

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTÈRE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES

DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Électrotechnique

Spécialité: Commandes électriques

THÈME

**Modélisation et commande d'un véhicule
électrique alimenté par un système PV / Batterie.**

Préparé par: M. BENMAHDJOUR Mohamed

Devant le Jury:

<u>Nom et prénoms</u>	<u>Grade</u>	<u>Qualité</u>
ALLAOUI Tayeb	Pr	Président
OUARED Rahal	MAA	Examineur
BOURENANE Hayet	MAA	Examinatrice
BECHEIKH Mostefa	MCB	Encadreur

Promotion 2021/2022

Dédicace

Il nous est agréable de dédier ce modeste travail

à: Nos chers parents qui nous ont soutenu

tout au Long de notre cursus ,Nos familles

et nos proche

Ainsi qu'à tous ceux qui nous sont chers.

Benmahdjoub mohamed

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma

*Profonde gratitude à mon promoteur **Dr BENCHIKH***

***MUSTAPHA** pour son soutien et pour les*

*Conseils qu'il a apportés pour l'accomplissement de ce
mémoire.*

Je tiens également à remercier l'ensemble des membres de

Jury qui nous a fait l'honneur de juger ce travail.

*Je tiens également à remercier toute personne ayant
contribué*

De près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Benmahdjoub mohamed

Résume :

Aujourd'hui. Le véhicule électrique a panneau photovoltaïque (VE /PV) est apparu comme la meilleure solution dans le Contexte de la propreté, le confort et l'indépendance des carburants. Afin que les VE soient Utilisables et populaire il est indispensable qu'une couverture suffisante de ces infrastructures de recharge.

Ce travail présente une nouvelle perspective d'intégration des panneaux solaire pour charger le VE qui est actuellement le moyen de transport le plus "propre" est qui suscite le plus d'intérêt de la part des constructeurs d'automobiles et des pouvoirs publics ou l'objectif est de pallier aux différents problèmes liés aux véhicules thermiques.

ABSTRACT

Algeria has one of the highest solar deposits in the world, thanks to its geographical location. Given that the duration of sunshine on almost all of the Algerian national territory exceeds 2000 hours annually and can reach 3900 hours in the highlands and the Sahara [4].

Practically, solar energy has become the energy most exploited by many countries; this revolution is justified by international and national policies, for example: the Kyoto protocol which motivates and encourages governments to fight against the use of fossils. According to the International Energy Agency, an area of 145,000 km² of photovoltaic panels is sufficient to cover all of the world's energy needs, so the energy captured by planet Earth for one hour could meet the world's energy needs for a year [6] [7][8].

Recent advances in the field of transportation such as electric vehicles with solar panels and, can be another means of clean and economical transportation that is gradually replacing conventional vehicles as well as an alternative means for Remote areas. This solution can also solve the problem and concern of suppliers as well as consumers whose distribution of fossil fuels for isolated sites and hard-to-reach areas is unpleasant[10].

Today, The electric vehicle (EV / PV) is emerging as the best solution in the context of cleanliness, comfort and fuel independence. In order for EVs to be Usable and popular, it is essential that sufficient coverage of these charging infrastructures. Is looking for an alternative solution to charge the YE from the photovoltaic panels (PY).

A study focused on the feasibility of designing a PY solar charging system so that the batteries of a YE can be charged in a Saharan region in Algeria whose solar deposit is extracted from the NASA database of the RET Screen software .

This study is within the framework of making the most of renewable energies in this country, typically solar energy, as well as the integration of this new mode of reliable and clean electric vehicle.

Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur le véhicule tout électrique

I. Introduction.....	03
I.2. Le véhicule électrique.....	03
I.3.Histoire du véhicule électrique.....	04
I.4. Eléments principale constituants le VE.....	04
I.4.1. Batterie.....	05
I.4.2.Moteur de proportion.....	09
I.4.3. Convertisseur de puissance.....	10
I.5.Véhicule électrique à panneau solaire.....	16
I.5.1. Véhicule PV ETAT D'ART.....	17
I.5.2.Etat de l'art sur le photovoltaïque.....	19
I.6.. Le solaire photovoltaïque.....	21
I.7. Le gisement solaire en Algérie.....	21
I.8.Conclusion.....	22

Chapitre II : Modélisation du système de véhicule électrique

II.1 Introduction.....	24
II. 1. Modélisations du moteur de traction.....	24
II. 1.1. Description du phénomène moteur.....	24
II. 2.1. Présentation de la machine synchrone à aimant permanent	25
II. 2.2. Avantage et Inconvénient	26
II.2.3. Principe de fonctionnement d'une MSAP.....	29
II. 2. 4. les hypothèses simplificatrices.....	29
II. 2.5. Modélisations de la machine à aimant permanent	30
II. 2. 5.1. Les équations électriques.....	30
II. 2. 5.2. Les équations magnétiques	32
II.2.5.3 Les équations mécaniques	32

Sommaire

II. 2. 6. Mise en équation de la MSAP en diphasé.....	33
II. 2. 6. 1. Principe de la transformation de Park	33
II. 2. 6. 2. Transformation de Concordia	34
II. 2. 7. Modélisation de moteur synchrone à aimant permanent dans le plan de Park	35
II. 2. 7.1. Equations électriques.....	35
II. 2. 7.2. Equations magnétiques.....	35
II.2.7.3. Expression du couple électromagnétique	36
II. 3. 1. 1. Classification des onduleurs.....	37
II. 3. 1. 1. a. Onduleur autonome.....	37
II. 3. 1. 1. b. Onduleur non autonome.....	37

Sommaire

II. 3. 1. 2. Onduleur de tension.....	37
II. 4. Modélisation dynamique du Véhicule	41
II. 4. 1. Environnement de véhicule	41
II. 4. 2. Choix du réducteur dans la transmission électrique.....	44
II. 5. Conclusion.....	45

Chapitre III : Simulation et Résultat de Simulation

Introduction	47
VI. 2. Modèle de la cellule sous Matlab/Simulink.....	47
VI. 3. Résultats des simulations.....	49
VI. 3. 1. Scenario I: et constants.....	49
VI. 3. 2. Scenario II: constante etvariable.....	51
VI. 3. 3. Scenario III	52
III.4. Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	60
Bibliographie.....	61

Annexe



Liste des Figures



Chapitre I : Généralités sur le véhicule tout électrique

FigureI-1 Composants principaux du VE : 1 Batterie 2 onduleur/chargeur 3 moteur 4 prise de charge.....	05
FigureI.2 Emplacement de la batterie VE.....	05
Figure I. 3. Comparaison des technologies de batteries.....	06
FigureI.4 Diagramme de Ragone.....	08
FigureI.5. Classiication des motorisations des VE.....	09
FigureI.6 Etude comparative de fiabilité des moteurs des véhicules électriques.....	10
FigureI.7 Ensemble convertisseur machine triphasé.....	11
FigureI.8 Schéma de principe d'un hacheur parallèle (boost).....	12
Figure1.9 Fluctmation du PMM avec : A) variation du l'éclairnement et B) variation de la charge.....	14
Figure1.10 Organigramme de l'algorithme perturbation et observation (P&O)	15
FigureI.11 Véhicule électrique à panneau solaire GREEN TOUR.....	18
FigureI.12 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	19
FigureI.13 La carte d'éclairnement solaire de l'Algérie.....	21

Chapitre II : Modélisation du système de véhicule électrique

Figure (II.1): phénomène d'entraînement dumoteurélectrique.....	25
Figure (II.2): caractéristiques magnétiques de quelques matériaux.....	26
Figure (II.3): structure d'inducteur à aimant permanent dans les machines synchrone.....	28
Figure(II.4): Schéma de la machine synchrone àaimantpermanent.....	29
Figure (II.5): Schéma équivalent d'une (MSAP) dans lerepère(d,q).....	34
La figure II.6 schéma d'un onduleur triphasé alimentantleMAS.....	38
Figure (II.7) : schéma d'unbrasd'onduleur.....	38
Figure (II.8) Schémaéquivalentd'onduleur.....	39
Figure II.9 Entrées-sorties du modèle d'environnementduvéhicule.....	41

Figure II.10 Force appliquées surlevéhicule.....	42
---	----

Figure II.11 : Définition delapente.....	43
---	----

Chapitre III : Simulation et Résultats de Simulation

Figure III. 1 Schéma bloc du système de véhicule électrique àpanneausolaire....	48
--	----

Figure VI. 2 Courant de sortiedu Boost.....	49
--	----

Figure VI. 3 Tension de sortieduBoost.....	50
---	----

Figure VI. 4 Puissance de sortieduBoost.....	50
---	----

Figure VI. 5 Courant de sortieduBoost.....	51
---	----

Figure VI. 6 Tension de sortieduBoost.....	51
---	----

Figure VI. 7 Puissance de sortieduBoost.....	52
---	----

Figure VI. 8 Courant de sortieduBoost.....	53
---	----

Figure VI. 9 Tension de sortiedu Boost.....	53
--	----

Figure VI. 10 Puissance de sortiedu Boost.....	54
---	----

Figure VI. 11 Variationdespuissances.....	56
--	----

FigureVI.12 Courant de sortiedu Boost.....	56
---	----

Figure VI. 13 Courant delabatterie.....	57
--	----

Figure VI. 14 Courant delabatterie.....	57
--	----

Figure VI.15 Variationdespuissances.....	58
---	----



Liste des tableaux



Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur le véhicule tout électrique

Tableau I.1 comparaison De trois types de cellules.....	20
--	----

Chapitre III : Simulation et Résultats de Simulation

Tableau VI. 1 Caractéristiques électriques du module photovoltaïque	
--	--

«KC200GT».....	48
----------------	----



Introduction Générale



Introduction générale

Introduction générale :

La raréfaction des énergies fossiles et les préoccupations écologiques amènent notre société dans une phase de transition énergétique.

Le secteur de transports a consommé près de 70% de la production pétrolière mondiale dans toutes les années passé par ans, donc en doit faire face à cette transition de manière aigüé.

Le secteur de l'automobile se situe au cœur de ces problématiques qu' il doit s'investit dans la recherche et le développement des technologies liées aux véhicules électriques.

Afin de résoudre cette problématique générale et pour parvenir à une mobilité plus propre et plus verte dans les villes très urbanisées l'utilisation des véhicules tout électrique doit être considérée comme l'une des choix stratégiques.

Cette solution possible dite « zéro-émission » et notre objectif de cette recherche. L'alimentation de ce véhicule est assurée par un système photovoltaïque avec un système de stockage. La complémentarité entre ces deux sources d'énergie permet l'amélioration des performances globales de VE par un control robuste d'un système de commande optimal

Ce modeste travail est basé sur trois chapitres, une introduction générale et une conclusion générale.

- Le premier chap. : Généralitéssur le VE
- Le deuxième chap. : Dimensionnement et modélisation du système VE
- Le troisième chap. : Simulation et résultat de simulation



Chapitre I :

Généralités sur le

véhicule

toutélectrique



I.1. Introduction:

Les véhicules (véhicules légers, gros tonnage, transport, quadricycles, tricycles et cycles) électriques et hybrides sont sur le point d'amener des bouleversements importants - si ce n'est déjà fait - dans les transports terrestres. Le moteur à combustion interne est appelé à céder une large place à ces véhicules dits dé-carbonés, fonctionnant grâce à des moteurs moins polluants permettant de diminuer la dépendance vis à vis des énergies fossiles. La combinaison des programmes incitatifs des gouvernements en Europe, en Amérique du Nord et en Asie, ainsi que l'évolution rapide du développement technologique indique que le choix du VE et une obligation pour l'humanité.

Ce chapitre est destiné à expliquer simplement les différentes composantes que constitue un véhicule électrique

I.2. Le véhicule électrique:

Le véhicule « électrique » est une automobile tractée par une motorisation électrique alimentée par une batterie principale. Cette dernière, exerçant la fonction de stockage de l'électricité qui est rechargeable par l'utilisation d'un chargeur et d'un câble depuis une source extérieure ou par La récupération de l'énergie lors des phases de freinages ou par un panneau solaire intégré sur la surface du VE.

Nous distinguons trois types de véhicules électriques :

- 1 – Véhicules hybrides rechargeables (Plug-in HybridElectric Vehicle ou PHEV). Ces véhicules sont propulsés par un moteur thermique, auquel se substitue un moteur électrique.
- 2 – Véhicules à prolongateur d'autonomie (Extended Range Electric Vehicle ou EREV).

La propulsion de ce type de véhicules se fait par un moteur électrique alimenté par des batteries de grande capacité

3 – Véhicules entièrement électriques (Battery Electric Vehicle ou BEV). Les sources d'énergie pour ce type de véhicules sont des batteries rechargeables par le réseau électrique ou par d'autres énergies renouvelables (solaire, éoliens, ...).

1.3 Histoire du véhicule électrique

L'idée d'utiliser l'énergie électrique pour mouvoir les véhicules n'est pas nouvelle. Les Premièresvoitures sans chevaux ont été propulsées en grande partie par des moteurs électriques. En effet, c'est en 1880 que les ingénieurs **Charles Jeantaud**, **Camille Faure**, **Gustave Planté** et **Nicolas Raffard réalisent** les premiers véhicules électriques. Cette prouesse technologique est rendue possible grâce à l'invention, vingt-et-un ans plus tôt, de la batterie au plomb par **Gaston Planté** et **Camille Faure**. En 1896, **Louis Krieger**, un autre ingénieur français, crée un « fiacre » électrique qui participe avec succès au premier concours de parcours en ville : 50 km par jour pendant 12 jours.

Mais c'est en mai 1899 que la viabilité de la voiture électrique éclate aux yeux du monde entier. En effet, la *Jamais Contente* pilotée par le belge **Camille Jenatton**, dépassa les 105 km/h [R.MKAHL 2015]

Actuellement, le record de vitesse de la voiture électrique appartient à Oscar Vita (début 1995) qui, sur le prototype ZER (Zero Emission Record) dessiné par Bertone a atteint 303,977 km/h, tandis que la distance maximale parcourue avec une moyenne de 60 km/h est de 540 km pour un « concept car », de Fisher Electric Motor Technology,

1-4 Elements principale constituant le VE :

La constitution du VE et les composants de bases sont représentés en figure I-1.



Figure I.1 : Composants Principaux du VE :
1) Batterie, 2) Onduleur/Chargeur,3) Moteur 4)Prise de charge

1-4-1 Batterie :

C'est l'élément clé de la technologie industriel de VE. LA batterie est un réservoir d'énergie électrique qui se compose de plusieurs éléments formés chacun d'une anode, d'une cathode, d'un séparateur convenable pour isoler électriquement les électrodes à l'intérieur,d'un électrolyte et d'un récipient. Une batterie de traction doit satisfaire les conditions suivantes :[1]

- Puissance massique élevée, afin de garantir de bonnes accélérations et reprises au véhicule,
- Grand nombre de cycles charge/décharge sans dégradation importante des performances,
- Faible coût de production,
- Sécurité D'emploi, pas de risque d'explosion ou de dégagement de gaz nocifs,
- Possibilité d'estimation précise de l'état de charge,
- Possibilité de recharge rapide,

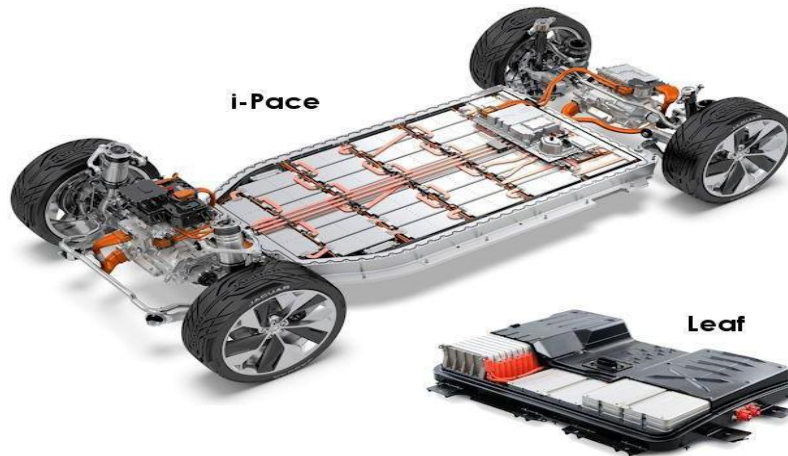


Figure I. 2 : Emplacement de la batterie VE

1-4-1 a : Choix des batteries du système de recharge :

il y a deux technologies des batteries, les batteries stationnaires et les batteries de traction. Cette étape de l'étude consiste à déterminer la technologie de batteries à utiliser pour satisfaire les exigences de VE étudié.

Pour ce faire, nous nous limitons à la comparaison de quatre technologies de batteries (batterie au plomb, batterie Ni-MH, batterie Li-ion, et batterie Ni-Cd).

Les caractéristiques de ces quatre technologies sont exposées dans le tableau

	Énergie massique [Wh/kg]	Densité d'énergie [Wh/litre]	Coût indicatif [Euros/kWh]
Batterie au Plomb	30-50	75-120	200-250
Batterie Ni-MH	60-110	220-330	1500-2000
Batterie Li-Ion	150-190	220-330	2000
Batterie Ni-Cd	45-80	80-150	600

Figure I.3: Comparaison des technologies de batteries

La comparaison de la masse et du volume des différentes batteries montre que la batterie Li-Ion est plus avantageuse comparée aux autres batteries. Compte tenu de ces

résultats de comparaison, les batteries Li-ion sont les mieux adaptées pour être embarquées dans les VE en termes de masse, de volume et d'énergie massique. Ceci est confirmé par la plupart des constructeurs de VE qui adoptent cette technologie de batteries. Pour toutes ces raisons, nous choisissons la batterie Li-Ion comme batterie de traction embarquée dans le VE de notre système de recharge. De même, en raison de son faible coût, de sa capacité importante et de sa disponibilité comparée aux autres types de batteries, la batterie au plomb est retenue dans cette étude comme batterie stationnaire du système de recharge de panneau solaire. Sa grande masse ne contraint pas le système. Dans ce qui suit, nous présentons d'autres avantages de ces deux technologies (batteries Li-Ion et batteries au Plomb). De même, nous abordons quelques inconvénients et limites de chacune de ces deux technologies.

Pour conclure lorsque l'on compare les différentes batteries actuellement sur le marché on peut constater que ce sont les batteries au **lithium** qui sont les plus performantes malgré leur coût élevé.

1-4-1-b : Bilan et améliorations à apporter :

On utilise le diagramme de Ragone d'énergie (Fig. 26). Ainsi on peut évaluer la densité de la puissance massique en fonction de la densité d'énergie massique. **Figure 1-4** : Diagramme de Ragone Pour conclure lorsque l'on compare les différentes batteries actuellement sur le

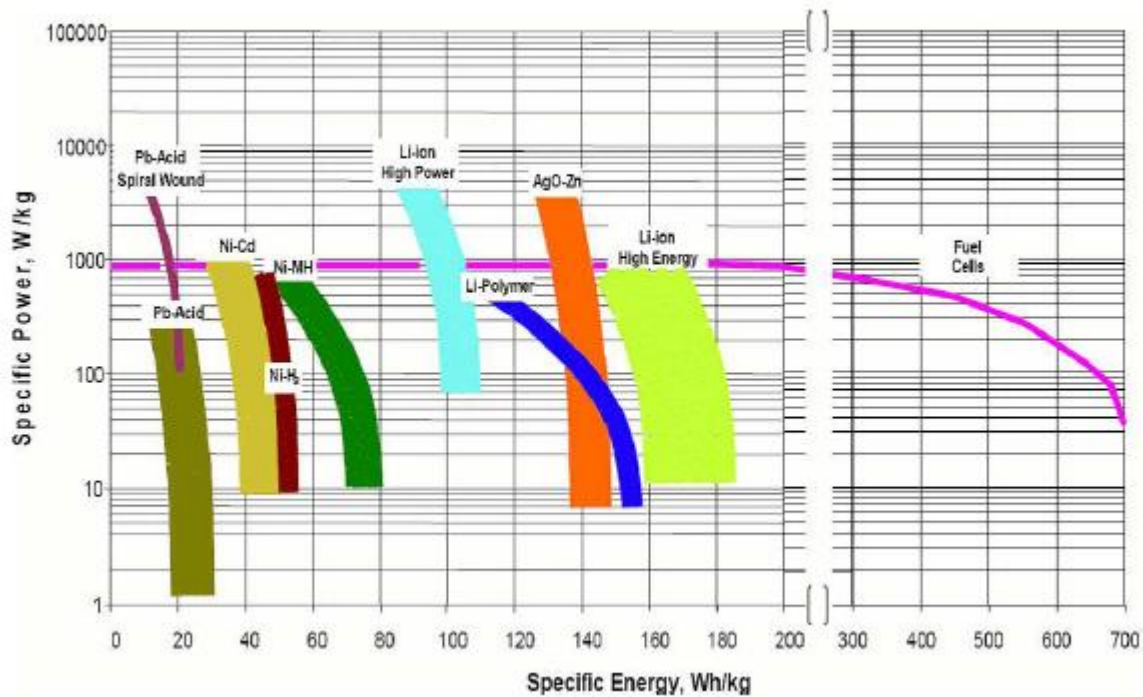


Figure 1.4 : Diagramme de Ragone

En termes de fonctionnement, c'est la réaction de l'air et de l'eau au contact des plaques qui génère une réaction permettant d'extraire l'énergie emmagasinée dans l'aluminium. La pile aluminium-air présente l'une des plus hautes densités d'énergie parmi toutes les batteries, mais n'est pas très utilisée en raison, notamment, du coût élevé de l'anode ainsi que du nettoyage des sous-produits résultants de son utilisation avec un électrolyte ordinaire.

Remarque : Au Québec, les sociétés **Alcoa** et **Phinergy** viennent de présenter un premier prototype de voiture électrique capable de parcourir 1.600 kilomètres en une seule charge grâce à de nouvelles batteries **aluminium-air**. Dotées de 50 plaques d'aluminium, les batteries Al-Air développées par les deux partenaires annoncent une densité énergétique de 8.000 Wh/kg, soit 40 fois plus que les batteries lithium-ion actuelles, et offrent de belles perspectives à la filière. (2 projet 3A).

1-4-2 Moteur de propulsion :

Pour la traction des véhicules électriques, différents types moteurs peuvent être utilisés. Moteurs avec balais (moteur à courant continu par exemple), ou moteur sans balais (moteur synchrone ou asynchrone

La figure 1.5 présente une classification de motorisation des véhicules électriques ou électriques hybrides. Dans cette figure, MCC : Machine à Courant Continu ; MAP : Machine à Aimant Permanent ; MRV : Machine à Réductance Variable.

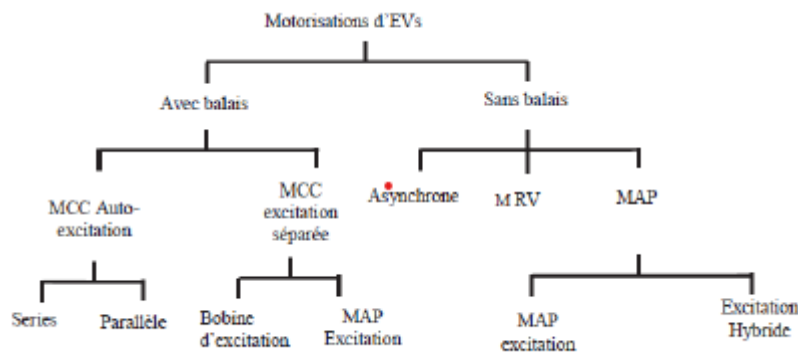


Figure I.5 : Classification des motorisations des VE

Les caractéristiques principales d'une machine électrique pour l'application de traction sont :

- 1 – Densités de couple et de puissance élevées.
- 2 – Couple élevé au démarrage, à basses vitesses et au freinage, à grande puissance et à grandes vitesses,
- 3 – Large bande de vitesse, avec une région de puissance constante atteignant 3 à 4 fois la vitesse de base,
- 4 – Rendement élevé sur les larges bandes de vitesse et de couple, y compris le fonctionnement à faible couple,

5 – Capacité de surcharge, généralement deux fois le couple de base

Pendant un temps court,

6 – Fiabilité et robustesse appropriées à l’environnement du véhicule,

7 – Coût acceptable.

	MCC	MSAP	MAS
Rendement maximal	Bon	Très bon	Passable
Rendement moyen	Moyen	Très bon	Bon
Vitesse maximale	Passable	Bon	Bon
Coût de l’électronique de puissance	Très bon	Moyen	Passable
Coût du moteur	Passable	Moyen	Bon
Espace couple-vitesse	Moyen	Très bon	Moyen

Figure 1.6 : Étude comparative de fiabilité des moteurs des véhicules électriques

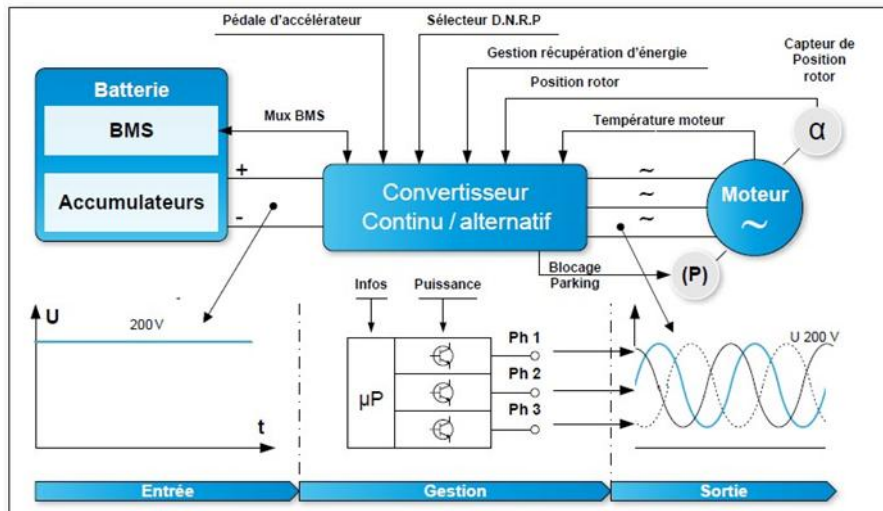
I.4-3 : Convertisseur de puissance :

L’actionneur peut être alimenté au moyen d’un onduleur de courant ou d’un onduleur de tension, mais pour une alimentation par batterie dans cette gamme de puissance, un onduleur de tension triphasé est une bonne solution.

L’onduleur permet l’alimentation en courant à fréquence variable de la machine, de façon à régler son couple et sa vitesse. La commande électronique génère les signaux de commande de l’onduleur à partir de la position du rotor et de la mesure des courants dans la machine. Pour notre application, nous pouvons alimenter le moteur par un onduleur de tension contrôlé en courant par modulation de largeur d’impulsion MLI (Figure I.7). [1] [2]

Le contrôle des courants s’effectue au moyen de régulateurs qui assurent

le suivi d'une référence à fréquence et amplitude variables.



Principe de fonctionnement de l'onduleur

Figure 1-7 :Ensemble convertisseur machine triphasé

Les convertisseurs de puissance pouvant être utilisés à bord d'un VE sont de type :

- 1 – Hacheur : un convertisseur de courant continu en courant continu de différentes tensions DC/DC,
- 2 – Onduleur : un convertisseur de courant continu en courant alternatif DC/AC,
- 3 – Redresseur : un convertisseur de courant alternatif en courant continu AC/DC.

1-4-3-a :hacheur survolteur (ou boost) ;

Ce hacheur comporte trois composants essentiels :

Une inductance L , une capacité C et un interrupteur qui peut prendre deux états, $U=1$ et $U=0$.

Figure1-8: Schéma de principe d'un hacheur parallèle (boost)

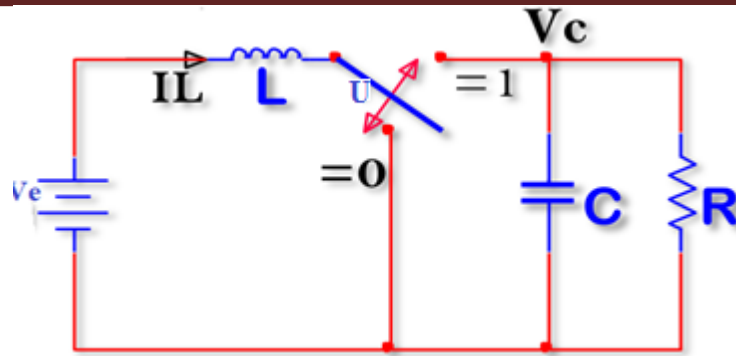


Figure1-8: Schéma de principe d'un hacheur parallèle (boost)

1-4-3-b La technique de commande de L' MPPT

I- Définition

Les générateurs photovoltaïques ont une production électrique aléatoire directement dépendante des conditions météorologiques. Ainsi, le dimensionnement et l'exploitation optimale de l'énergie produite par ces générateurs exige l'utilisation de méthodes de gestion appropriées. De même, L'amélioration du rendement du système photovoltaïque nécessite la maximisation de la puissance du générateur PV qui permet d'établir la commande adéquate en vue de tirer le maximum de puissance de ces générateurs

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, quelque soient les conditions météorologiques (température et irradiation), et quelle que soit la tension de la batterie, la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum [ABOUD-3].

b-I. Convertisseur Pour la suite du point de puissance maximum(MPPT)

Pour la maximisation de puissance de la source PV, en intercalant un quadripôle d'adaptation qui est un convertisseur d'énergie DC-DC entre la source PV et la charge et

avec le contrôle rigoureux du rapport cyclique de ce dernier, Cette adaptation se réalise en cherchant de façon automatique le PPM du panneau PV et un suivi continu de la puissance maximale est assuré. Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal. Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95%

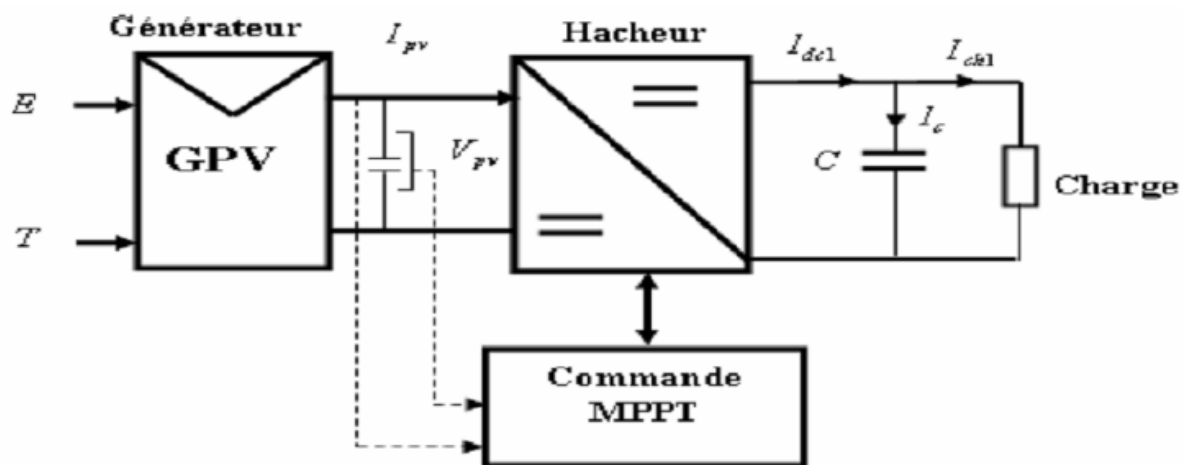


Figure (1-9): Schéma synoptique du système PV par une commande MPPT

On utilise le convertisseur de type DC/DC dans la partie Contrôle du système photovoltaïque car il est facile à contrôler par leurs rapports cyclique en utilisant un signal MLI. Ici, on utilise le hacheur Boost comme interface de puissance à contrôler par le régulateur **MPPT**, afin d'adapter la tension de sortie du hacheur à la tension requise par la charge .

Du fait du non linéarité de la caractéristique I-V, le circuit **MPPT** oblige le système à fonctionner en permanence sur le point à puissance maximale du générateur, une fois

l'éclairement ou la température change. Le hacheur capte alors la puissance électrique absorbée selon une période d'échantillonnage, et commence à incrémenter ou décrémenter le rapport cyclique α pour annuler le gradient de la puissance P [ABOUD -3]:

b-2- Le principe de fonctionnement de MPPT d'un générateur PV :

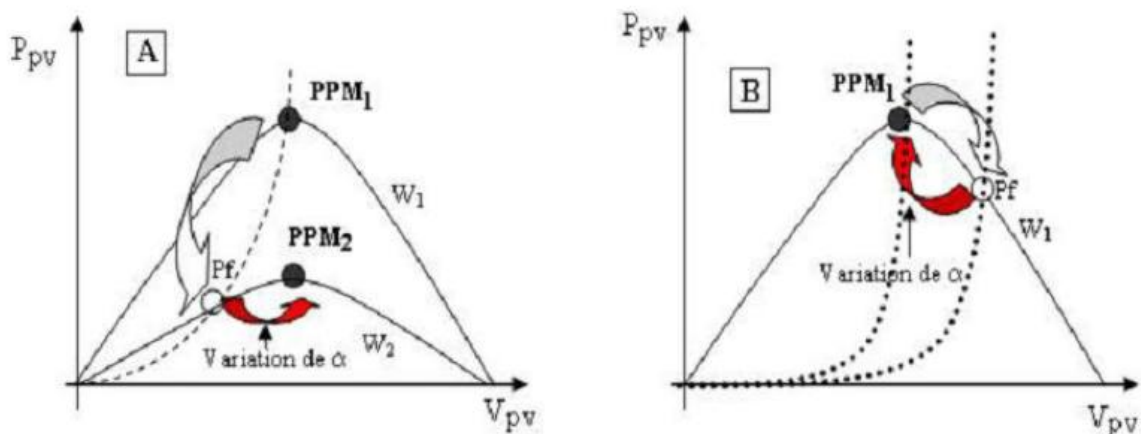


Figure (1-10):Fluctuation du PMM avec : A) Variation de l'éclairement et B) Variation de la charge

La commande MPPT permet de chercher le point de fonctionnement optimal du module Photovoltaïque dans les conditions météorologiques variables. Ceci est basé sur la

Variation automatique du rapport cyclique α du signal qui commande le convertisseur

D'énergie, à une valeur adéquate de manière à maximiser la puissance à la sortie du

module [Kas, 07].

Comme le montre la figure 1-10, pour une puissance incidente W_1 , la puissance optimale

transférée à la charge est obtenue pour un rapport cyclique α_{opt1} (point PPM_1). Si la

puissance incidente change (W_2), alors ce point de puissance maximale est le point PPM_2

et le point de fonctionnement du générateur PV est le point Pf (Fig. 1-10A). Pour

converger vers le nouveau point PPM_2 , il faut ajuster le rapport cyclique α à la valeur

α_{opt2} . Il en sera de même que lorsque la charge Rch change (Fig. 1-10B): Le point de puissance maximale dévie de sa position optimale (PPM1); pour converger vers ce PPM1, il faut agir sur le rapport cyclique (α)

b-3- La méthode Perturbation et Observation P&O :

C'est l'algorithme de poursuite du PPM le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est Basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de Vref où en Agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC/DC, puis l'observation de L'effet sur la puissance de sortie du panneau. Si la valeur de la puissance actuelle P(k) du Panneau est supérieure à la valeur précédente P(k-1), alors on garde la même direction de Perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent.

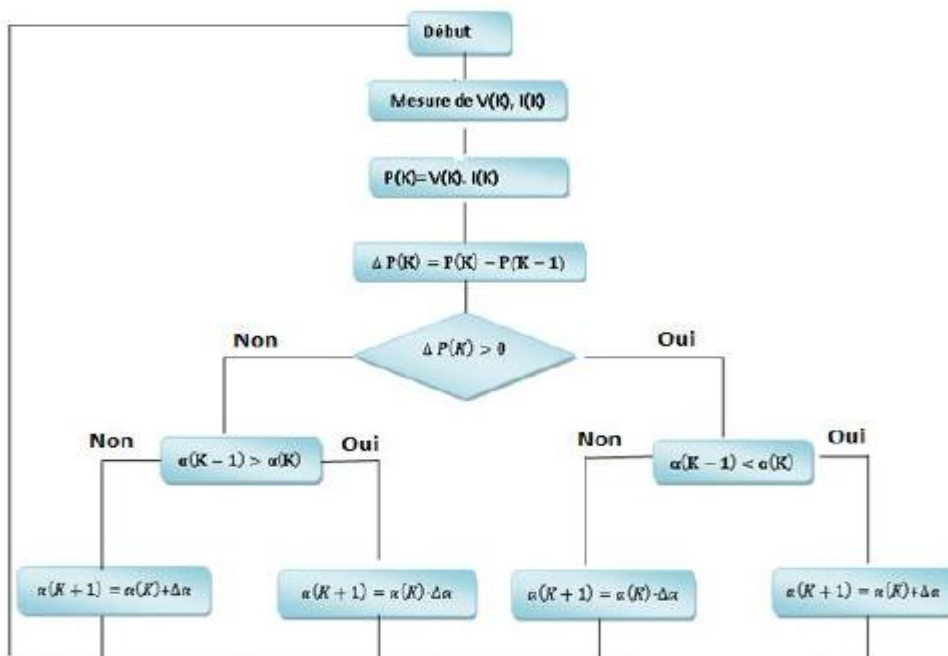


Figure (I-11) : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P & O)

I.5-Véhicule électrique à panneau solaire :

Une voiture solaire est une voiture électrique que l'on n'aurait plus besoin de brancher pour la recharger. Ce modèle de VE pose à son départ plusieurs contraintes durant sa Fonctionnalité tel que le rendement énergétique, la vitesse de déplacement très limitée et le couple d'attraction non satisfaisante ce qui nous oriente à une autre perspective technologique. Les derniers progrès réalisés dans le domaine des panneaux photovoltaïques et de leur intégration à la carrosserie de la voiture permettent d'envisager à court terme une Solution radicale à notre problématique d'environnement cause par le secteur de transport routier. La **VOITURE A PANNEAU SOLAIRE** reste un choix obligatoire moins coûteux et très rentable pour notre pays l'Algérie pour plusieurs raisons :

>**situation** géographique du pays : étant donné que la dure d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire du pays peut atteindre les 3900 heures /ans

>**La très grande surface** du pays tenant en considération les points éloignés et ces Approvisionnements en matière d'énergie.

>**situation** économique du pays et les charges très élevées envisagées

Vis-à-vis la politique d'engagement dans le secteur d'automobile à moteur thermique
Comment ça fonctionne ? .Plusieurs constructeurs ou start-up développent depuis quelques années la voiture électrique rechargeable au soleil grâce à des cellules photovoltaïques intégrées à la carrosserie de la voiture (toit et capot). L'utilisation de cette technologie dépend énormément de l'ensoleillement, de l'endroit où stationne l'automobile et même de

la propreté du véhicule.

1-5-1Véhicule /PV ETAT D'ART :

Comme notre étude est focalisée sur l'exploitation au maximum des énergies Renouvelable. Dans notre pays typiquement c'est l'énergie solaire. D'où l'intégration du GPV (générateur photovoltaïque) dans la construction d'automobile reste un effet Technologique.

Le leader constructeur chinois lance dans les dernières années un gigantesque projet dans

le but d'éliminer tout type de circulation du véhicule à moteur thermique au profit de l'électrique

A cause de niveau de pollution très élevé. **LA GREEN TOUR** était l'un des solutions principales de ce projet

Pour notre recherche on va accéder à une présentation d'une Plate forme pro type

D'un VE/PV

On préservant certain critère vis à vis cette perspective de recherche telle que :

*ce véhicule destiné préalablement au Grand consommateur public (transport urbain, taxi entreprise, administration,...)

Cette recherche destinée aussi à commander et optimiser le flux d'énergie du système VE /PV(charge ,décharge ,fonctionnement....)



Figure I-12 : Véhicule électrique à panneau solaire GREEN TOUR

La Green Tour peut emporter 4 passagers pendant 110 à 130 km à une vitesse maximale de 50 km/h. Sa batterie de 6 kWh, peut se recharger sur une simple prise domestique. par ailleurs un module photovoltaïque de 185 W, utilisant des cellules à haut rendement (24%)

I-5-2 État de l'art sur le photovoltaïque :

I-DEFINITION :

L'énergie solaire photovoltaïque présente l'avantage de pouvoir être installée n'importe où, Sur les toits des édifices, en verrière, et même sur les façades des immeubles en remplacement des matériaux de revêtement. C'est pourquoi de nombreux pays mettent en œuvre de vastes programmes d'équipement des bâtiments en capteurs d'énergie solaire Photovoltaïque, avec pour objectif la baisse des coûts de fabrication. L'utilisation de L'énergie solaire pour recharger Les véhicules électriques est l'une des options les plus

intéressantes pour éliminer toutes les émissions de CO₂ [33].

Un panneau photovoltaïque est constitué d'une série de cellules photovoltaïques.

Ces cellules sont formées d'un matériau semi-conducteur en deux couches, principalement à base de silicium, l'une dopée positivement (P) et l'autre négativement (N). Il s'agit donc d'une jonction PN. La figure 1.13 illustre le principe de fonctionnement d'une

Cellule photovoltaïque [mkahl -1], Lorsque un électron est arraché, un "trou" se forme à l'endroit où l'électron est arraché et se comporte comme une charge positive.

L'électron et le trou s'échappent de part et d'autre de cette jonction PN (les électrons vers N et les trous vers P), créant une différence de potentiel.

C'est ainsi qu'une cellule photovoltaïque produit du courant électrique continu

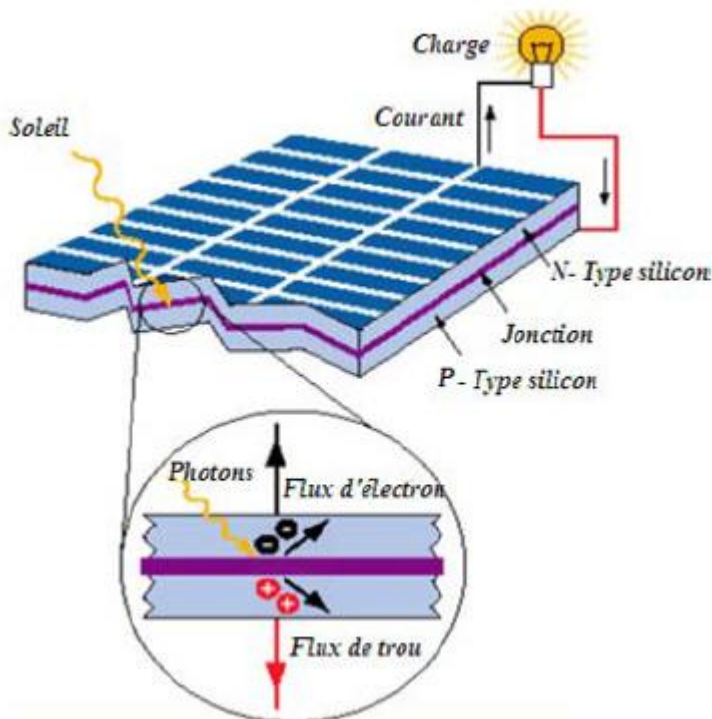


Figure 1.13– Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

II- Différents types de cellules PV :

Il existe différents types de cellules photovoltaïques en fonction des matériaux de fabrication utilisés. Nous citons, à titre d'exemple, silicium monocristallin, Silicium poly cristallines, et silicium amorphes. Ces différents types sont illustrés par la figure 1.14 présente [35].

	Avantages	Inconvénients
Silicium amorphe	<ul style="list-style-type: none">- fonctionne avec un éclairage faible- un peu moins chère que les autres techniques- intégration sur supports souples ou rigides	<ul style="list-style-type: none">- rendement faible en plein soleil, de 5% à 7%- surfaces importantes- performance diminuée avec le temps dès l'exposition à la lumière naturelle (3-6 mois)
Silicium monocristallin	<ul style="list-style-type: none">- bon rendement de 14% à 16%- nombre de fabricants élevé	<ul style="list-style-type: none">- coût élevé- baisse du rendement avec l'augmentation de la température
Silicium polycristallin	<ul style="list-style-type: none">- cellule carrée permettant un meilleur foisonnement dans un module- rendement de 9% à 11%- lingot moins cher à produire que le monocristallin	<ul style="list-style-type: none">- rendement faible sous un faible éclairage

Tableau 1.1 : Comparaison de trois types de cellules PV.

III-Le solaire photovoltaïque:

Avec le développement industriel, le problème de l'insuffisance d'énergie est de plus en plus aggravant. Les technologies des systèmes photovoltaïques (PV) se développent rapidement et ont un rôle croissant dans la technologie électrique et se considère comme l'énergie verte du nouveau siècle. Actuellement, des travaux sont réalisés sur les cellules (ou modules) et sur les systèmes PV afin d'améliorer les performances électriques des panneaux PV et réduire les pertes d'énergies dans les installations PV. Ceci réduit considérablement le coût des installations PV et encourage les citoyens à utiliser

IV-Le gisement solaire en Algérie:

Pour saisir la portée des énergies renouvelables en Algérie et les enjeux considérables et inépuisables existant de ces énergies non encore exploitées à

savoir le gisement solaire exceptionnel qui couvre une superficie de 2381745 Km² [07]

L'Algérie est l'un des pays qui ont une diversité de sites du à son grand secteur, où le rayonnement de la région près de la mer est influencé par les saisons. Les zones du nord de l'Algérie sont à ciel – couvert plus que ceux du sud. Les régions Sahariens reçoivent une quantité plus grande d'énergie mais sont caractérisées par une température de l'air plus élevée. En raison de cette diversité dans le climat, l'ensoleillement moyen global au plan horizontal reçu varie entre 4,5 et 7.5 kWh/m². En tenant compte de cette diversité, l'Algérie peut être divisée en 8 zones climatiques qui ont approximativement un ensoleillement homogène comme indiqué sur la figure (1.14).

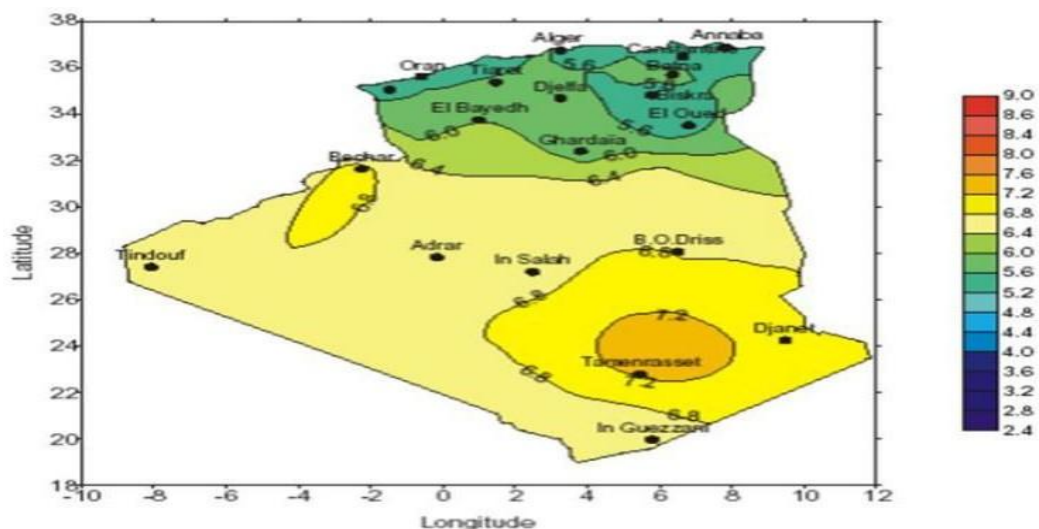


Figure 1. 14: La carte d'éclairement solaire de l'Algérie [Mis, 09].

Donc, Part sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, peut atteindre près de 3900 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara.

Le total d'énergie reçu est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la

CONCLUSION :

Ce chapitre a été consacré à la présentation du véhicule électrique et tous ses composants. Nous avons ainsi présenté les différentes parties composants la chaîne de traction du véhicule électrique.



Chapitre II :
Modélisation Du
Systeme De Véhicule
électrique



II-1. Introduction:

Dans ce chapitre on vas dimensionner et modéliser les principaux élément constituant le véhicule Electrique a panneau photovoltaïque

II-2. Modélisations du moteur de traction :

II-2.1. Description du phénomène de moteur:

Le domaine technique au quel se rapporte l'invention est le contrôle des groupes motopropulseurs électrique qu'on trouve sur les véhiculesélectrique. Sur un tel véhicule, le contrôle moteur électrique permet d'interpréter la volonté du conducteur (pédales d'accélérateur et de frein) en consigne de couple positive ou négative.

Cette consigne de couple moteur est ensuite transmise à l'électronique de puissance (onduleur,) qui assure l'élaboration des grandeurs de consigne électrique (tension et courant) correspondantes. Le moteur électrique assure la conversion de la puissance électrique en puissance mécanique. Et enfin le couple du moteur électrique est transmis aux roues par l'intermédiaire d'un éventuel réducteur (schéma suivant).

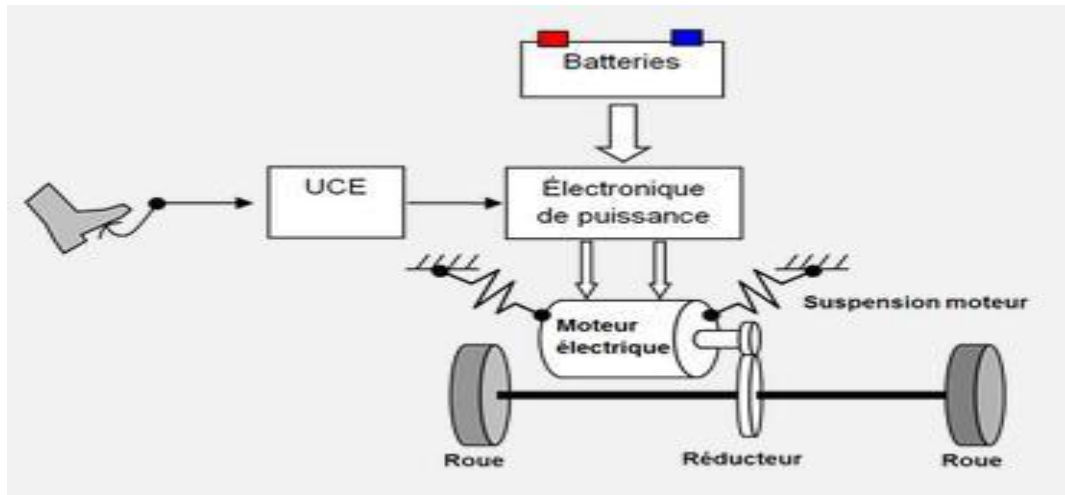


Figure (II.1): phénomène d'entraînement du moteur électrique

Cet ensemble d'organes électromécanique qui assure la transmission du couple de consigne conducteur aux roues est appelée chaîne de traction. Cette chaîne de traction, comme tous les systèmes physiques, est définie par un ensemble de grandeurs caractéristiques qui sont des inerties, et de l'électronique de puissance. Ces grandeurs définissent le comportement dynamique de la chaîne de traction. Elles impactent le comportement du véhicule lors des variations de la consigne de couple (donnée par le conducteur). Certaines configurations peuvent générer des oscillations, même pour des consignes de couple stables.

II. 2.2. Présentation de la machine synchrone à aimant permanent :

Dans la MSAP, l'inducteur est remplacé par des aimants, le champ d'excitation créé par les aimants permanents présente l'avantage d'éliminer les balais et les pertes rotoriques, la MSAP est largement utilisée dans plusieurs applications (tel que dans la traction électrique la robotique ...).

Selon les matériaux utilisés dans les aimants, on distingue deux types d'aimants permanents:

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

□ Les aimants <<rigides>> ou durs qui sont bien adaptés aux aimants modernes à cause des caractéristiques linéaires.

□ Les aimants <<peut rigide>> dont les caractéristiques non linéaires et les représentations associées sont plus complexes.

Et on peut distinguer trois grandes catégories de matériaux utilisés pour la réalisation des aimants permanents figure suivante :

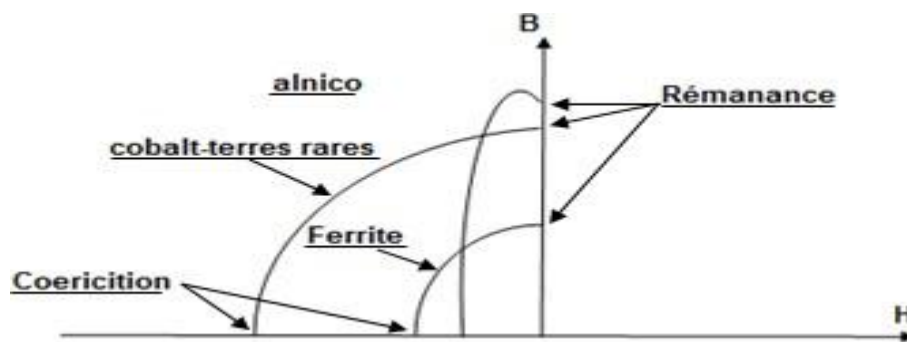


Figure (II.2): caractéristiques magnétiques de quelques matériaux

II. 2.3. Avantage et Inconvénient :

L'utilisation des aimants comme inducteur dans les machines synchrones offre par rapport aux autres types de machines, beaucoup d'avantages entre autres :

- Un facteur de puissance et un rendement élevé
- Une plus grande robustesse par rapport au moteur courant continu □

Une puissance massique élevée

□ Un développement technologique des composants de l'électronique de puissance et l'apparition des processeurs numériques à fréquence élevée et à forte puissance de calcul ont porté des solutions au problème de l'implantation d'algorithmes de commande de l'onduleur assurant ainsi l'autopilotage de la MSAP

- Une amélioration de la fiabilité due à l'absence de contacte balais-

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

bagues

- Une absence de pertes résistives au rotor
- Une possibilité d'obtenir une excitation sans pertes joules

Cependant, ils possèdent quelques inconvénients dont les plus importants sont :

- Une électronique de commande assez compliquée (nécessité d'un capteur de position)
- Un coût élevé à cause du prix des aimants
- Un problème de tenue à la température des aimants
- Une structure d'alimentation et de régulation complexe
- Des ondulations de couple dues aux harmoniques en régime des basses vitesses.

Les caractéristiques principales des machines à aimants permanents dépendent directement de la qualité de l'aimant permanent utilisé, la puissance électrique est directement proportionnelle à la densité d'énergie dans l'entrefer.

Dans la MSAP, le champ du flux rotorique Ψ_r est considéré comme constant, et l'effet de saturation est négligeable, suite aux propriétés physiques de l'aimant.

Suivant la position géométrique de l'aimant dans la machine, on distingue deux types de machines :

a). la machine à pôles lisses où l'aimant est monté sur la surface du rotor, l'entrefer effectif large obtenu a pour conséquences d'atténuer les effets de saillance et de réaction d'armature.

b). la machine à pôles saillants où l'aimant est insérée dans la matière du rotor.

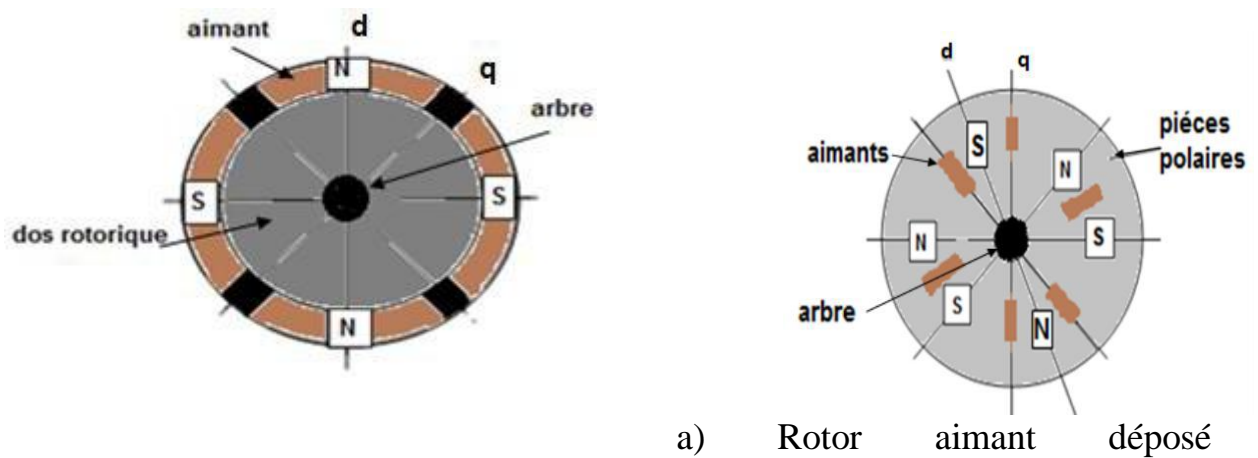


Figure (II.3): structure d'inducteur à aimant permanent dans les machines synchrones

II. 2. 4. Principe de fonctionnement d'une MSAP :

Le stator est alimenté par une tension triphasée équilibrée créant dans l'entrefer un champ tournant, ce dernier a tendance à attirer le rotor, qui est constitué d'aimants permanents produisant un champ tournant d'induction. Les champs d'induction créés par le rotor et le stator ont tendance à s'aligner et un couple d'origine électromagnétique se crée. Le rotor se met à tourner à une vitesse angulaire (Ω), cette dernière est liée au nombre de paires de pôles (p) et à la pulsation (ω) qui est égale à celle du champ tournant, ce qui justifie la nomination de machine synchrone.

II. 2. 5. les hypothèses simplificatrices :

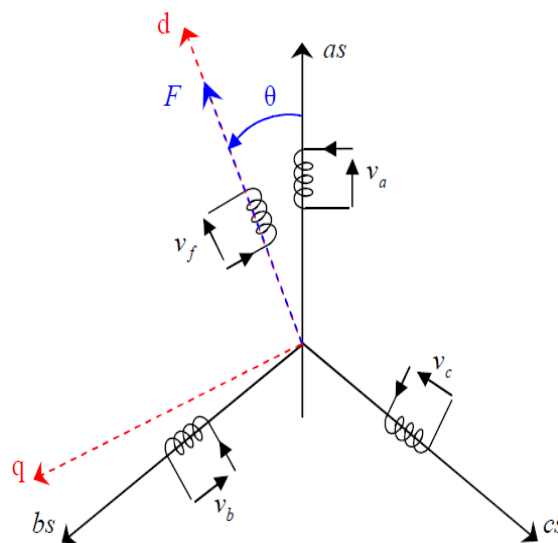
L'étude du fonctionnement de la machine s'avère délicate et complexe à cause de la formulation mathématique non linéaire et complexe de certains phénomènes (saturation, courant de Foucault, hystérésis etc). D'où la nécessité de les négliger en adoptant des hypothèses simplificatrices :

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

- Le circuit magnétique n'est pas saturé et parfaitement feuilleté. Donc cela permet de négliger les courants de Foucault.
- La distribution de la f.e.m est sinusoïdale, le long de l'entrefer.
- Le système électrique d'alimentation est assimilé à une source triphasée délivrant des tensions symétriques et équilibrées.
- La machine est considérée comme une charge équilibrée.
- La densité du courant dans les sections des conducteurs est uniforme.
- Les inductances propres sont constantes.
- Les flux sont additifs.

II. 2.6. Modélisations de la machine à aimant permanent :

La représentation de la machine synchrone à aimant permanent dans le repère de Park (d,q) lié au rotor est indiqué sur la figure (II.4):



Figure(II.4) : Schéma de la machine synchrone à aimant permanent

II. 2. 6.1. Les équations électriques:

De la figure précédente, les équations électriques du modèle de

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

la machine synchrone triphasée s'écrivent comme suit:

$$[V_s] = R_s [I_s] + \frac{d}{dt} [\Psi_s] \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix};$$

R_s : résistance par phase statorique;

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

$[V_s] = [V_a \ V_b \ V_c]^T$ Vecteur tensions des phases statoriques

$[\Psi_s] = [\Psi_a \ \Psi_b \ \Psi_c]^T$ Vecteur flux des phases statoriques

$[I_s] = [i_a \ i_b \ i_c]^T$ Courants des phases statoriques

II. 2. 6.2. Les équations magnétiques :

$$\Psi_s = [L_{ss}][I_s] + [M_{sf}][I_f];$$

$$\text{avec : } [L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c \end{bmatrix}; \quad (\text{II.2})$$

L_{ss} : Inductance mutuelle du stator sous forme matriciel

$[\Psi_{sf}] = [\Psi_{af} \ \Psi_{bf} \ \Psi_{cf}]^T$ Vecteur des flux créé par l'aimant a travers l'enroulement statorique

$$[M_{sf}] = [M_f] * \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta - 4\pi/3) \end{bmatrix}; \quad [M_{sf}] = [M_{fs}]^T;$$

$[M_{sf}]$: est le matrice inductance qui correspond au couplage entre le rotor et le stator.

II.2.6.3 Les équations mécaniques :

L'étude des caractéristique de la machine synchrone à aimant permanent fait introduire de la variation non seulement les paramétrés électriques, mais aussi des paramètres mécanique (couple et vitesse).

L'équation du mouvement de la machine s'écrite comme suite :

$$C_e - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (\text{II. 3})$$

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

Ω : la vitesse de rotation mécanique de la MSAP

J : le moment d'inertie du moteur

f : le coefficient de frottement visqueux

C_e : le couple électromagnétique délivré par le moteur

C_r : le couple résistant ou de charge

II. 2. 7. Mise en équation de la MSAP en diphasé :

II. 2. 7. 1. Principe de la transformation de Park :

Les modèles des machines électriques les plus utilisés sont basés sur la théorie unifiée des machines électriques. Cette théorie est basée sur la transformation de Park, qui rapporte les équations électriques et rotoriques à un système cartésien d'axes (dq).

Dans le repère classique il y a trois axes (a_s, b_s, c_s) orientés suivant les axes des trois enroulements statorique de la machine. D'habitude, l'axe a_s est considéré comme référence pour les transformations ultérieures. Quant au rotor, on a toujours un seul axe (correspondant à la direction de l'aimantation) pour la machine synchrones à aimants permanents θ donne la position du rotor par rapport au stator.

Les trois enroulements du stator peuvent être remplacés par deux enroulements fictifs à $\pi/2$ dans l'espace et alimentés par des courants à $\pi/2$ dans le temps. Les deux enroulements virtuels sont disposés sur les l'axes d et q , où dans le cas de la MSAP l'axe d est Orienté suivant le rotor, c'est-à-dire suivant la direction de l'aimantation. Pour passer du système triphasé, abc , au système biphasé (d q), (réciproquement) il faut utiliser les transformations suivantes:

$$[V_{abc}] = [p(\theta)][V_{dqo}] \quad (\text{II.4})$$

$$[V_{dqo}] = [p(\theta)]^{-1}[V_{abc}] \quad (\text{II.5})$$

Le système dq sera utilisé dans la commande vectorielle des machines électriques. Dans le système dq , les grandeurs électriques sont de type continu, ce qui donne la possibilité de faire une commande similaire à la commande des machines à courant continu.

II. 2. 7. 2. Transformation de Concordia :

Si on pose $\theta=0$ dans les équations (II.8 et II.9), les matrices de Park deviennent les matrices de Concordia :

$$[C] = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & +\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}; [C]^{-1} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{2} & +\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix};$$

Les transformations de Concordia sont utilisées pour faire le passage entre le système triphasé, abc , et un système biphasé (dq).

$$[V_{abc}] = [P(\theta)] * [V_{dq}];$$

$$[V_{dq}] = [C]^{-1} * [V_{abc}];$$

II. 2. 8. Modélisation de moteur synchrone à aimant permanent dans le plan de Park :

En appliquant la transformation de Park au système d'équation, on peut exprimer tous les vecteurs dans un repère lié au rotor.

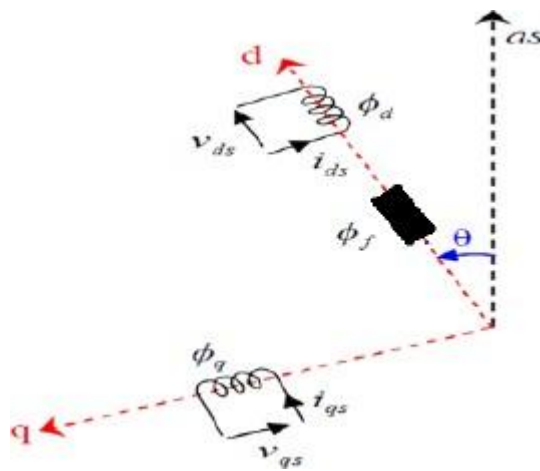


Figure (II.5): Schéma équivalent d'une (MSAP) dans le repère (d,q)

D'après le schéma on obtient les équations suivantes :

II. 2. 8.1. Equations électriques :

$$\begin{cases} V_d = R_s * I_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_r * \Psi_q \end{cases} \quad (\text{II.7})$$

$$\begin{cases} V_q = R_s * I_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_r * \Psi_d \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

II. 2. 8.2. Equations magnétiques :

Les équations des flux peuvent s'écrire comme suite :

$$\begin{cases} \Psi_d = L_d * I_d + \Psi_f \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

$$\begin{cases} \Psi_q = L_q * I_q \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

Ψ_d : Constante indiquant le champ dû à l'aimantation permanente du rotor Sur l'axe q :

Après le remplacement des deux équations des flux dans (II. 8 et II. 9) le modèle de la MSAP peut s'écrire sous la forme:

$$\begin{cases} V_d = R_s * I_d + L_d * \frac{dI_d}{dt} - W_r * L_q * I_q \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

$$\begin{cases} V_q = R_s * I_q + L_q \frac{dI_q}{dt} + W_r * (L_d * I_d + \Psi_f) \end{cases} \quad (\text{II.13})$$

$$\begin{cases} \frac{dI_d}{dt} = \frac{1}{L_d} (V_d - R_s * I_d + W_r * L_q * I_q) \end{cases} \quad (\text{II.14})$$

$$\begin{cases} \frac{dI_q}{dt} = \frac{1}{L_d} (V_q - R_s * I_q - W_r * L_d * I_d - W_r * \Psi_f) \end{cases} \quad (\text{II.15})$$

II.2.8.3. Expression du couple électromagnétique :

Le couple électromécanique C_{em} est produit par l'interaction entre les pôles formés par les aimants au rotor et les pôles engendrés par la f.m.m dans l'entrefer généré par les courants statorique. Et selon Park, l'expression de la puissance transmise est la suivante:

$$p(t) = \frac{3}{2} * (V_d * I_d + V_q * I_q) \quad (\text{II. 16})$$

On remplace V_d et V_q par leurs équations, on obtient :

$$p(t) = \frac{3}{2} * [R_s(I_d^2 + I_q^2) + (I_d \frac{d\Psi_d}{dt} + I_q \frac{d\Psi_q}{dt}) + \frac{d\theta}{dt} (\Psi_d * I_q - \Psi_q * I_d)] \quad (\text{II. 17})$$

$\frac{3}{2} * R_s(I_d^2 + I_q^2)$ Représente la puissance dissipée en pertes joules .

II. 3. 1 Classification des onduleurs :

Il existe plusieurs centaines de schémas d'onduleurs, chacun correspondant à un type d'application déterminé ou permettant des performances recherchées. Les onduleurs sont en général classés selon les modes de commutation de leurs interrupteurs.

II. 3. 1. a. Onduleur autonome :

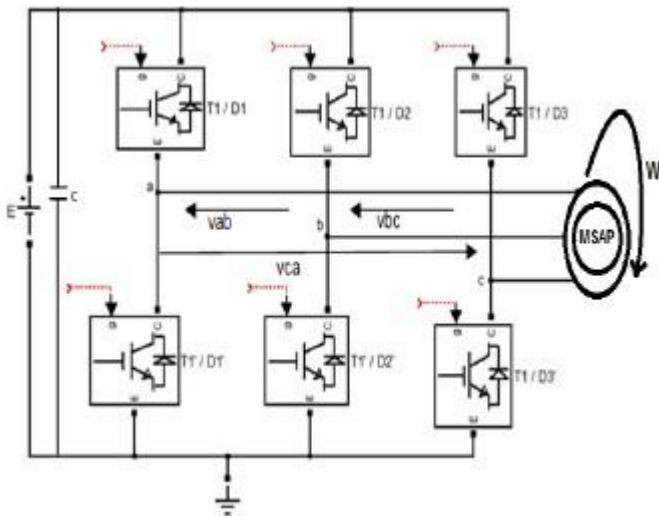
C'est un système qui nécessite des composants commandés à la fois à la fermeture et à l'ouverture, de fréquence variable, dont les instants de commutations sont imposés par des circuits externes la charge est quelconque cet onduleur n'est pas réversible.

II. 3. 1. b. Onduleur non autonome :

Dans ce cas, les composants utilisés peuvent être de simples thyristors commandés uniquement à la fermeture et la commutation est «naturelle » contrairement à l'onduleur autonome. L'application principale de ce type d'onduleur se trouve dans les variateurs pour moteurs synchrones de très forte puissance où les thyristors sont souvent les seuls composants utilisables.

II. 3. 2. Onduleur de tension :

Lorsqu'il fonctionne en source de tension, le redresseur fournit une tension constante à l'onduleur à partir de la batterie du véhicule. La présence d'un condensateur dans le circuit de liaison aide alors à maintenir une tension constante à l'entrée de l'onduleur. Pour réaliser des onduleurs destinés à alimenter une charge ordinaire d'impédance très variable à partir d'un redresseur, on choisit des onduleurs de tension Figure(II.6).



La figure II.6 schéma d'un onduleur triphasé alimentant le MAS

L'onduleur de tension est constitué de trois bras de commutation à transistors. Chaque bras composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor. Tous ces éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux.[9]

En mode command-able, le bras est un commutateur à deux positions qui permet d'obtenir à la sortie deux niveaux de tension. Un bras de l'onduleur est représenté par la figure (II.7).

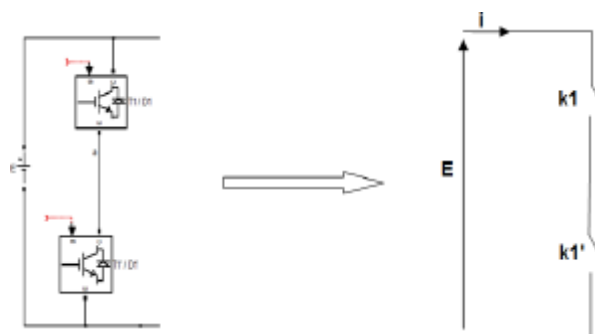


Figure (II.7) : schéma d'un bras d'onduleur

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

Le schéma équivalent de l'onduleur est représenté par la figure (II.8)

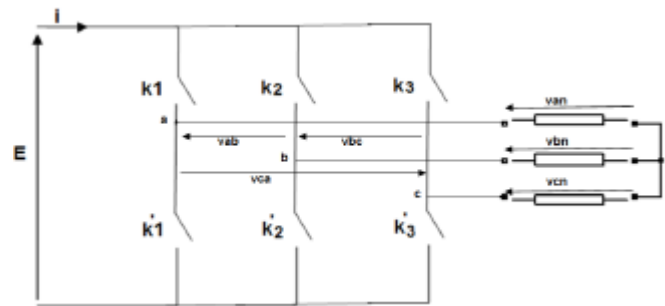


Figure (II.8) Schéma équivalent d'onduleur

L'onduleur se modélise en associant à chaque bras une fonction logique F qui détermine ses états de conduction :

$$F1 = \begin{cases} 1 & \text{si } K1 \text{ est fermé et } k'1 \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{si } K1 \text{ est ouvert et } k'1 \text{ est fermé} \end{cases}$$

$$F2 = \begin{cases} 1 & \text{si } K2 \text{ est fermé et } k'2 \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{si } K2 \text{ est ouvert et } k'2 \text{ est fermé} \end{cases}$$

$$F3 = \begin{cases} 1 & \text{si } K3 \text{ est fermé et } k'3 \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{si } K3 \text{ est ouvert et } k'3 \text{ est fermé} \end{cases}$$

Avec $(K1, K'1)$, $(K2, K'2)$, $(K3, K'3)$ ont des commandes complémentaires

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = f(E, F1, F2, F3)$$

$$F1 = \begin{cases} 1 & V_{K1} = 0 \\ 0 & V_{K1} = E \end{cases}$$

$$F2 = \begin{cases} 1 & V_{K2} = 0 \\ 0 & V_{K2} = E \end{cases}$$

$$F3 = \begin{cases} 1 & V_{K3} = 0 \\ 0 & V_{K3} = E \end{cases}$$

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

$$\begin{cases} V_{K1} = E(1 - F1) \\ V_{K2} = E(1 - F2) \\ V_{K3} = E(1 - F3) \end{cases} \quad \text{ET} \quad \begin{cases} V_{ab} = V_{k2} - V_{K1} \Rightarrow V_{ab} = E (F1 - F2) \\ V_{bc} = V_{K3} - V_{K2} \Rightarrow V_{bc} = E (F2 - F3) \\ V_{ca} = V_{K1} - V_{K3} \Rightarrow V_{ca} = E (F3 - F1) \end{cases}$$

On peut les écrire sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = E * \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix}$$

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} \tag{S1}$$

(S2)

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} \tag{S3}$$

(S4)

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}$$

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0$$

$$(1)-(3) \Rightarrow V_{an} = \frac{1}{3} (V_{ab} - V_{ca})$$

$$(2)-(1) \Rightarrow V_{bn} = \frac{1}{3} (V_{bc} - V_{ab})$$

$$(3)-(2) \Rightarrow V_{cn} = \frac{1}{3} (V_{ca} - V_{bc})$$

Sous forme matricielle

(S1) dans (S2):

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} \tag{S2}$$

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

Avec E : est la tension d'alimentation continue de l'onduleur.

II. 4. Modélisation dynamique du Véhicule :

II. 4. 1. Environnement de véhicule :

Il s'agit de modéliser l'environnement du véhicule à travers le couple résistant appliqué au moteur électrique (terme 'Cr' de l'équation mécanique de la machine.). Celui-ci dépend entre la vitesse de la machine mesurée en tr/min et de la pente de la route. Nous prendrons également en compte la vitesse du vent (figureII.9)

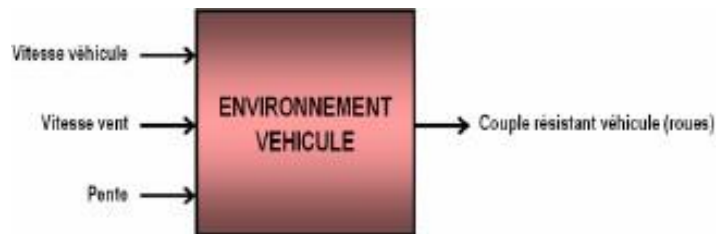


Figure II.9 Entrées-sorties du modèle d'environnement du véhicule L'expression du couple

résistant appliqué au véhicule (plus précisément aux roues est :

$$(Cr)_{roues} = \left[\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_f \cdot C_x \cdot (V_{veh})^2 + CRR_{moy} \cdot M \cdot g + M \cdot g \cdot P\% + M \cdot \gamma \right] \cdot Rr \quad (II.21)$$

Avec :

- ρ : masse volumique de l'air (1.28Kg/m³)
- S_f : section frontale du véhicule[m²]
- C_x : coefficient de pénétration dans l'air (entre 0.3 et0.4)
- V_{veh} : vitesse véhicule [m/s]
- CRR_{moy} : coefficient de résistance au roulement entre (0.01 et0.015)
- M : masse de véhicule[Kg]
- γ : accélération du véhicule[m/s²]

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

– R_r : rayon de la roue [m]

Ces forces et leur action sur le véhicule sont résumées sur le schéma suivant :

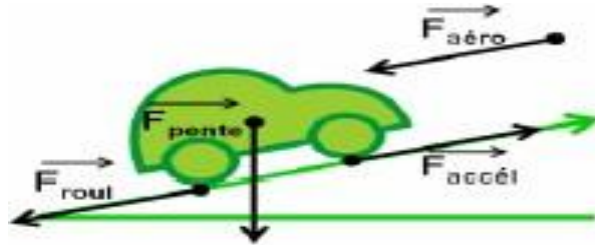


Figure II.10 force appliquées sur le véhicule

On déduit de l'expression ci-dessus le couple résistant appliqué à la machine dans le cas d'un réducteur sans perte :

$$(Cr)_{machine} = \frac{(Cr)_{roues}}{n} \quad (II. 22)$$

Avec n : rapport de réduction

$$(Cr)_{machine} = \left[CRR_{moy} \cdot M \cdot g + \rho \cdot \frac{\left(\frac{\Omega_{machine}}{n} \cdot R_r \right)^2}{2} \cdot C_x \cdot S_f + M \cdot g \cdot p\% \right] \cdot \frac{R_r}{n} \quad (II. 23)$$

La figure II.11 fournit un ordre de grandeur de la valeur du couple résistant appliqué à la machine de traction à vitesse stabilisée en fonction de la pente et de la vitesse du véhicule.

Force pour vaincre une pente à $p\%$:

Dans le jargon routier une pente à $x\%$ correspond à une montée de x mètre tous les 100 mètres (réellement) parcouru par le véhicule. Figure(II.11).

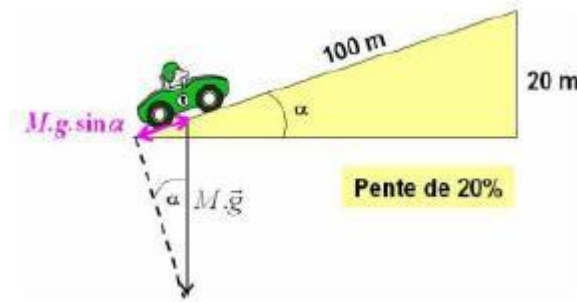


Figure II.11 : définition de la pente

$$P[0 1] = \frac{20}{100} = \sin\alpha \text{ d'où } F_{\text{pente}} = M \cdot g \cdot \sin\alpha = M \cdot g \cdot p\% \quad (\text{II. 24})$$

Force liée à l'accélération : correspondant :suppression du terme

L'équation mécanique considérée pour la machine électrique est la suivante :

$$J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = C_e - C_r - C_{mecca} \quad (\text{II. 25})$$

Cette équation fait déjà intervenir l'accélération de la machine (et donc du véhicule).

Le terme $J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$ de l'équation mécanique étant redondant avec le terme $M \cdot g \cdot \sin\alpha$ de l'expression du couple résistant, en sortant le terme lié à l'accélération du terme de couple résistant.

Force aérodynamique : prise en compte de la vitesse du vent :

La force aérodynamique s'écrit

$$F_{aero} = \rho \cdot \frac{(V_{veh})^2}{2} \cdot C_x \cdot S_f \quad (\text{II. 26})$$

Chapitre II: Modélisation du système de véhicule électrique

Pour prendre en compte l'influence de la vitesse du vent sur le placement du véhicule, nous remplaçons la vitesse (déduite de la vitesse de rotation de la machine au rapport de réduction près), qui est en fait une vitesse relative, par la vitesse réelle du Véhicule :

$$\text{Avec : } V_{\text{véhicule réelle}} = V_{\text{véhicule}} - V_{\text{vent}}$$

$V > 0$ si le vent s'oppose déplacement du véhicule

$V > 0$ si le vent et le véhicule se déplacent dans le même sens roulement est due à la liaison pneumatique-sol. L'expression de cette force dépend uniquement de la masse et d'un coefficient constant CRR_{moy} . La vitesse du véhicule n'est pas prise en compte.

Afin de prendre en compte la vitesse du véhicule, nous utiliserons la forme simplifiée suivante:

$$F_{\text{roul}} = M \cdot g \cdot \cos\alpha \cdot (a + b \cdot V_{\text{veh}})^2 \quad (\text{II. 28})$$

Avec : a et b deux coefficients à déterminer (qui dépendent de la pression des pneus, de l'état et du type de la chaussée)

II. 4. 2. Choix du réducteur dans la transmission électrique:

Un moteur électromagnétique a un volume et une masse fonctions de son couple aussi pour réduire la masse embarquée et le coût de la motorisation, on préfère généralement associer le moteur à un réducteur mécanique de rapport de réduction n. Ceci permet de réduire le couple que doit fournir le moteur en augmentant sa vitesse de rotation. Pour un rendement parfait de la transmission mécanique, le couple C_e que doit délivrer le moteur et sa vitesse de rotation Ω_e

$$C_e = \frac{C_r}{n} \quad \text{et} \quad \Omega_e = n \cdot \Omega_r$$

Ainsi, a priori, on a tout intérêt à maximiser la vitesse du moteur électrique

II. 5. Conclusion:

Ce chapitre nous a permis d'établir un critère de choix pour l'emplacement du repère d'axe de la transformation de Park lors de la modélisation de la machine en tenant compte des hypothèses simplificatrice, ainsi la modélisation dynamique du véhicule électrique et convertisseur statique tel que l'onduleur de tension.



Chapitre III

Simulation et Résultat

De Simulation



Chapitre III : Simulation et Résultat de Simulation

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats de simulation. On va commencer par les caractéristiques du GPV qui montre l'influence de la température et l'ensoleillement sur le comportement du courant, la tension et la puissance du système photovoltaïque. Ensuite, on va présenter les grandeurs du système PV avec le système de stockage. Préalablement, nous procédant à présenter également le comportement dynamique du moteur MSAP alimenté par la batterie permanente. A la fin de ce chapitre, les résultats du comportement dynamique de système global du véhicule seront présentés et interprétés.

III. 2. Modèle de la cellule sous Matlab/Simulink :

Pour simuler le fonctionnement, nous avons utilisé l'environnement Matlab/Sim Power System. Le module photovoltaïque choisi est « KC200GT ».

Ce dernier est composé de 54 cellules solaires poly cristallines poly cristallines pour produire une puissance maximale de 200,143 W. Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont résumées dans le tableau ci-après:

Chapitre III : Simulation et Résultat de Simulation

I_{mp}	7,61 A
V_{mp}	26,3
P_{max}	200,143 W
I_{sc}	8,21 A
V_{oc}	32,9 V
K_v	-0,1230 V/K
K_i	0,0032 A/K
N_s	54

Tableau III. 1 Caractéristiques électriques du module photovoltaïque « KC200GT »

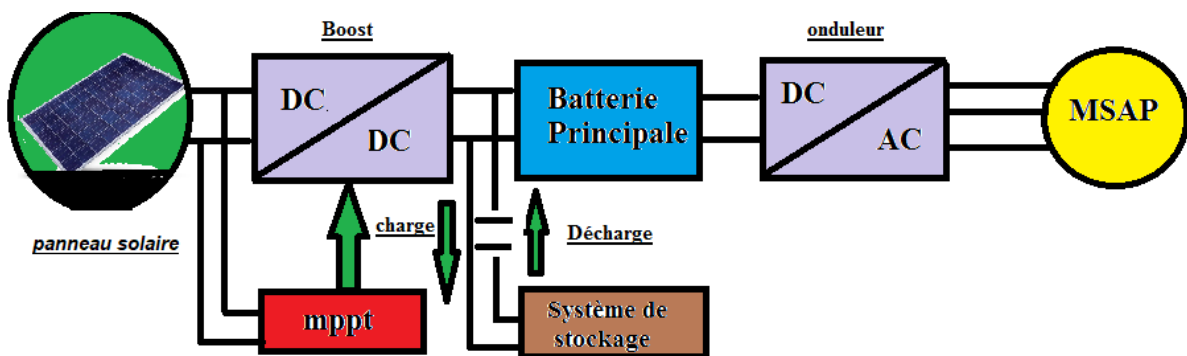


Figure III. 1 Schéma bloc du système de véhicule électrique à panneau solaire.

III.3. Résultats des simulations:

- **Test1 : Système photovoltaïque (PV avec le boost):**

Trois scénarios différents seront effectués avec la méthode de tracking (MPPT-PO), le premier scénario est réalisé avec des conditions atmosphériques constantes, le deuxième scénario est réalisé pour un changement de température et le troisième pour un changement d'ensoleillement.

III. 3. 1. Scénario I: et constants :

Dans ce test la température et l'ensoleillement sont maintenus constants (1000 W/m^2 , 25° C). Ce test vise à évaluer le décalage du point de fonctionnement par rapport au point MPP. Il sert aussi à évaluer les pertes dues aux oscillations autour de ce point.

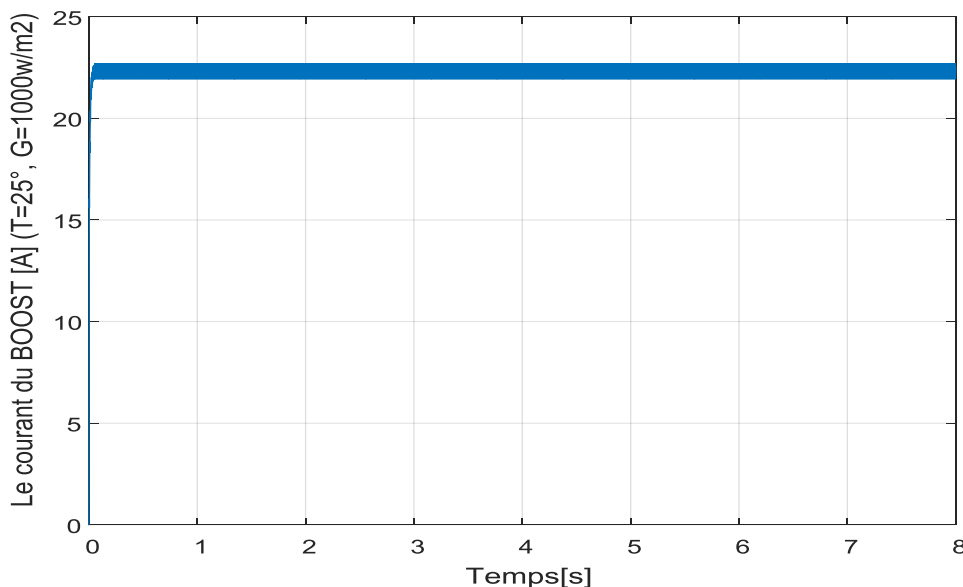


Figure III. 2 Courant de sortie du Boost.

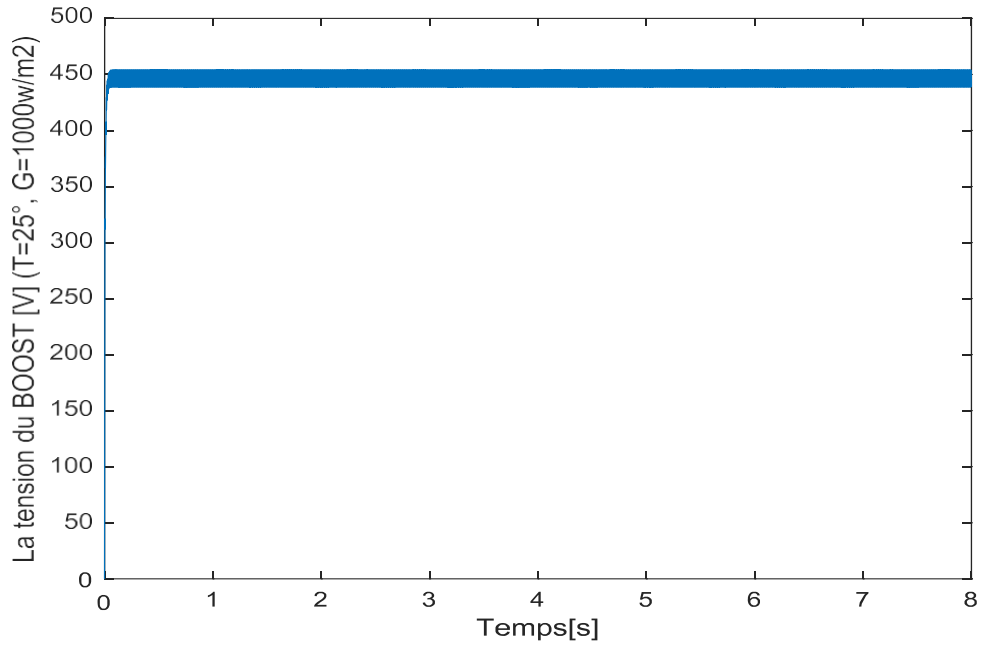


Figure III. 3 Tension de sortie du Boost

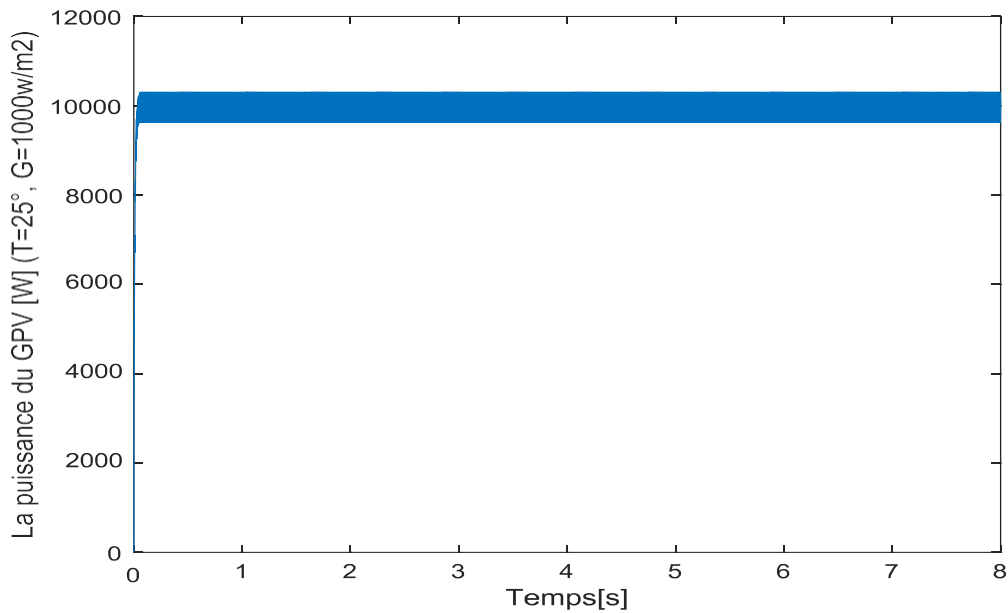


Figure III. 4 Puissance de sortie du Boost.

III.3. 2. Scenario II: constante et variable:

Dans ce test on suppose que la température est constante et égal à 25°C et l'ensoleillement est varié d'une valeur de 1000W/m^2 à une valeur de 800W/m^2 .

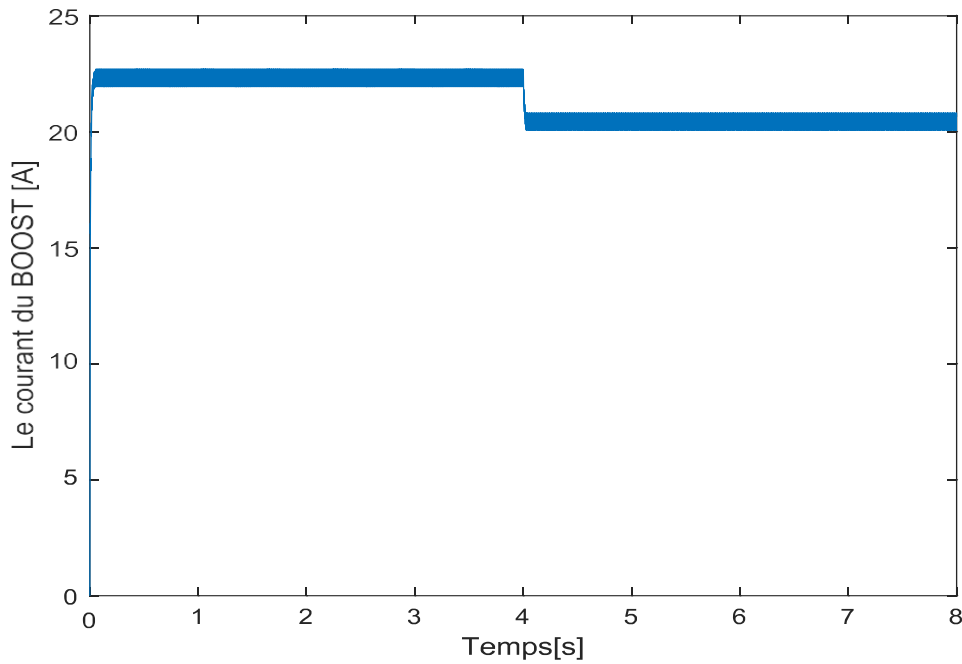


Figure III. 5 Courant de sortie duBoost

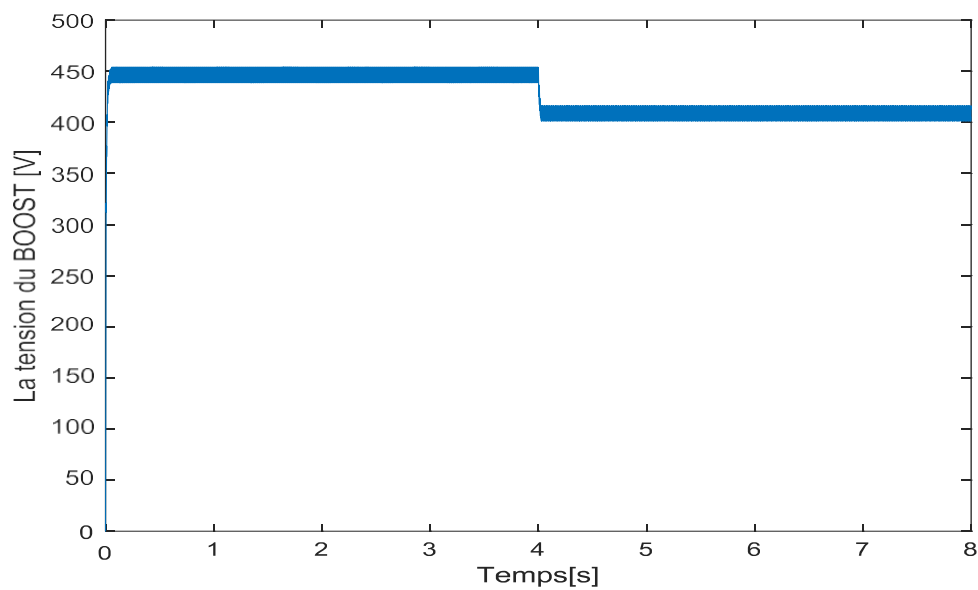


Figure III. 6 Tension de sortie duBoost.

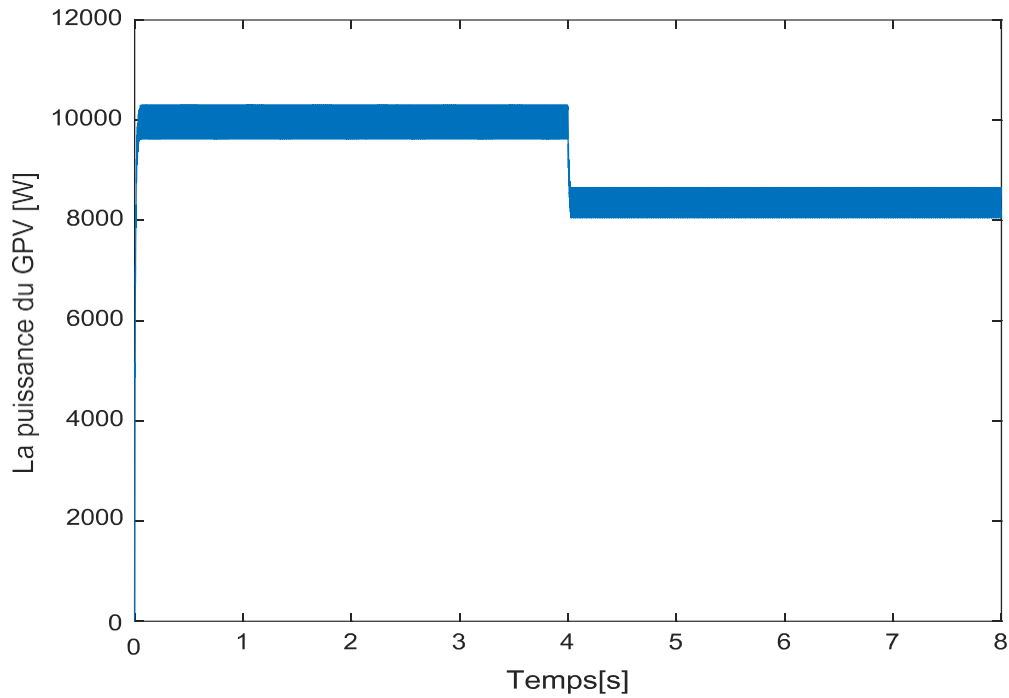


Figure III. 7 Puissance de sortie du Boost.

III. 3. 3. Scenarior III :

Dans ce test on suppose que l'ensoleillement est constant et égal à 1000W/m^2 et la température est variée d'une valeur de 25°C à une valeur de 35°C .

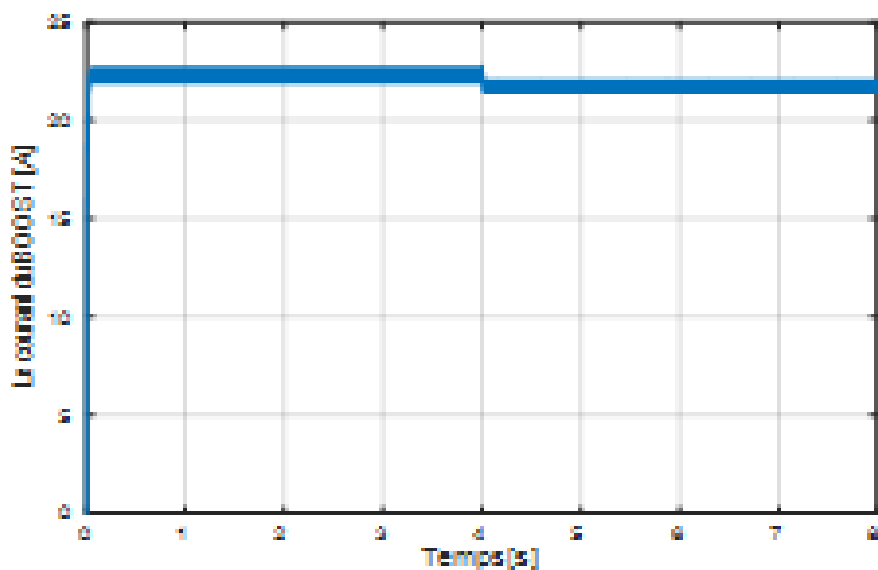


Figure III. 8 Courant de sortie du Boost.

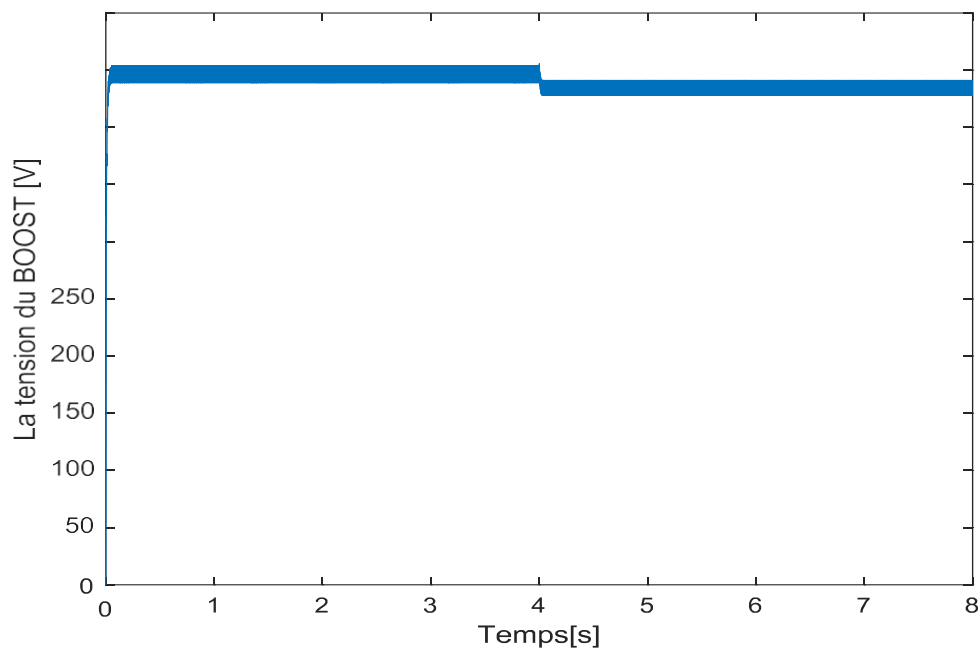


Figure III. 9 Tension de sortie du Boost

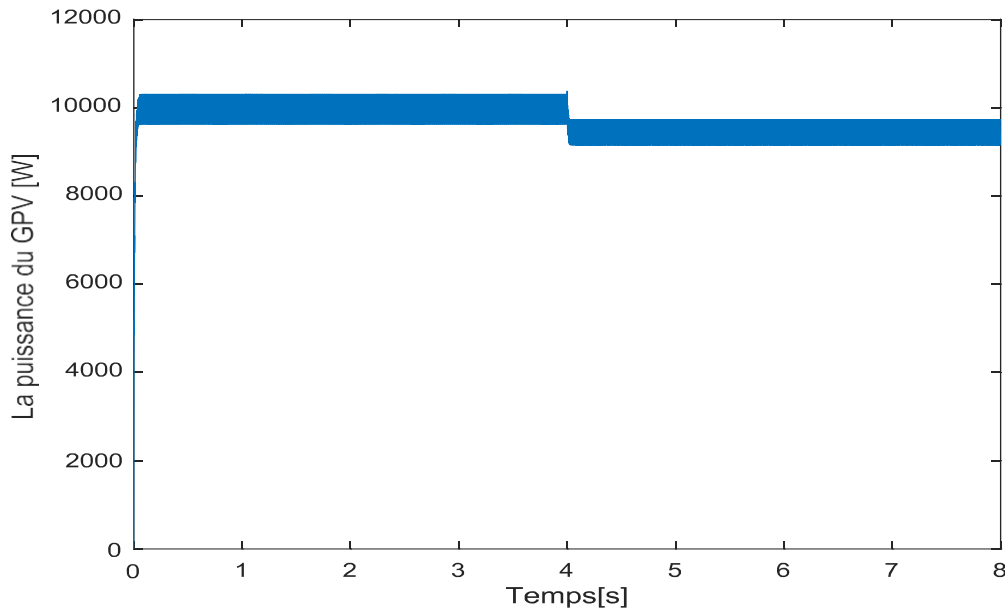


Figure III. 10 Puissance de sortie du Boost.

Les figures 3.1 jusqu'à 3.3 illustrent respectivement le comportement du courant, la tension et la puissance du système PV à base d'un boost commandé par la technique d'optimisation (MPPT-PO) et avec des conditions atmosphériques constantes (température et l'ensoleillement). On peut constater qu'après un régime transitoire, les allures des trois grandeurs commencent à se stabiliser autour de leurs valeurs nominales avec des oscillations et avec un temps de réponse très acceptable.

Pour le deuxième scénario et d'après les figures 3.4 jusqu'à 3.6, on remarque qu'à l'instant de diminution de l'éclairement, les trois grandeurs sont diminuées.

Pour le troisième scénario et d'après les figures 3.7 jusqu'à 3.9, on remarque qu'à l'instant d'augmentation de la température, notre système réagit pour une variation de ces trois grandeurs.

Chapitre III : Simulation et Résultat de Simulation

On peut constater aussi, que les trois grandeurs, présentent des oscillations qui sont dues sans doute au phénomène de chattering du convertisseur BOOST et la technique MPPT-PO.

- **Test 2 : Système PV avec le boost et le système de stockage:**

Dans le test précédent, on a expliqué et analysé le fonctionnement et la robustesse du MPPT basé sur la technique P&O

Dans ce test, on va présenter le comportement dynamique du système PV avec le système de stockage pendant la charge et la décharge.

La figure 3.10 illustre la variation des trois puissances, la puissance produite par le GPV, la puissance de la charge et la puissance de la batterie. On remarque que la variation de la puissance de la batterie dépend de la variation de la puissance de la charge, et la puissance produite par le générateur photovoltaïque est constante. Ceci montre que la batterie fonctionne comme une source auxiliaire qui assure l'alimentation de la charge en cas de l'insuffisance de la source GPV.

On peut constater aussi que pendant la première phase $t=[0, 6s]$, la puissance du GPV est supérieure à celle de la charge ; donc le surplus d'énergie est utilisé pour charger la batterie (voir la figure 3.10), et on remarque que pendant la phase $t=[6, 8s]$, la puissance du GPV est égale à celle de la charge ce qui explique que la puissance de la batterie dans cette période est nulle. Pour le reste de la période $t=[8, 20s]$, la puissance du GPV est inférieure de celle de la charge, c'est pour cela on constate que la variation de la puissance de la batterie suit la variation de celle de la charge, comme le montre la figure 3.10.

La figure 3.12 et 3.13 présentent respectivement le courant et la tension de la batterie. On peut constater que le courant de la batterie est l'image de sa puissance, et on remarque d'après la figure 3.13, que pendant la première phase

Chapitre III : Simulation et Résultat de Simulation

$t = [0, 6s]$, y a une légère augmentation de la tension (état de charge) et pendant la phase $t = [8, 20]s$ nous remarquons une diminution de la tension (état de décharge).

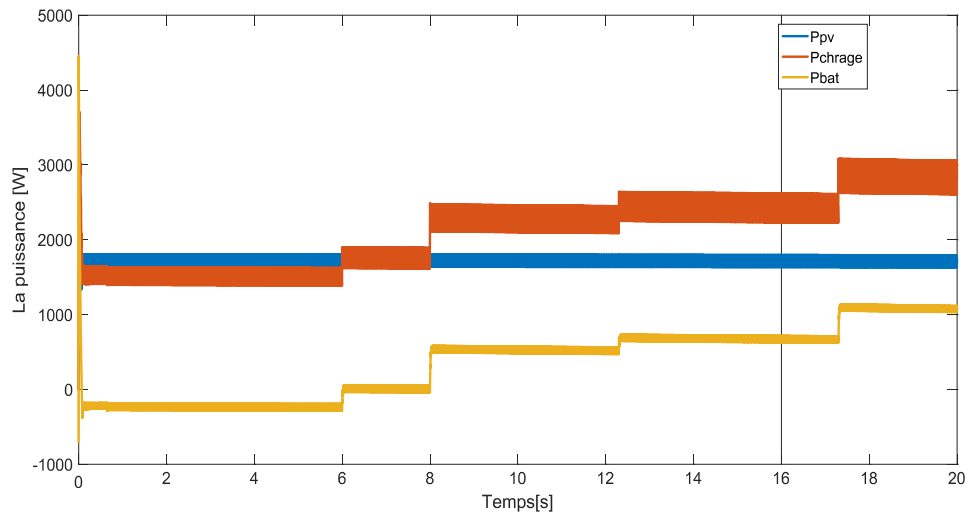


Figure III. 11 Variation des puissance

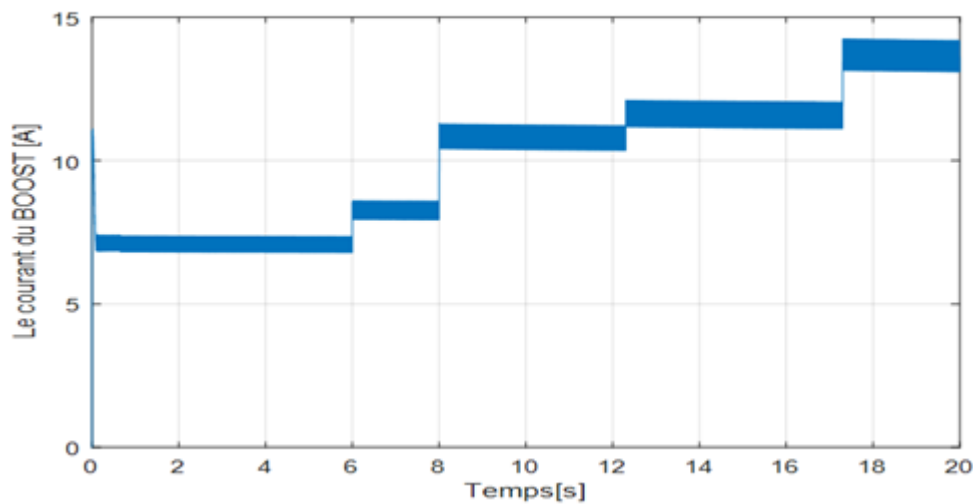
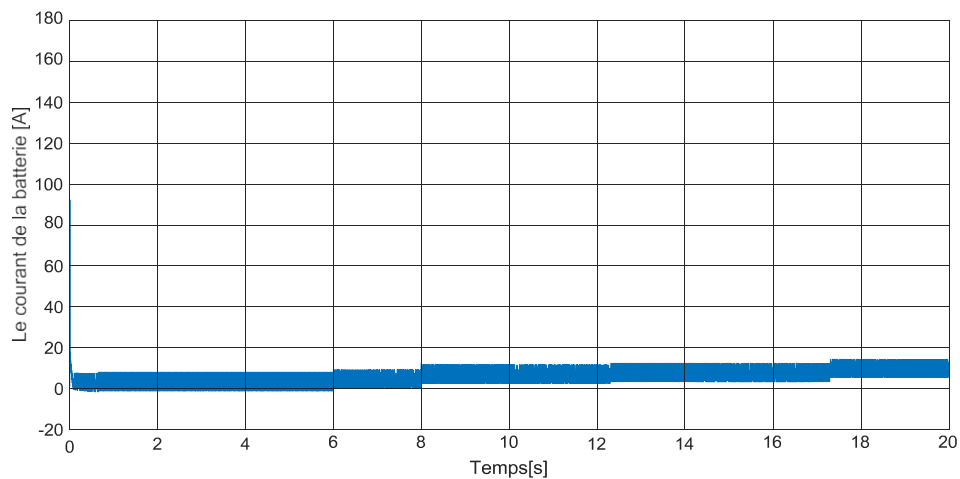
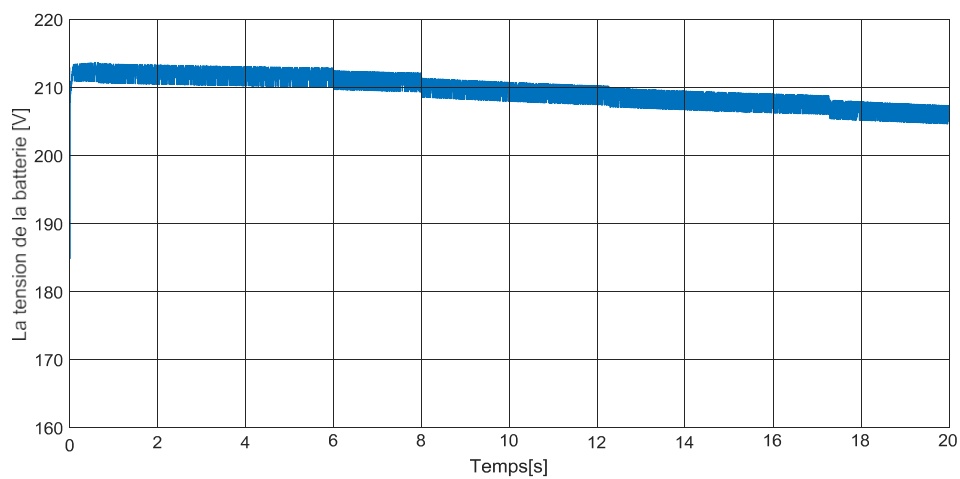


Figure III.12 Courant de sortie du Boost.



FigureIII.13 Courant de labatterie.



FigureIII.14 Courant de labatterie.

- **Test 3 : Système globale (PV, système de stockage et le MSAP):**

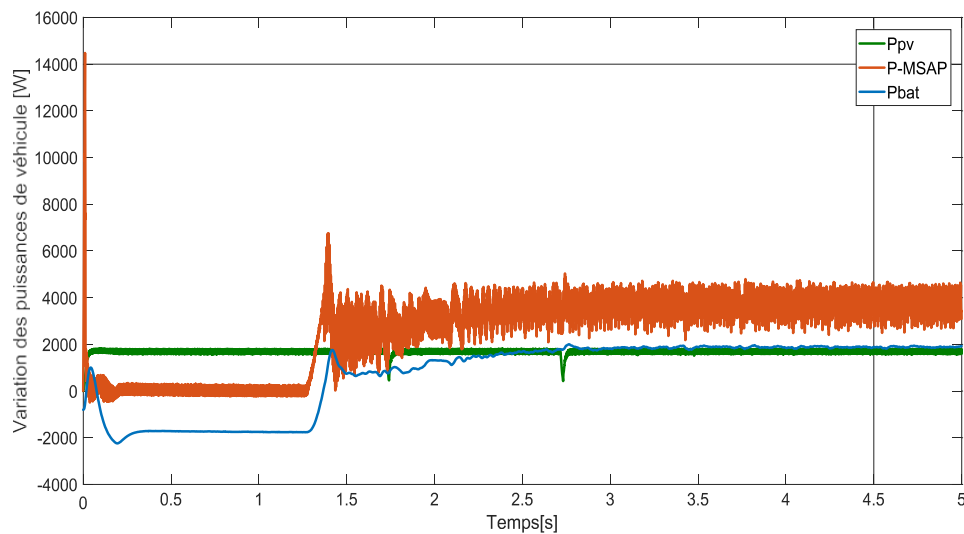


Figure III.15 Variation des puissances.

Dans la figure 3.14 le spectre énergétique du panneau PV, du moteur MSA et du pack batterie représente une optimisation acceptable du flux énergétique de notre système VE/PE

III.4. Conclusion :

Le contrôle du moteur synchrone à aimant permanent est simple et les résultats de simulations ont montré que la commande vectoriel offre de bonne performance dynamique et statique comme on constate l'utilité des régulateurs qui sont pour l'effet d'optimiser le flux énergétique dans notre systèmes **VE/PV**.

MATLAB/SIMULINK nous a permet d'obtenue des résultats satisfaisants tell que la réponse de la vitesse de rotation du moteur ce qui est notre objectif de recherche.



Conclusion générale



Conclusion générale

Conclusion générale :

Notre objectif a été d'étudier les alimentations destinées aux véhicules électriques en point de vue organisationnel et énergétique visant à augmenter son autonomie, et pour atteindre cet objectif nous nous sommes renforcés la source d'énergie de la véhicule électrique par un panneau solaire d'une grande puissance et un bon rendement énergétique « KC200GT ».

Le développement rapide des convertisseurs statiques et grâce au progrès récent effectué au niveau de la technologie de composants de puissances à semi-conducteurs, la structure de l'onduleur de tension à trois niveaux est plus adaptée.

Dans ce sens pour une amélioration de l'autonomie de véhicule pour la charge importante, c'est l'effet de compensatoire de la commande vectorielle qui s'impose, le principal avantage du contrôleur proposé réside dans les paramètres de la machine à fin d'avoir une bonne poursuite de vitesse et des performances dynamique satisfaisantes, mais aussi compenser rapidement l'effet des perturbations qui peuvent avoir lieu sur la chaîne de régulation, le régulateur IP appréciés pour ses bonnes propriétés de robustesse pour une éventuelle variation des paramètres de la MSAP.

Cependant, le contexte et de positionner notre étude, en dressant un état de l'art de différentes structures de chargeur de batteries. Nous avons par ailleurs montré l'importance des travaux de recherches sur les batteries et leurs chargeurs associés. Des architectures de chargeurs embarqués inductifs et filaires ont été présentées à la fois pour un réseau monophasé et/ou triphasé. Parmi elles, plusieurs topologies permettent d'utiliser entièrement ou partiellement la même chaîne de puissance pour le mode de traction et le mode de recharge du véhicule, mutualisant l'utilisation des composants à semi-conducteurs et le moteur de traction.



Bibliographie



Bibliographie

- [1] **AHMED SERRAR** « ETUDE ET CONCEPTION DES SYSTEMES DE RECHARGE SOLAIRE POUR VOITURE ELECTRIQUE EN ALGERIE » thèse doctorat université Québec canada 2019
- [2] **QUENTIN BADEY** « étude de mécanisme et modélisation du vieillissement des batteries lithium-ion dans le cadre d'un usage automobile » thèse doctorat université Paris sud 2020
- [3] **BOUGUENNA IBRAHIM** « commandes robuste d'une chaîne de traction d'un véhicule électrique multi sources » thèse doctorat université SIDI BELABESS 2020
- [4] **VAN- LINH NGUYEN** « couplage des systèmes photovoltaïques et des véhicules électrique aux réseaux » thèse doctorat université GRENOBLE 2016
- [5] **DARIGA MEEKHUN** « réalisation d'un systèmes de conversion et de gestion de l'énergie d'un systèmes photovoltaïque..... » Thèse doctorat université TOULOUSE 2020
- [6] **AYMEN NOUH** « contribution au développement d'un simulateur pour les véhicules électrique » thèse doctorat université BELFORT-MONTBELIARD 2008
- [7] **LHOMME WALTER** « gestion d'énergie de véhicule électrique représentation macroscopique » thèse doctorat université de LILLE
- [8] **MOHAMED BENALI YUCEF** « contribution à la modélisation et commande de l'ensemble convertisseur- deux moteurs roues (MSAP) pour l'entraînement d'un véhicules électrique » thèse doctorat université USTO 2020
- [9] **RANIA MKAHL** « contribution a la modélisation au dimensionnement et à la gestion des flux énergétique d'un systèmes de recharge des véhicules électrique.... » Thèse doctorat université BELFORT-MONTBELLIARD 2018
- [10] **RACHID AILI** « Modélisation et simulation sous MATALEB/SIMULINK d'un système photovoltaïque adapte par une commande MPPT » thèse master université TIZI-OUZOU.

Annexe :



Le site de vente en ligne chinois « Alibaba.com » commercialise une voiture électrique équipé d'un toit solaire baptisée du nom de « Green Tour ». Même si les performances sont modestes, le prix unitaire est particulièrement attractif puisqu'il se situe à 5283 € pour la commande simultanée de 4 véhicules et peut même s'établir à 4827 € pour une commande groupée de 50 voitures.

Coté performances, la Green Tour peut emporter 4 passagers pendant 110 à 130 km à une vitesse maximale de 50 km/h. Sa batterie de 6 kWh, peut se recharger sur une simple prise domestique. Par ailleurs un module photovoltaïque de 185 W, utilisant des cellules à haut rendement (24%) de Sun power, permet de charger les batteries ou d'alimenter directement le moteur. Celui-ci affiche une puissance de 3 kW. Coté mensurations, la Green Tour a une longueur de 3,38 m pour une largeur de 1,54 et une hauteur de 1,5. Sa masse est de 1100 kg.



Les taxis: un marché pour la voiture électrique Better Place

Avec ce prix, Better Place reçoit la reconnaissance d'un marché clé pour l'application de son système de station d'échange de batteries des voitures électriques. Les taxis, qui évoluent dans un périmètre restreint et stationnent à des emplacements récurrents (les stations de prise en charge) sont particulièrement adaptés à la voiture électrique. De plus, la volonté de l'industrie du taxi est grandissante pour passer la mobilité durable et écologique. Cela tombe bien pour Better Place, qui cherche de nouveaux marchés.

La station Better Place pour taxi électrique fonctionne

Better Place a profité de la remise de ce prix pour dresser un bilan de sa station d'échange de batteries d'Amsterdam. Chacun des 10 taxis électriques qui utilise la station a réalisé une moyenne de 600km par jour, sans émissions de CO2. Better place prévoit ainsi que chaque taxi électrique réalisera 80.000km par an de manière totalement écologique. Ce nombre de kilomètre parcouru permet largement d'amortir le léger surcout à l'achat de la voiture électrique et surtout le prix de la station d'échange de batteries.

BUS SOLAIRE



BUS SOLAIRE



Nuan• -tfiV2N uansfonr-' en bus ,l'ectriquaancoit: solalNE K



Photo: K. Y. CMflllll Kowloon Moto, Bus Company

Données de la NASA

SSE Web Site

<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>



>200 solar and meteorology parameters; averaged from 23 years of data

