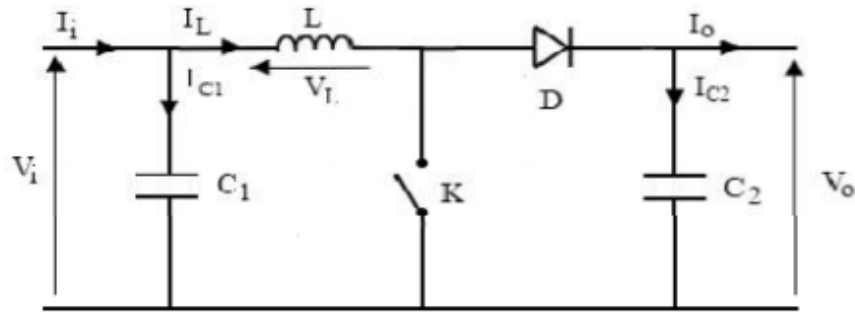


Figure 3-15 Schéma électrique d'un hacheur boost

- Mise en équation l'hacheur boost :

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée, le courant dans l'inductance croît linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps, l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à :

$$V_0(1 - a) = V_i$$

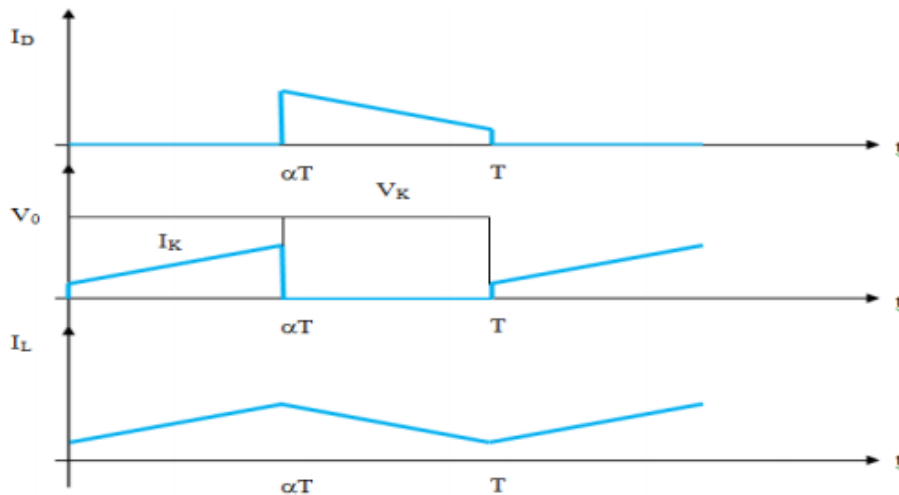


Figure 3-16 Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost.

- Modèle mathématique équivalent

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé.

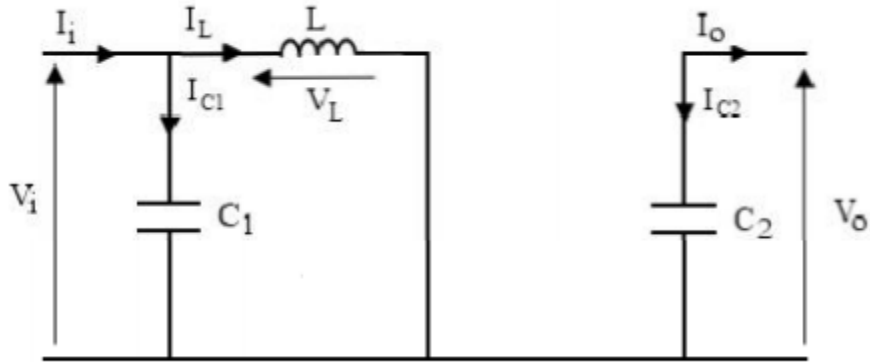


Figure 3-17 Schéma électrique d'un hacheur boost fermé

3-5 Simulation du système PV - Hacheur boost avec la commande MPPT :

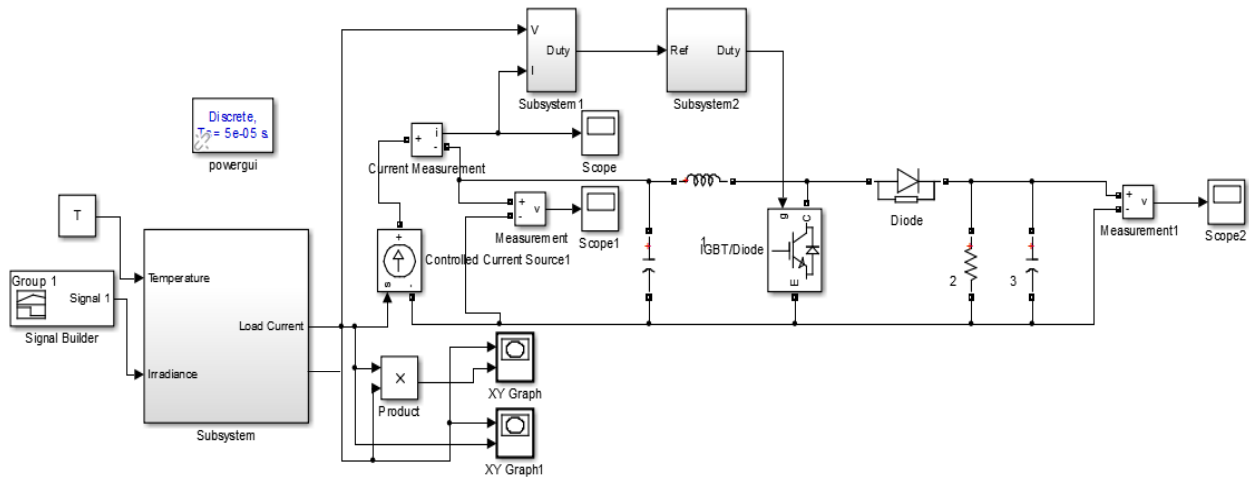
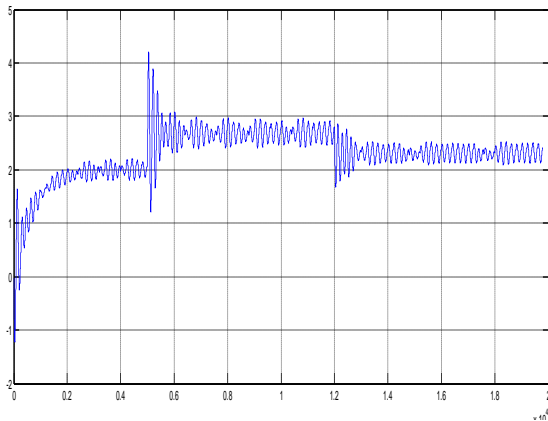
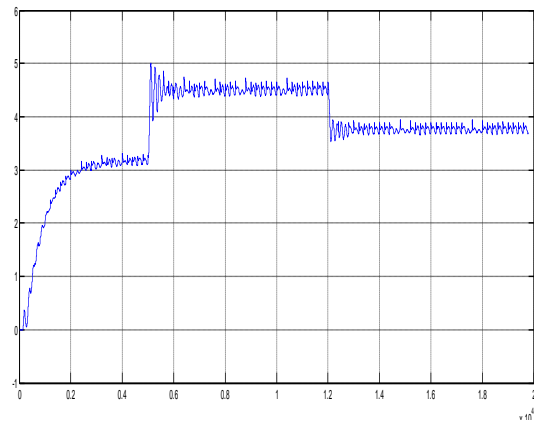


Figure 3-18 bloc de simulation d'un PV ,hacheur boost et commande MPPT

- On a obtenu la courbe de tension a la sortie d'hacheur :



a. Tension a la sortie du PV



b. Tension a la sortie de l'hacheur

Figure 3-19 Allure de la tension a la sortie de l'hacheur

On remarque que la valeur de la tension de sortie d'hacheur est supérieure à celles de PV.

3-4 Association système (PV- Hacheur) avec un onduleur

3-4-1 Définition d'un onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande.

3-4-2 Principe de fonctionnement d'un onduleur

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde .Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion.

- a) Onduleur Monophasé.
- b) Onduleur Triphasé.

- **Onduleur Monophasé :**

Ce type d'onduleur délivrant en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie :

- a) Onduleur monophasé en demi-point.
- b) Onduleur monophasé en pont (Pont H).

- **Onduleur triphasé:**

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre.

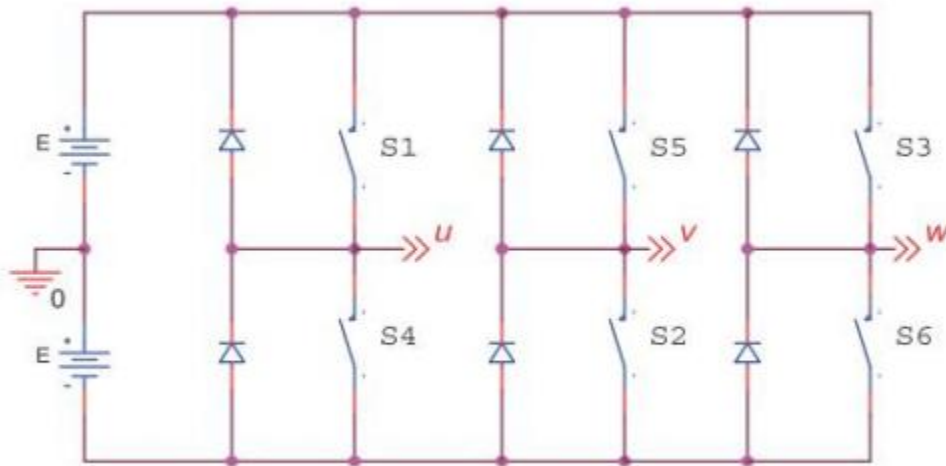


Figure 3-20 Schéma de Principe d'un Onduleur Triphasé En Pont.

3-5 Simulation système (PV- Hacheur) avec un onduleur

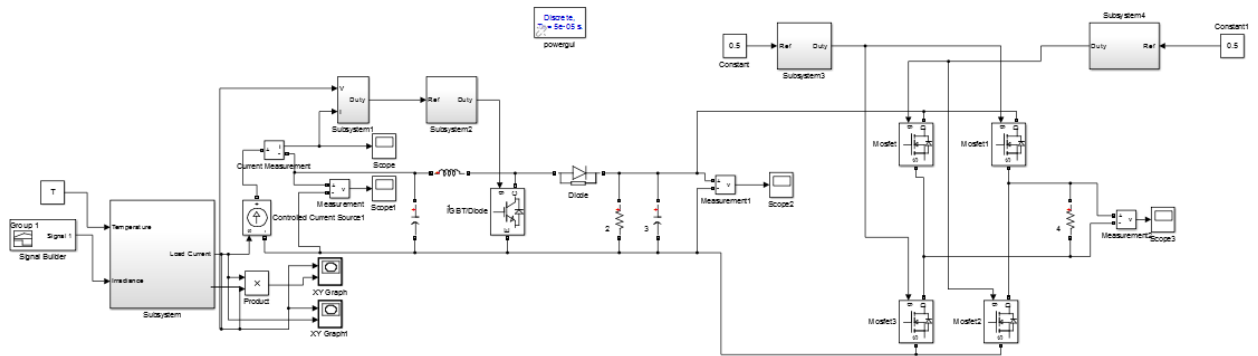


Figure 3-21 Schéma bloc système (PV- Hacheur) avec un onduleur

- on a obtenu la courbe d'une seule phase :

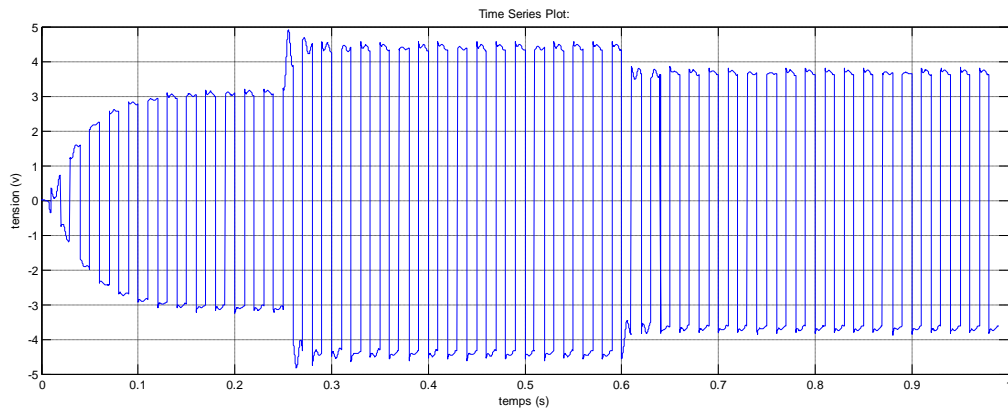


Figure 3-22 Courbe de tension o borne de la charge d'une seul phase a la sortie de l'onduleur.

Cette figure représente la tension de sortie de l'onduleur monophasé, On remarque dans cette allure l'effet de la variation de l'irradiation (G) imposé à l'entrée du système PV.

3-6 Conclusion

Ce travail présente un système de génération photovoltaïque connecté au réseau triphasé (résultat d'une seule phase), et notre objectif c'est l'étude de raccordement d'un système photovoltaïque au réseau électrique. Ce système injecter de l'énergie solaire dans le réseau triphasé comme une puissance active a travers un système de conversion en deux étages, composées d'un convertisseur continu-continu(Boost) et un onduleur. Le contrôleur MPPT est appliqué pour la poursuite du point de puissance maximale du système PV dans des conditions variables d'éclairement. La tâche de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) dans un système de puissance PV.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Pour conclure, l'objectif de ce mémoire était tout d'abord d'obtenir les connaissances nécessaires à la bonne compréhension du fonctionnement, et de l'utilisation des batteries, Le travail visait ensuite à évaluer la possibilité d'utilisation des modèles de batterie proposés par le logiciel de simulation Matlab.

Ce mémoire commence par une description des constituants d'une cellule électrochimique ainsi que par leur fonctionnement. Cela nous permet de mieux comprendre les différents phénomènes qui sont expliqués par après.

Le travail se poursuit par une partie théorique dans laquelle nous nous sommes tout d'abord intéressés à la définition de toute une série de paramètres indispensables à la bonne compréhension de ce travail, mais également du fonctionnement des batteries en général. Nous avons donc défini des notions telles que les différents voltages rencontrés, les SOC les courants ainsi que des termes tels que l'énergie spécifique et la technologie des voitures électrique l'importance des batteries dans ce domaine.

La partie pratique on a simulé une batterie que alimente une machine à courant continu que ce dernier reçoit ou génère le courant car il joue le rôle d'une génératrice ou un moteur à l'aide d'application d'une couple et on a pu envisagé le comportement et la différence entre chaque type des quatre batteries .

Dans le troisième chapitre on a étudié chaque partie d'une chaine photovoltaïque et on a remarqué l'effet de changement d'irradiation sur le système que ce dernier réagi on fonction de cette variable et la façon de maintenir la tension et le courant a une grandeur qu'on choisi .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BTS Electrotechnique MACHINE A COURANT CONTINU
- <http://get-couffignal.pagesperso-orange.fr/courselectro/quadrant1.pdf>
- Ambassade de France au Japon Service pour la Science et la Technologie
<file:///D:/MASTER%202/battries/chouf%20hna%20kolech%20melakher/pile2006.pdf>
- Détermination de l'état de charge des batteries d'un véhicule électrique.
- Recherches d'optimums d'énergie pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques Jean-François Reynaud.
- Commande MPPT et Contrôle d'un Système Photovoltaïque par la Logique Floue.
- L'électricité à bord (et l'électricité autonome en général).
- Modélisation des paramètres d'une batterie Plomb-Acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome.
- Wikipedia.
- Batteries salines pour stocker l'énergie.
- Principe de fonctionnement et constituants d'une .
- Analyse expérimentale et modélisation d'éléments de batterie et de leurs assemblages application aux véhicules électriques et hybrides
- L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE
- Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque.
- Etude de raccordement d'un système photovoltaïques au réseau électrique.
- Modélisation et commande d'un panneau photovoltaïque dans l'environnement PSIM Saad Motahhir, Abdelaziz El Ghzizal, Aziz Derouich
- Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique.