Liste des acronymes

OPEP : Organisation des pays exportateurs de pétrole

ZEV : Zero Emission Vehicle

ZER : Zero Emission Record

OCDE : L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques

Gtep : Tonne d'équivalent pétrole

Hp : Horsepower

ENSTA : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées

VHE : Vehicle Hybrid Electric

AM : Nombre de masse d'air.

CIS : Cuivre Indium Sélénium.

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de l'entreprise ANCI 5
Figure 2 : Une station de recharge et d'échange des batteries d'accumulateurs de la firme Krieger (Paris-1898).....10
Figure 3 : Camille Jenatzy dans la Jamais Contente, premier véhicule de l'histoire à passer les 100km/h 10
Figure 4 : Voiture électrique utilisée par la poste à paris en 1901 11
Figure 5 : L'EV-1, première voiture électrique de série de l'ère moderne. Un peu plus de 1000 unités seront produites de 1996 à 1998 12
Figure 6 : Consommation de produits pétroliers dans le monde en 2002 13
Figure 7 : Création du champ magnétique à partir d'une charge électrique.....20
Figure 8 : Principe de fonctionnement du moteur électrique 21
Figure 9 : Redressement de la tension d'un générateur.....22
Figure 10 : Tension redressé obtenu par l'association de plusieurs spires 22
Figure 11 : Schéma d'un moteur électrique à excitation série 23
Figure 12 : Comparaison entre couples des moteurs électrique 25
Figure 13 : Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé 26
Figure 14 : Variation de couple en fonction de la fréquence de rotation du moteur.....26
Figure 15 : Principe du fonctionnement du moteur synchrone.....28
Figure 16 : Exemple de régulateurs à semi-conducteurs.....30
Figure 17 : Gaston Planté (1834 – 1889).....32
Figure 18 : Henri Tudor (1859 – 1928).....32
Figure 19 : Principe de l'accumulateur au plomb 33
Figure 20 : Composition interne de l'accumulateur au plomb.....34
Figure 21 : Courbe de charge et décharge d'un élément au plomb 35
Figure 22 : Courbe de charge d'un élément plomb-acide.....36
Figure 23 : Schéma des déplacements de l'ion lithium dans un élément Li-ion 39
Figure 24 : Profil de charge d'un élément au lithium de 800 mAh 40
Figure 25 : Classification des systèmes hybrides 44
Figure 26 : Système hybride avec connexion série.....45
Figure 27 : Système hybride à commutation 46
Figure 28 : Système hybride à connexion parallèle 47
Figure 29 : Voiturette Pieper 6 H.P. en 1900. 49
Figure 30 : Ford Prodigy 50
Figure 31 : Volkswagen Chico. 50
Figure 32 : Toyota Prius (NHW20 depuis 2003).....50
Figure 33 : Architecture Toyota Prius rechargeable. 51
Figure 34 : Schéma de principe d'une voiture hybride (Source Toyota). 51
Figure 35 : Architecture série d'un véhicule hybride 52
Figure 36 : Architecture parallèle d'un véhicule hybride 53
Figure 37 : Architecture série-parallèle d'un véhicule hybride.....54
Figure 38 : Rayonnement solaire sur la terre.....58

Figure 39 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m²/jour sur un plan horizontal 59
Figure 40 : Panneau photovoltaïque 60
Figure 41 : Cellule photovoltaïque (Monocristalline).....60
Figure 42 : Champ photovoltaïque 60
Figure 43 : Différentes technologies de fabrication des cellules photovoltaïque 62
Figure 44 : Chaine de fabrication des modules photovoltaïque.....62
Figure 45 : Processus de fabrication des modules photovoltaïque.....63
Figure 46 : Structure d'un atome.....65
Figure 47 : structure d'un atome d silicium 66
Figure 48 : Ristak=l de silicium 66
Figure 49 : Cellule Photovoltaïque poly cristalline 66
Figure 50 : Structure d'une cellule photovoltaïque 67
Figure 51 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque 68
Figure 52 : Caractéristiques de groupements série ou parallèle de cellules photovoltaïques identiques.....68
Figure 53 : Caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque.....69
Figure 54 : Caractéristiques courant – tension I= f(V) d'un panneau PV à éclairement Constant en fonction de la température – Source Ecosystèmes 69
Figure 55 : Exemple d'une alimentation électrique de faible puissance 70
Figure 56 : Schéma de principe d'une installation autonome photovoltaïque.....70
Figure 57 : Schéma de fonctionnement d'une voiture électrique de golf 73
Figure 58 : chargeur de batteries à thyristors 74
Figure 59 : Schéma de principe synoptique de notre chargeur de batterie. 75
Figure 60 : Trojan batterie utilisé pour la voiture électrique de golf.....76
Figure 61 : Cartographie du gisement solaire au Maroc.....77
Figure 62 : interface de l'application PVGIS pour déterminer l'irradiation.....78
Figure 63 : Interface pour estimer la puissance d'une installation 79
Figure 64 : Moteur électrique de la voiture de golf.....79
Figure 65 : Parcours du terrain du Golf Royal de Mohammedia.....80
Figure 66 : Choix de la localisation sur la carte de l'application PVGIS.....81
Figure 67 : Courbe de production de l'électricité par l'installation photovoltaïque fournit par l'application PVGIS.....81
Figure 68 : Résultat de la production quotidienne obtenu par l'application PVGIS 82
Figure 69 : Cellule multi jonction.....83
Figure 70 : Module photovoltaïque avec cellule de concentration.....83
Figure 71 : Résultat de la production quotidienne obtenu par l'application PVGIS 84
Figure 72 : Bleu : contribution batterie. Vert : contribution panneau solaire 85
Figure 73 : Rouge : nombre de cycles de charge sans module photovoltaïque. 85
Figure 74 : MPPT « maximum power point tracking » 86
Figure 75 : Courbe des performances électriques d'un panneau solaire à une température de 25° ...87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des différentes architectures.....55
Tableau 2 : Différentes technologies de fabrication des panneaux photovoltaïque.....64
Tableau 3 : Comparaison entre les différentes technologies.....64
Tableau 4 : Tableau donnant les Irradiations globales moyennes journalières de quelques villes du royaume en kWh/m² (Source: Météorologie Nationale).....77
Tableau 5 : Contribution du module photovoltaique et des batteries dans la production électrique..85
Tableau 6 : Emission des gaz à effet de serre au Maroc.....88

Table des matières

Remerciements 3
Résumé 4
Abstract 5
Liste des acronymes 6
Liste des figures 7
Liste des tableaux 9
Table des matières 10
Introduction 1
Chapitre 1 : Présentation de l'espace d'accueil et de la voiture électrique 3
I. Présentation de l'organisme d'accueil 4
I.1 AZURE NETWORKS COMPANY INTERNATIONAL ANCI 4
I.2 L'organigramme d'ANCI 4
I.3 Les activités d'ANCI 6
I.1.1 Infrastructure Télécom 7
I.1.2 Infrastructure Réseau informatique 7
I.1.3 Infrastructure téléphonie 7
I.1.4 Énergie solaire 7
I.1.5 Surveillance et contrôle d'accès 8
I.1.6 Système d'alarme et gestion d'incendies 8
I.1.7 La géolocalisation 8
II. Généralités sur les voitures électriques 8
II.1 Historique 9
II.2 Enjeux et perspectives 13
II.3 Voiture électrique avantages et inconvénients 14

Chapitre 2 : Caractéristiques de la voiture électrique 17
I. Moteur électrique 18
I.1 Les moteurs à courant continu 19
I.1.1 L'induit 19
I.1.2 Les pôles de champs (inducteur).....20
I.1.3 Le Collecteur 20
I.1.4 Les balais.....22
I.1.5 Principe de fonctionnement 22
I.2 Types de moteurs à courant continu 23
I.2.1 Moteur série 23
I.2.2 Moteur à excitation shunt ou en dérivation 24
I.2.3 Le moteur série-parallèle (compound) 24
I.2.4 Moteurs brushless 24
I.2.5 Moteur universel 25
I.2.6 Moteurs à courant alternatif.....25
I.2.7 Moteur asynchrone triphasé 25
I.2.8 Moteurs asynchrones monophasés 26
I.2.9 Moteurs synchrone 27
II. Régulateur 29
II.1 Le régulateur commutateur.....29
II.2 Régulateur à semi-conducteur.....30
II.3 Régulateurs électroniques.....31
II.4 Régulateur alternatif 31
II.5 Choix d'un régulateur 31
III. Batteries 31
III.1 Accumulateurs au plomb.....33
III.1.1 Fonctionnement pratique : 34
III.1.2 Charge.....35
III.2 Accumulateurs au nickel ou alcalins.....36
III.2.1 Fonctionnement pratique:.....37
III.3 Accumulateurs au lithium.....38

Chapitre 3 : Les systèmes hybrides....41
I. Généralités sur les systèmes hybrides électriques 43
I.1 Moteur électrique:....43
I.2 Régime du fonctionnement :....43
I.3 La structure du système hybride :....43
II. Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle....44
III. Véhicules hybrides 48
III.1 Définition 48
III.2 Histoire du véhicule hybride électrique 49
III.3 Éléments constituant un véhicule hybride 51
III.4 Principales architectures de véhicules hybrides 52
III.4.1 Architecture série 52
III.4.2 Architecture parallèle 53
III.4.2 Architecture série-parallèle 54
Chapitre 4 : ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE 57
I. L'ÉNERGIE SOLAIRE 58
II. La cellule photovoltaïque 61
II.1 Historique 61
II.2 Les différentes technologies....62
II.3 Les modules photovoltaïques au silicium....62
II.4 Comparatif des différentes technologies 64
II.5 Principe de fonctionnement 64
II.5.1 Théorie des semi-conducteurs....65
II.5.2 Principe de fonctionnement du panneau photovoltaïque 67
II.5.3 Association de cellules : le panneau solaire....68
II.6 Application des générateurs PHOTOVOLTAÏQUES :....70
II.6.1 Alimentations électriques faibles puissances 70
II.6.2 Installations électriques photovoltaïques autonomes 70
Rapport-Gratuit.com

Chapitre 5 : Système hybride d'une voiture électrique double alimentation 72
I. Conception de la voiture solaire : 73
I.1 Principe de fonctionnement 73
I.2 Chargeur de la voiture électrique 74
I.3 Durée de vie d'une batterie 75
II. Dimensionnement du système : 76
II.1 Problématique : 76
II.2 Gisement solaire 76
II.3 Présentation de l'application PVGIS 78
II.4 Consommation de la voiture électrique 79
II.5 Dimensionnement de l'installation photovoltaïque 81
II.5.1 Solution 1: 81
II.5.2 Solution 2 : 82
II.5.3 Solution 3 : 84
III. Avantages de l'installation du système hybride: 86
III.1 Installation du système hybride. 86
III.2 Avantage du système hybride : 87
Conclusions 89
Références bibliographiques 89

Introduction

L'automobile a connu son véritable essor au début du 20ème siècle; considérée dès cette période comme une véritable révolution, elle s'est vite imposée comme le principal mode de transport des personnes et des marchandises, se substituant peu à peu aux chevaux et autres calèches. L'ère de l'automobile a véritablement commencé à la seconde moitié du XXe Siècle.
La voiture, réservée en 1900 à quelques privilégiés, a vite été démocratisée grâce à une rationalisation des coûts de production. Grâce à cette invention les individus et les familles ont acquis une indépendance grandissante, ils peuvent aller presque partout, quand ils veulent, travailler plus loin, le transport des marchandises est devenu accéléré et facilité ainsi le rapprochement des campagnes et des villes.
Le véhicule à moteur thermique s'est rapidement imposé au début du 20ème siècle et atteint de nos jours une production annuelle de 81,7 millions.

Les trente premières années de l'ère automobile furent marquées par une intense compétition entre le moteur électrique, la machine à vapeur et le moteur à explosion. Après avoir presque disparu, face à la concurrence des véhicules utilisant des produits pétroliers, le véhicule électrique a fait un retour raté dans les années 1990. Il revient, aujourd'hui, avec des atouts nouveaux, et fait l'objet d'études et d'expérimentations approfondies, visant à en valider les solutions techniques et le modèle économique.
Les effets polluants relatifs à l'utilisation de carburant fossile dans les moyens de transport font l'objet d'une attention particulière. En effet, les émissions provenant des véhicules sont en grande partie responsables de l'effet de serre, ils contribuent ainsi à l'appauvrissement de la couche d'ozone entraînant ainsi des conséquences néfastes sur la qualité de l'air et sur notre environnement.

Confrontée plusieurs fois par des chocs pétroliers, ainsi la raréfaction inéluctable du pétrole, l'industrie automobile s'active à la conception de nouvelles voitures n'utilisant pas le pétrole comme une seule et unique source d'énergie. Plusieurs solutions ont été proposées tel que les véhicules hybrides qui ont la possibilité d'utiliser plusieurs sources d'énergie, et qui peuvent accéder à des endroits, qui autrement leur seraient inaccessibles, pour cause de pollution ou de non adaptation du réseau ferré.
Parmi les solutions avancées, on trouve la voiture électrique, c'est aussi parce que les moteurs électriques ont un rendement bien supérieur à celui des moteurs thermiques, et que le

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

prix des installations photo-voltaïques baisse. Rouler à l'énergie solaire devient techniquement envisageable et financièrement soutenable.

Cette invention pourrait effectivement être une alternative à cette pollution alarmante, d'autant plus que le secteur du transport routier émet, dans l'atmosphère, plus de matières polluantes que le domaine de l'industrie. Ceci étant, malgré les nombreuses recherches effectuées sur la chaîne de traction et les batteries, le véhicule électrique n'en est encore qu'au stade expérimental et est sujet à modification ou à amélioration. La voiture électrique est très adaptée aux conditions urbaines dans la mesure où elle ne consomme d'énergie ni dans le freinage ni dans les embouteillages et se recharge dans les descentes.

Dans ce contexte, le projet « système hybride d'une voiture électrique double alimentation en batterie et panneau photovoltaïque » concerne l'étude de la possibilité d'intégrer un panneau solaire dans les voitures électriques à utilisation urbaine ou à courte distance. Ce projet consiste à augmenter la durée de vie des batteries en réduisant la consommation de l'énergie électrique.

Le chapitre 1 présente dans un premier temps une présentation de l'entreprise d'accueil puis des généralités sur la voiture électrique.

Le chapitre 2 décrit quant à lui les caractéristiques de la voiture électrique en présentant ses principales parties et les différentes possibilités de choix dans chacune des caractéristiques.

Le chapitre 3 est focalisé sur la description du véhicule hybride en commençant par une définition du terme puis une description des éléments qui constitue ce véhicule, ainsi qu'une présentation des différentes architectures possibles.

Le chapitre 4 est consacré aux énergies solaires photovoltaïques, en faisant une description de leur principe de fonctionnement et leurs technologies de fabrication.

Le chapitre 5 présente le système hybride pour la voiture électrique, il est consacré aux essais du véhicule, en proposant des solutions pour faire fonctionner le véhicule électrique.

Enfin, ce manuscrit se termine sur une conclusion générale qui reprend les principaux résultats et qui donne quelques perspectives liées à la conception de ce véhicule et à son amélioration.

Chapitre 1

Présentation de l'espace d'accueil et de la voiture électrique

I. I. Présentation de l'organisme d'accueil

I.1 AZURE NETWORKS COMPANY INTERNATIONAL ANCI

ANCI est une société d'ingénierie, située à la ville de Mohammedia, spécialisée dans des secteurs diversifiés. Elle participe à la construction et à l'installation des réseaux modernes de télécommunication. Les travaux que la société réalise, comprennent l'étude, la conception, la planification et la mise en œuvre des solutions dans les différents domaines. Ses activités appartiennent à trois axes principaux.

- Les Travaux de Télécoms.
- La sécurité des systèmes d'information, des biens et des personnes, la géolocalisation.
- Les énergies renouvelables

I.2 L'organigramme d'ANCI

L'organigramme d'ANCI est représenté sur la figure 1 . Il vient en tête le directeur Manager puis deux services, celui de comptabilité et des travaux d'ANCI.

En tête du service des travaux vient le chef de service qui prend en charge la responsabilité de diriger les travaux de ANCI, puis les différents chef de projet des différents projet de la société chargés d'études, de planification et de gestion des ressources pour l'accomplissement des projets. Et enfin, les chefs d'équipes et les techniciens.

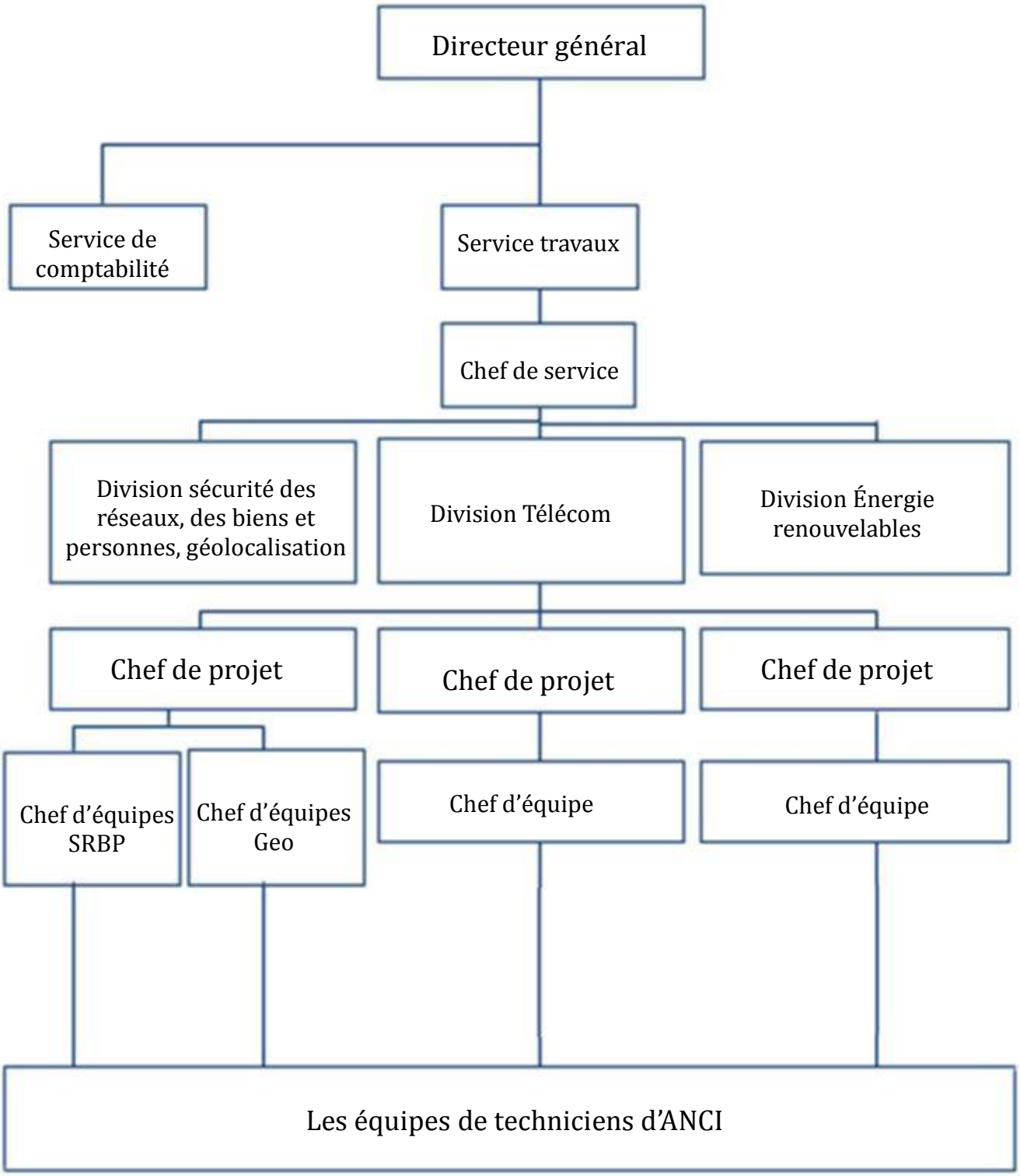


Figure 1: Organigramme de l'entreprise ANCI

I.3 Les activités d'ANCI

Les travaux d'ANCI s'articulent autour de six pôles complémentaires :

Infrastructure
Télécom

Infrastructure
Réseau informatique

Infrastructure
Téléphonie

Énergie solaire

Surveillance
et
contrôle d'accés

Système d'alarme
et
gestion d'incendies

Système d'alarme
et
gestion d'incendies

I.1.1 Infrastructure Télécom

Pour les services d'infrastructure télécom, ANCI propose des services de :

L'installation des nouveaux sites, BTS, Antennes, et tous les équipements de transmission et réception.

Le SWAP qui consiste au changement des anciens équipements des télécom et l'intégration des nouvelles technologies.

Le Site Survey qui quant à lui, consiste au contrôle, supervision, l'audit et maintenance des sites pour garantir le bon fonctionnement des équipements et la non dégradation de la qualité.

I.1.2 Infrastructure Réseau informatique

ANCI se lance aussi dans les travaux des réseaux informatiques. Elle fait l'étude et l'installation complète de fournitures des réseaux informatiques.

L'installation des câbles (torsadé ou fibre optique).

L'installation et la configuration des routeurs et Switchs.

La mise en place et l'administration des serveurs et leur configuration.

I.1.3 Infrastructure téléphonie

Afin d'accompagner les entreprises ou les individuels, ANCI met son savoir-faire à leur service pour le déploiement des installations de téléphonie. Après la réalisation d'un audit d'installation et la définition des besoins des clients, ANCI propose ses solutions dans :

la création de réseau de téléphonie.

la réalisation du câblage téléphonique.

Installation des PABX.

Installation es interphones.

I.1.4 Énergie solaire

Pour assurer une production propre de l'énergie électrique ANCI propose des solutions basées sur les énergies solaires, en faisant l'étude, le dimensionnement des systèmes

et l'installation des modules photovoltaïques pour les bâtiments ou autre types d'usage selon le besoin des clients.

I.1.5 Surveillance et contrôle d'accès

Pour plus de sécurité pour les bureaux, les entrepôts, les magasins, les parkings… et pour le contrôle de l'accès à locaux prives, ANCI se charge de mettre en place :

Les Caméras de surveillance extérieure

La vidéo protection urbaine

La vidéosurveillance sur IP

Les systèmes de contrôle d'accès par badge, par empreintes ou par mot de passe.

I.1.6 Système d'alarme et gestion d'incendies

Les services proposés par ANCI pour assurer la Sécurité des biens et des personnes sont qui inclut l'étude et mise en œuvre de solution de sécurisation des locaux d'entreprise ou de bâtiments sont

L'installation des systèmes d'alarme et détecteurs de présence.

La mise en place des détecteurs incendie.

L'installation des blocs d'éclairage de sécurité.

I.1.7 La géolocalisation

ANCI met à la disposition de ses clients la solution ATS (AZURE Tracking System) pour gérer leurs flottes de véhicules en proposant un système de Tracking en temps réel qui permet :

La géolocalisation des flottes de véhicules sur une carte.

Le contrôle de carburant

La consultation de l'historique des déplacements des véhicules.

II. Généralités sur les voitures électriques

Les premières réalisations et essais de véhicules électriques ont eu lieu au milieu du 19ème siècle. Dans les années qui suivent, des améliorations, notamment sur les accumulateurs, font se rallier à la propulsion électrique de nombreux constructeurs. Et

jusqu'au début du 20ème siècle, des compétitions mettent en concurrence les différentes énergies : pétrole, vapeur et électricité.

La voiture est généralement équipée d'un ou plusieurs moteurs électriques dont la puissance totale peut aller de 15 kW à plus de 200 kW selon la taille du véhicule.

Une batterie d'accumulateurs fournit l'énergie provenant de la recharge par câble depuis une source électrique extérieure et, selon les modèles, de la récupération d'énergie lors de la décélération du véhicule, le moteur fonctionnant alors en générateur.

La généralisation de ce type de véhicules impliquerait le développement d'équipements collectifs connexes pour la recharge hors de chez soi : stations de recharge (ou d'échange de batteries vides contre des pleines), centrales électriques supplémentaires pour fournir l'énergie électrique se substituant aux carburants actuels, développement massif de l'industrie des batteries, etc. Selon l'organisation internationale Greenspace les véhicules électriques sont plus durables que les véhicules équipés des moteurs à combustion, les véhicules électriques n'émettent lors de leur propulsion aucun gaz ni particule et ils sont silencieux.

II.1 Historique

L'idée d'utiliser l'énergie électrique pour mouvoir des véhicules n'est pas nouvelle : les premières voitures 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 Trouvé 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 l'accumulateur au plomb par Gaston Planté et Camille Faure. En 1896, Louis Krieger, un autre ingénieur français, créa un « fiacre » électrique qui participa avec succès au premier concours de parcours en ville : 12 jours de circulation et 50 km par jour.

Rapport-Gratuit.com

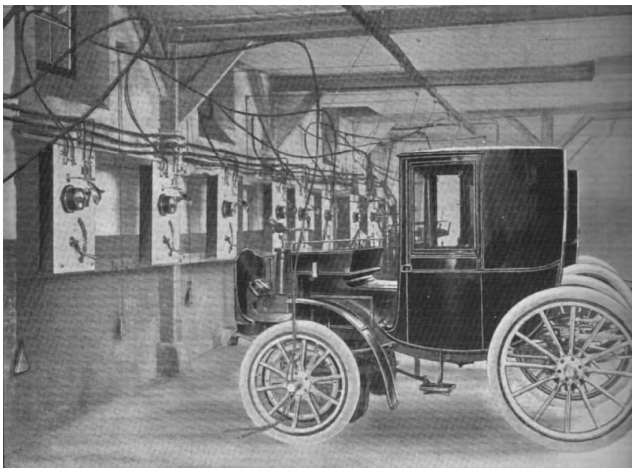


Figure 2: Une station de recharge et d'échange des batteries d'accumulateurs de la firme Krieger (Paris-1898)

La voiture individuelle électrique rencontre enfin son marché et ses premières applications sur la voie publique : les New-Yorkais peuvent croiser en 1897 les premiers Taxis électriques circulant en ville.

Le véhicule électrique trouve ses lettres de noblesse dans l'histoire automobile en faisant tomber des records. Aux premières heures des courses automobiles, les voitures électriques surpassent leurs concurrentes thermiques. Le premier véhicule à passer la barre des 100km/h fut la jamais contente (hommage à la femme du pilote!), en 1899 en Belgique. Cette automobile électrique était munie de pneus Michelin et les batteries représentaient la moitié du poids du véhicule électrique, soit 750kg.[1]

Figure 3: Camille Jenatzy dans la Jamais Contente, premier véhicule de l'histoire à passer les 100km/h

Quelques années plus tard, en 1901, de nouveau Krieger, avec une voiture électrique emportant trois voyageurs, portait le rayon d'action à 307 km en reliant Paris à Châtellerault, sans recharge, à une moyenne horaire de 40 km.

En France, La Poste livre le courrier en voiture électrique dès 1901 avec la Mildé. Le véhicule électrique est fabriqué à Levallois-Perret et possède une autonomie de 50km, une vitesse de pointe de 15 km/h pour un poids total de près de 1,5 tonnes.

Figure 4: Voiture électrique utilisée par la poste à paris en 1901

L'électro-mobile, muni d'une remorque de batteries, disposait, en 1903, d'une autonomie de 375 km. Ces performances ne donnaient pas la mesure réelle de la voiture électrique, parce qu'elles étaient réalisées avec des matériaux spéciaux et sans souci de ménager les batteries d'accumulateurs. Lorsqu'on passe aux applications pratiques, on s'aperçut que l'on est limité à la fois par la vitesse moyenne et par le rayon d'action, les accumulateurs devant être, normalement, rechargés tous les 100 à 150 km. En outre, le rapport poids/puissance, qui détermine, en partie, la valeur des accélérations, était trop élevé.

En 1973, avec le premier choc pétrolier et l'embargo de l'OPEP envers les États-Unis, l'opinion publique est prête à passer à la voiture électrique. Le vent de l'histoire semble alors tourner en faveur de la mobilité durable.[1]

De nombreux initiatives sont lancées à travers le monde et des prototypes de voitures électriques, plus ou moins pertinents, fleurissent aux quatre coins de la planète. Mais très peu de projets de voitures écologiques sont menés à un stade industriel. Notons quand même qu'en 1975, Vanguard-Sebring est le sixième constructeur américain avec sa Citi-Car, qui peut rouler à 48 km/h sur 64 km.

Il faudra atteindre 1990 pour qu'un véritable plan opérationnel de déploiement de la voiture durable et électrique soit adopté : la Californie vote en 1990 le Zéro Émission Vehicle (ZEV),

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

qui prévoit que chaque constructeur devra compter 2% de véhicules verts dans ses ventes en 1998 pour être autorisé à commercialiser ses autres voitures. Les grands constructeurs se mobilisent alors pour lancer des modèles de voitures écologiques. Général Motors, qui avait lancé un programme ambitieux de développement de voiture électrique, lance l'EV1.

Figure 5: L'EV-1, première voiture électrique de série de l'ère moderne. Un peu plus de 1000 unités sont produites de 1996 à 1998

Actuellement, le record de vitesse de la voiture électrique appartient à Oscar de 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 à 60 km/h de moyenne est de 540 km pour un « concept car», de Fisher Electric MotorTechnology, muni d'une remorque spécifique (Range AlternatorTrailer) de 175 kg.[1]

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.2 Enjeux et perspectives

L'énergie, nécessaire à tous les domaines de la vie quotidienne, devient de plus en plus chère, rare et polluante. Un nouveau modèle de production et de consommation doit émerger.

Le monde dépense 2000 milliards de dollars pour le pétrole chaque année. Le pétrole et l'automobile sont des piliers économiques du monde moderne.

En effet, 94% des réserves de pétrole dans le monde sont situées dans des pays qui ignorent ou ne veulent pas dévoiler l'ampleur de leurs réserves.

En 2005, chaque citoyen de l'Union Européenne aura utilisé une d'énergie équivalente à plus de 3,5 tonnes de pétrole. En comparaison, un américain consomme 7,8 tep et un japonais 4,1 tep (données 2003). Une consommation importante qui n'est pas prête à baisser

Les voitures conçues en 2000 avec le matériau ultra léger coûtent 3 fois moins cher en énergie que les véhicules classiques, ce qui permet d'amortir leur surcoût en un an au Japon et en Europe et en 2 ans aux USA où le carburant demeure deux fois moins cher.

La demande du secteur du transport a connu une réelle explosion au cours du XXe siècle notamment dans les pays de l'OCDE. Cette croissance est principalement attribuée au transport routier, et plus récemment au transport aérien. Avec le développement supplémentaire des pays émergents et face aux défis du changement climatique, ce secteur représente un enjeu stratégique majeur à long terme.

Le secteur du transport apparaît clairement comme le secteur d'activité principal en matière d'utilisation de produits pétroliers avec une part actuelle de 50 % contre 42 % en 1973.

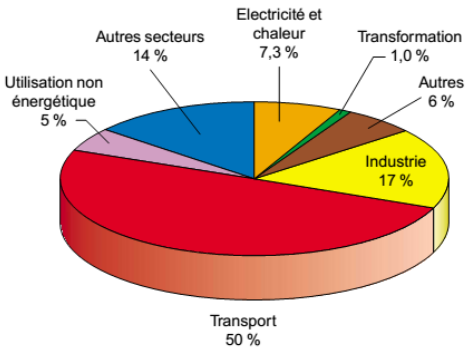


Figure 6: Consommation de produits pétroliers dans le monde en 2002

Mode dominant de mobilité, le transport routier représente 90 % des trajets effectués par les passagers et 75 % des biens transportés. Ce type de transport a connu une réelle explosion ces dernières décennies. En 25 ans, le parc de véhicules a plus que doublé dans les pays de l'OCDE -Organisation de coopération et de développement économiques- (80 % du parc mondial actuel). Aujourd'hui, sont recensés près de 600 millions de véhicules particuliers et 209 millions de véhicules utilitaires dans le monde.

La demande énergétique du secteur de transport croît de la même façon et s'élèverait en 2030 à 3,2 Gtep (tonne d'équivalent pétrole) dont 95 % sont issus du pétrole. Le secteur de transport représenterait une part de 54 % de la demande globale de pétrole en 2030 contre 47 % aujourd'hui et 33 % en 1971. Ce secteur absorbera donc près des deux tiers de l'augmentation de la demande en pétrole d'ici à2030

Au-delà de cette dépendance accrue au pétrole, le rôle du secteur du transport dans le changement climatique est tout aussi préoccupant.

À l'horizon 2030, le bilan CO_2 du transport augmenterait de78 %, en effet, tout d'abord, le transport est une source mobile et dispersée d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants.

Le secteur de transport représente le quart des émissions mondiales de CO_2 (dont 18% pour les transports routiers). Pour la France, c'est plus du tiers.

La mobilité est donc un levier important de réduction des émissions de CO_2.

La voie de la capture et la séquestration du CO_2, souvent envisagées pour les centrales électriques, n'est pas applicable au transport sans la généralisation d'un carburant sans contenu en carbone (électricité ou hydrogène) et donc d'une nouvelle technologie de véhicule pour le secteur routier.[2]

II.3 Voiture électrique avantages et inconvénients

Les voitures électriques utilisent l'énergie de manière plus efficace par-rapport aux appareils thermiques, ce qui contribue à les rendre plus propres et plus responsables sur le plan écologique. Si l'on compare les deux types de voiture et si l'on part d'une base de 100 pour la production énergétique d'un véhicule, le modèle électrique a un rendement de près de 80 quand il n'est que de 20 pour un véhicule thermique (le reste est dissipé durant la combustion nécessaire à sa production électrique). Les émissions produites par le véhicule

électrique sont donc générées par la production d'énergie électrique et non pas durant son mouvement.

Rouler en véhicule électrique (VE) n'émet aucun CO_2.
Mais il faut tenir compte du CO_2 émis pour produire l'électricité :
En France où seulement 5% de l'électricité est « carbonée », c'est-à-dire produite avec des énergies fossiles, la moyenne des émissions de CO_2 pour l'utilisation de VE représente moins de 20g/km.
Au niveau européen : 50% d'électricité est produite avec des énergies non fossiles. Cela correspond à environ 80g/km
À l'échelle mondiale, 35% de l'électricité est décarbonée donnant une moyenne de 130g/km
Ainsi, quel que soit le mix énergétique de production d'électricité, le bilan est favorable aux VE puisque les véhicules à carburant classique émettent en moyenne environ 160 g/km. En outre, les VE respectent les normes européennes qui imposent moins de 130 g/km.
Notons aussi que la production d'électricité sera de plus en plus « décarbonée » dans les années à venir. [3]
Les fameuses particules sortant du pot d'échappement, même avec les filtres à particules: hydrocarbures, dioxyde d'azote, monoxyde de carbone et particules fines ont un impact significatif sur la santé.
En France, elles provoquent des allergies auprès de 30% de la population, et sont à l'origine de 100.000 décès/an. En Europe aussi 6% des décès par cancer du poumon. De plus 91% au moins des citadins européens sont exposés à des taux de particules fines supérieurs à ceux jugés dangereux par l'Organisation mondiale de la Santé.
Les véhicules électriques permettent de réduire les nuisances sonores de la circulation, qui ont également des effets nocifs sur la santé : non seulement sur le stress mais aussi sur le système cardiovasculaire (risque d'infarctus) et l'hypertension, comme l'a récemment mis en valeur une équipe suédoise.
Au-delà des dommages sur la santé, la qualité de vie en ville serait considérablement améliorée avec moins de fumées malodorantes et davantage de silence.
Le véhicule électrique est beaucoup plus que la simple substitution d'un véhicule polluant par un autre qui l'est beaucoup moins.

C'est une formidable opportunité de reconcevoir notre rapport à la mobilité et à nos modes de transport.

Après l'ère agraire et l'ère industrielle, nous entrons dans l'ère de l'information et des services. Cela se vérifie aussi dans le domaine de la mobilité, étroitement associée à internet et à la téléphonie mobile. Ce nouveau paradigme nous fera vraisemblablement passer, pour bon nombre d'usages, de l'ère de la possession d'un véhicule à l'ère de l'utilisation d'un service de mobilité.

Si l'on prend un peu de recul, on peut prendre conscience que nos modes de transport, en particulier la voiture individuelle, mériteraient d'être parfois plus rationnels économiquement et écologiquement :

- une voiture est immobilisée en moyenne 95% du temps
- elle prend un espace considérable, qu'elle roule ou soit à l'arrêt
- elle est chronophage et stressante à cause des nombreux embouteillages…
- elle est onéreuse : si l'on raisonne en coût de possession, une voiture coûte annuellement entre 4000 et 6000 euros
- On l'achète grande lorsque des usages occasionnels l'imposent alors qu'une petite voiture serait plus pertinente pour les trajets quotidiens avec une location de temps à autre qui rendrait l'ensemble plus économique
- elle nuit à la santé et à l'environnement

L'avènement des véhicules électriques représente une opportunité pour rationaliser tout cela. Il est concomitant d'un grand nombre de réflexions et d'actions qui germent actuellement pour transformer nos modes de déplacement, avec vraisemblablement moins de véhicules, qui seront plus écologiques, et en particulier électriques.

C'est dans ce contexte que sont en train de fleurir un grand nombre d'initiatives dans le monde, telles que des véhicules électriques en libre-service, ou des plateformes de livraison de marchandise qui invitent à laisser les camions à la périphérie des villes pour que les produits soient répartis par quartier et livrés en petites fourgonnettes électriques.

D'autres innovations technologiques ou organisationnelles germent actuellement. La crise systémique, économique, sociale et environnementale, favorise aussi la créativité. [2]

Chapitre 2

Caractéristiques de la voiture électrique

I. Moteur électrique

Les moteurs électriques peuvent être trouvés dans de nombreuses tailles et lieux, et ont de nombreux usages variés. Leurs applications sont universelles, ils peuvent être aussi gros comme une maison ou plus petit que votre ongle, et peuvent être alimentés par n'importe quelle source d'électricité. En fait, ils sont si fiables, silencieux et peu coûteux que nous avons tendance à oublier à quel point ils influent la vie de chaque personne civilisée.

Le cœur de chaque véhicule électrique est son moteur électrique. Ses derniers sont les dispositifs mécaniques les plus efficaces de la planète. Contrairement à un moteur à combustion interne, le moteur électrique n'émet pas de gaz polluants. Techniquement, il y a trois pièces mobiles dans un moteur électrique.

Les pièces sont le rotor et les deux paliers d'extrémité. Ceci est juste l'une des principales raisons pour lesquelles les spécialistes ont adopté les véhicules électriques ou les véhicules à entraînement électrique comme une proposition pour sauver la planète. Nous savons ainsi que les voitures à pile à combustible produit aussi de l'électricité c'est pourquoi les voitures électriques sont la voie de l'avenir de l'automobile.

L'objectif de cette partie est de présenter les bases des moteurs électriques ainsi que leurs différentes types, leurs avantages et inconvénients pour les véhicules électriques.

Tous les moteurs électriques sont, par définition, un stator fixe ou partie fixe, et un rotor ou partie mobile. Cette simplicité est le secret de leur fiabilité et c'est pourquoi dans le contraste direct avec le moteur à combustion interne avec ses centaines de pièces mobiles, des moteurs électriques sont une bonne source bien de propulsion bien supérieure.

Les moteurs électriques sont puissants en soi. En choisissant un design ou une conception qui livre le moment de torsion maximal, nous pouvons déplacer une montagne. Presque tous les moteurs de traction livrent près du moment de torsion maximal au zéro tr/min. C'est pourquoi les moteurs de traction électriques ont actionné nos tramways, métros (passages souterrains) et des locomotives de chemin de fer diesel-électrique pendant tant d'années.

Nous pouvons nous attendre à obtenir 90% ou plus d'énergie électrique que nous mettons dans un moteur électrique hors de lui sous la forme d'un couple mécanique. Peu d'autres dispositifs mécaniques viennent même près de cette efficacité.

Les moteurs électriques sont évalués à leur point d'efficacité maximale; ils peuvent être capables de 2-4 fois supérieur de leur puissance nominale continue mais seulement pour quelques minutes. La puissance disponible d'un moteur augmente avec la tension; par exemple, le moteur FB1-4001A est évalué à 18 hp (horsepower) en continu à 72V mais est évalué à 30 hp en continu à 144V. Lorsque la tension est augmentée le nombre de tr/min augmente. La puissance est une fonction de tr/min* moment de torsion.[3]

I.1 Les moteurs à courant continu

Les moteurs électriques sont qualifiés comme «continu», le moteur peut fonctionner à moins de puissance. Si seulement 10 hp est nécessaire pour la vitesse, le moteur tourne donc à cette charge réduite. C'est la fonction de l'unité de commande du moteur.

Un moteur électrique est un dispositif mécanique qui convertit l'énergie électrique en mouvement, et qui peut en outre être adapté pour faire un travail utile, tel que tirer, pousser, lever, agiter, ou osciller. Il s'agit d'une application idéale des propriétés fondamentales du magnétisme et de l'électricité. Avant de détailler les propriétés du moteur à courant continu, je présente les différentes parties du moteur électrique :

I.1.1 L'induit

L'induit est la partie principale qui transporte le courant pour un moteur, c’est normalement la partie tournante et celle qui produit un couple par la circulation du courant dans ces spires. Il fournit un chemin de faible réluctance pour le flux (la réluctance est définie comme (H: intensité du champ magnétique *1)/4 elle est mesurée en ampères-tours par des lignes de flux. L'induit est généralement constitué d'un arbre entouré par des pièces d'acier stratifiées en feuilles appelées le noyau d'induit. Les pièces d'acier réduit les pertes par courants de Foucault; l'acier est remplacé par des métaux plus efficaces dans les modèles les plus récents. Il existe des rainures ou fentes parallèles à l'arbre autour de l'extérieur du noyau; les côtés des bobines sont placés dans ces fentes. Les bobines (chacune avec de nombreux tours de fil) sont placées de telle sorte que l'un des côtés est sous le pôle nord et l'autre est sous le pôle sud; les bobines adjacentes sont placées dans des fentes adjacentes. La fin d'une bobine est reliée au début de la bobine suivante de sorte que la force totale est alors la somme des forces générées sur chaque bobine.

Rapport-Gratuit.com

I.1.2 Les pôles de champs (inducteur)

Tout déplacement de charge électrique, que ce soit dans le vide ou dans une matière conductrice crée un champ magnétique comme les aimants naturels. Pour utiliser ce phénomène physique, des enroulements de fil conducteur (appelé bobine, bobinage, solénoïde) qui soumis à un courant électrique réagissent comme des aimants en ayant un champ magnétique avec un pôle sud et un pôle nord, d'où le nom d'électroaimant.

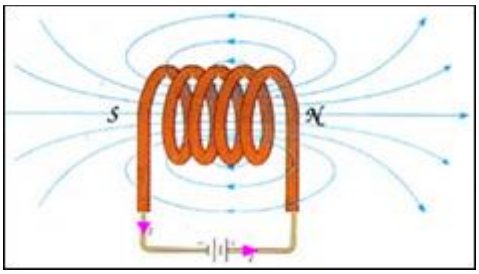


Figure 7: Création du champ magnétique à partir d'une charge électrique

Les pôles de l'électroaimant sont définis par le sens du courant électrique et le sens d'enroulement du bobinage. Un courant électrique alternatif inversera alternativement les pôles de l'électroaimant.

Le nombre d'enroulement, le diamètre du fil conducteur et la grandeur du courant électrique supporté définissent la puissance de l'électroaimant. Dans tous les moteurs électriques, que ce soit en courant continu ou alternatif il y a des enroulements de fils électriques (des bobines) pour jouer le rôle d'aimants.

La façon dont ces enroulements sont réalisés et connectés détermine le type de moteur. Une bobine de quelques spires de fil lourd connectés en série avec l'induit est appelé un moteur série. Une bobine de nombreuses spires de fil fin connecté en parallèle avec l'induit est appelé un moteur shunt.

I.1.3 Le Collecteur

Le collecteur est la partie intelligente du moteur qui permet une rotation constante en inversant le sens du courant dans les enroulements à chaque fois qu'ils atteignent le point de flux minimum. Cette pièce est en fait un interrupteur. La rotation du rotor dans le champ d'induction nous permet d'obtenir une force électromotrice alternative. Il faut donc réaliser un redressement de la tension. C'est le rôle du collecteur.

On considère pour expliquer le rôle du collecteur que la machine à courant continu fonctionne en mode générateur. Le but de celle-ci est de produire une tension, donc un courant unidirectionnel dans la charge qui est connectée à ses bornes.

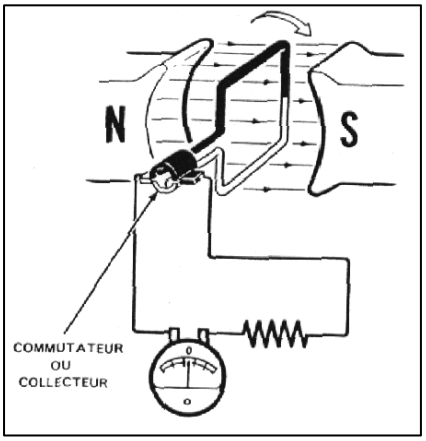


Figure 8: Principe de fonctionnement du moteur électrique

Sur ce dessin nous voyons une bague collectrice divisée en deux parties. L'une des parties est connectée à une extrémité de la spire et l'autre à l'autre extrémité. Sur ces deux bagues se trouvent les balais formant l'axe neutre de la machine. Lorsque le cadre tourne dans le champ d'induction. Nous supposerons que la position 0° est celle du cadre quand il se trouve perpendiculaire aux lignes d'induction.

Dans cette position la force électromotrice récoltée aux bornes des balais vaut 0 V car les balais court-circuitent les deux bagues. Lorsque le cadre quitte cette position, la force électromotrice induite commence à augmenter progressivement. Ceci est rendu possible par le fait que le balai noir se trouve sur la demi-bague noire et que le balai blanc se trouve sur l'autre demi-bague. Lorsque le cadre mobile arrive parallèlement aux lignes du champ d'induction, la force électromotrice induite devient maximale. Le cadre continuant à tourner, la force électromotrice induite ne peut faire que décroître.

Elle s'annulera quand les deux balais court-circuiteront à nouveau les deux demi-bagues. À ce moment, le balai noir entre en contact avec la demi-bague blanche et le balai blanc entre en contact avec la demi-bague noire. On se rend donc compte que le balai noir reste toujours en contact avec le conducteur qui parcourt le champ d'induction du haut vers le bas. De ce fait la force électromotrice récoltée aux bornes du balai se comporte comme dans le cas précédent. Nous avons donc obtenu le redressement de la tension comme indiqué sur le graphique suivant:

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

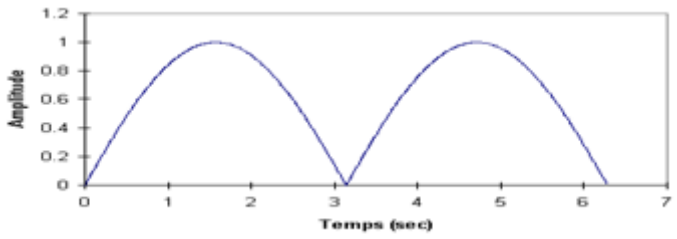


Figure 9: Redressement de la tension d'un générateur

Cependant la tension n'est pas encore parfaitement continue. Pour obtenir une tension beaucoup plus continue, rien ne nous empêche de placer plusieurs spires. De ce fait nous pouvons obtenir une tension beaucoup plus continue. Il est à remarquer que le nombre de lames du collecteur augmente. Pour trois spires nous obtenons la tension suivante

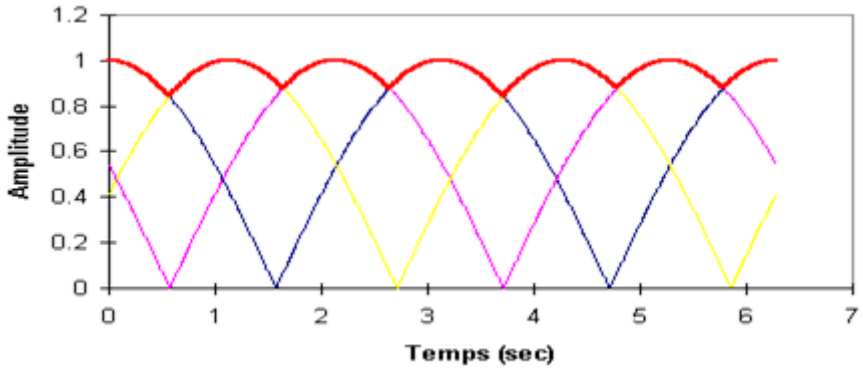


Figure 10: Tension redressée obtenue par l'association de plusieurs spires

I.1.4 Les balais

Ils sont généralement constitués de morceaux de forme rectangulaire en graphite ou en carbone, les balais sont maintenus en place par des ressorts dont la tension peut être ajustée. Le porte-balais est un matériau isolant qui isole électriquement le balai lui-même de la carcasse du moteur. Un petit fil de cuivre souple embarqué dans le balai fournit du courant au balai. Les petits balais peuvent être connectés ensemble en interne pour supporter les grand flux de courant.

I.1.5 Principe de fonctionnement

L'induit est plongé dans le champ magnétique crée par l'inducteur. Par l'intermédiaire des charbons et du collecteur, un courant électrique circule dans les enroulements de l'induit. Il se crée alors un champ magnétique dans chacune des spires de chaque enroulement et une force électromagnétique qui provoquent la rotation de l'induit autour de son axe.

Une spire située dans le champ magnétique $\vec{B}$ est soumise aux forces de Laplace $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$. Ce couple de forces provoque la rotation du rotor. Placé dans un champ magnétique $\vec{B}$, un conducteur de longueur l parcouru par un courant d'intensité I est soumis à une force $\vec{F}$ d'intensité : F=B*I*L* sinα avec $\alpha = (\widehat{\vec{B},\vec{l}})$. Le travail W de la force de Laplace pour un déplacement d du conducteur est : W = F d

I.2 Types de moteurs à courant continu

Les moteurs apparaissent sous formes différentes:

I.2.1 Moteur série :

Le moteur série, comme son nom l'indique, signifie que le bobinage de l'inducteur est branché en série avec l'induit. La figure suivante montre le branchement d'un moteur série :

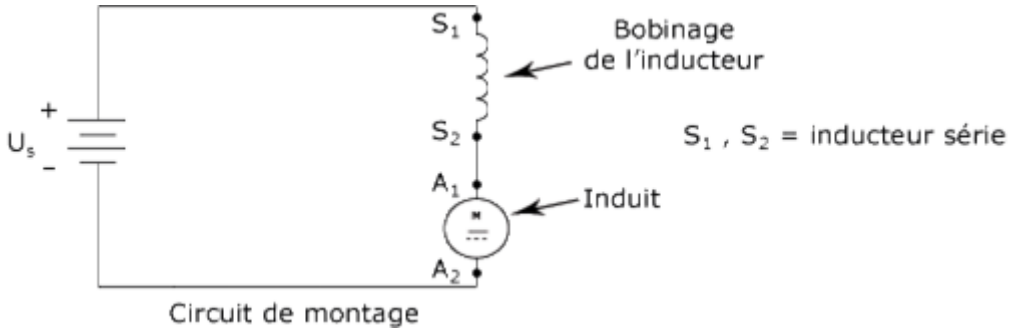


Figure 11: Schéma d'un moteur électrique à excitation série

Il serait impossible, en raison de la rotation de l'induit, de brancher des fils directement sur celui-ci.

La façon de permettre le passage du courant consiste à employer des balais fabriqués à partir d'un type de charbon doux qu'on appelle graphite.

Le principal avantage de ce type de moteur est qu'il possède un fort couple de démarrage, ce qui lui permet d'entraîner une bonne charge dès le départ. Il peut également supporter facilement des surcharges temporaires.

En ce qui a trait aux inconvénients, on peut souligner le fait que la vitesse du moteur série varie avec la charge. Ainsi, une augmentation de celle-ci aura tendance à faire diminuer la vitesse de rotation du moteur.

D'autre part, ce type de moteur ne doit jamais tourner sans charge, car cela entraîne une dangereuse augmentation de sa vitesse qui, à la limite, pourrait le détruire. [3]

I.2.2 Moteur à excitation shunt ou en dérivation :

Comme le titre l'indique, cette fois, l'enroulement de l'induit et l'enroulement de l'inducteur sont liés non plus magnétiquement cette fois, mais électriquement de manière à ce qu'ils soient montés en dérivation ou (en parallèle). Quelle que soit la charge la vitesse du moteur est relativement constante, le couple de démarrage est moyen.

I.2.3 Le moteur série-parallèle (compound) :

Conçu pour obtenir les avantages du moteur série et parallèle (shunt). Il comporte deux enroulements inducteurs dont l'un est placé en série avec l'induit et l'autre en parallèle.

Il est à flux additif si les deux enroulements ajoutent leurs effets magnétisants.

Il est à flux soustractif si les deux enroulements soustraient leurs effets magnétisants (très peu utilisé car fonctionnement instable pour les fortes charges). [3]

I.2.4 Moteurs brushless :

Le défaut principal des moteurs à courant continu est la présence des balais, qui engendrent des frottements, des parasites, et limitent la durée de vie du moteur par leur usure. Pour éviter tous ces problèmes on utilise des moteurs brushless, ou moteurs sans balais. Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, excepté le collecteur, mais l'emplacement des bobines et des aimants permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages. Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor cherche à chaque instant à s'orienter dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur, Le moteur brushless est un moteur synchrone, c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que le système de tensions qui l'alimente. Tant que le couple moteur est supérieur à la charge à entraîner, la rotation du rotor est synchronisée avec le champ magnétique. Si le couple résistant devient supérieur au couple moteur, et que la tension d'alimentation n'est pas ajustée en conséquence, il y a un risque de décrochage, c'est-à-dire que le rotor risque de ne plus suivre le champ magnétique. À partir de ce moment-là, le rotor va se mettre à osciller, sans pouvoir se resynchroniser avec le champ magnétique, ce qui peut provoquer sa destruction. Pour éviter cela, le système d'asservissement doit être en mesure de réagir si le couple résistant augmente, et ajuster la tension d'alimentation en conséquence. [3]

I.2.5 Moteur universel :

Un moteur universel peut être alimenté indifféremment en courant continu ou en courant alternatif.

Dans la pratique, ces moteurs ont un mauvais rendement, mais un coût de fabrication très réduit. Leur couple est faible, mais leur vitesse de rotation est importante.

Ils sont principalement utilisés dans l'électroménager et l'outillage électrique de faible puissance (perceuses...), jusqu'à environ 1 200 W. Leur vitesse est facilement réglée par des dispositifs électroniques peu coûteux. [3]

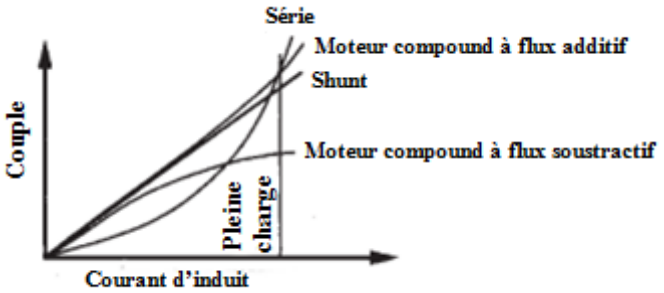


Figure 12 : Comparaison entre couples des moteurs électrique

I.2.6 Moteurs à courant alternatif

La grande majorité de nos maisons, bureaux, ainsi que nos usines sont alimentés par le courant alternatif. Parce qu'il peut facilement être transformé à partir de la haute tension pour la transmission en basse tension pour l'utilisation, plusieurs moteurs à courant alternatif sont en cours d'utilisation plus que tous les autres types de moteurs mis ensemble.

I.2.7 Moteur asynchrone triphasé

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault.

Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant

sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit 50 tr/s.[4]

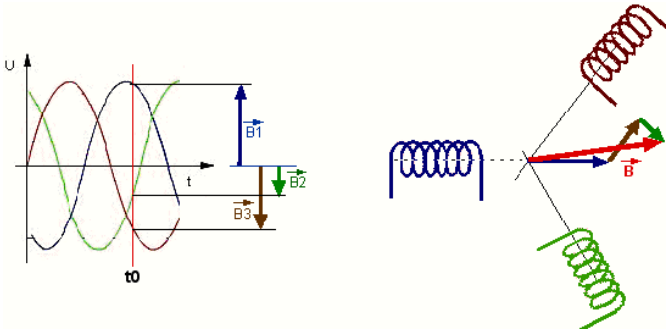


Figure 13 : Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques.

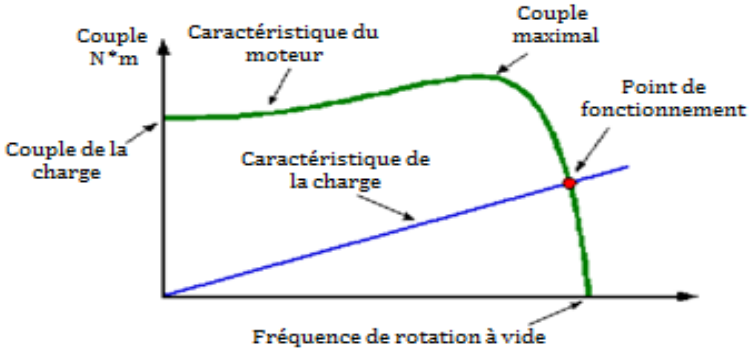


Figure 14: Variation de couple en fonction de la fréquence de rotation du moteur

I.2.8 Moteurs asynchrones monophasés :

La machine asynchrone, connue également sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de rotation du rotor de ces machines n'est pas exactement déterminée par la fréquence des courants qui traversent leur stator.

La machine asynchrone est utilisée dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, automobiles électriques), dans l'industrie et dans l'électroménager. Elle était à l'origine uniquement utilisée en moteur mais, grâce à l'électronique de puissance, elle est de plus en plus souvent utilisée en génératrice, par exemple dans les éoliennes.

La machine asynchrone pourrait être attribuée à trois inventeurs, en 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone4,5, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en avril 18886. En 1889, Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1891.

Quand la machine asynchrone est alimentée par un réseau à fréquence fixe, il est difficile de faire varier sa vitesse. En outre, au démarrage, le couple est faible et le courant appelé est très élevé.

Pour démarrer ce moteur il faut créer un champ tournant de démarrage, pour se faire, il suffit de deux phases décalées spatialement de 90° et parcourues par des courants déphasés au plus le déphasage entre les courants est proche de 90°, au plus le champ aura une variation “circulaire” et le couple produit par le rotor sera grand et constant. La réalisation des deux phases consiste à rajouter un bobinage supplémentaire (bobinage de démarrage), en parallèle avec le bobinage principal, à 90° degrés du bobinage principal (bobinage de marche).

La création du déphasage entre les courants de chaque bobinage consiste à son tour de donner diamètre différent aux deux bobinages (moteurs à phase auxiliaire résistive), ou en rajoutant une capacité en série avec le bobinage de démarrage (moteurs à phase auxiliaire capacitive) [4]

I.2.9 Moteurs synchrone :

La machine synchrone se compose d'une partie tournante, le rotor, et d'une partie fixe, le stator. Le rotor peut se composer d'aimants permanents ou être constitué d'un bobinage alimenté en courant continu et d'un circuit magnétique (électro-aimant). Il est dit synchrone car la vitesse de rotation est fixe et égale à la vitesse synchrone qui est indépendante de la charge et de la tension d’alimentation. Concernant les connexions électriques le stator est alimenté par un système triphasé équilibré de tensions ses enroulement peuvent être connectés en étoile ou en triangle, or les enroulements du rotor: alimentés par du courant continu(ou aimants permanents).

Étant donné que le rotor tourne à la même vitesse que le champ tournant, ce moteur ne peut pas être démarré directement sur le réseau 50 Hz. On peut utiliser un convertisseur de

fréquence dont la fréquence augmente progressivement lors de la phase de démarrage (rampe). On peut aussi démarrer ce moteur en " asynchrone ", en utilisant l'enroulement inducteur comme secondaire. Ce moteur peut également être utilisé pour relever le facteur de puissance d'une installation. Dans ce cas, il doit être " surexcité ". Il fournit alors de la puissance réactive au réseau (charge capacitive).

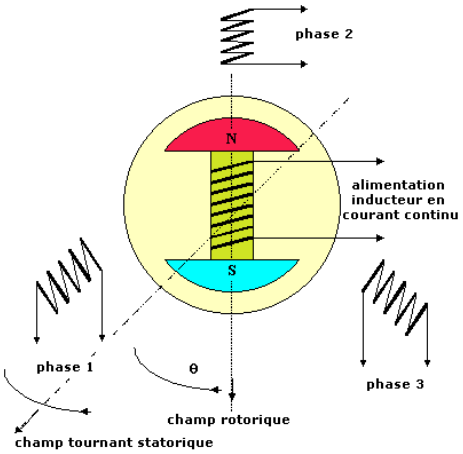


Figure 15 : Principe du fonctionnement du moteur synchrone

Les moteurs à courant continu de type série sont disponibles à partir de nombreuses sources, ils fonctionnent bien, les contrôleurs sont facilement disponibles, les adaptateurs pour les différentes véhicules sont faciles à faire ou acheter, et le prix est convenable.

Actuellement, l'option la plus économique et la plus fréquente pour les véhicules électriques est le moteur à courant continu série, il est celui que nous pouvons l'utiliser avec la plupart des convertisseurs des Véhicules électrique d'aujourd'hui. Cependant, il est probable que tous les moteurs à commutation seront éliminés au cours de la prochaine décennie ou la suivante, puisque la fonctionnalité d'un commutateur peut être remplacée par un système électronique intelligent qui devient moins cher tous les jours, et avec une meilleure fiabilité et efficacité. À présent, les moteurs asynchrones et brushless à aimant permanant sont les meilleures technologies disponibles, avec des rendements allant jusqu'à 98 pour cent, un fonctionnement silencieux, et presque pas d'entretien nécessaire. [4]

II. Régulateur

Le régulateur tel que le moteur est un autre pilier de chaque véhicule électrique, dans le futur, il n'y aura que d'autres réductions de taille et améliorations de l'efficacité de l'électronique de commande du moteur. Alors que le moteur ne peut bénéficier que de petites améliorations en raison des changements technologiques, les futurs moteurs peuvent se répartir et situé dans les roues elles-mêmes. Le choix du régulateur est assez simple, il est dicté par le moteur électrique utilisé.

Dans cette partie je vais présenter les différents types de régulateurs, comment ils fonctionnent, leurs avantages et leurs inconvénients.

Le régulateur est essentiellement le cerveau d'une voiture électrique. Cet ordinateur "contrôle" ou gère la performance du moteur électrique. Le régulateur intègre les vitesses du moteur et la plage attendue de la batterie. La coordination entre le régulateur et le moteur peut aider une voiture d'accélérer de 0 à 60 km/h à 6 à 7 secondes, ce qui peut déterminer la gamme de la voiture et sa vitesse maximale.

Le régulateur contrôle les deux systèmes d'entraînement manuel ou automatique pour démarrer et arrêter, aller de l'avant ou vers l'arrière, la gestion de la vitesse, régler ou limiter le couple ainsi la protection contre les surcharges et les défauts.

Le régulateur de vitesse du moteur utilise un microprocesseur pour piloter un préamplificateur et un amplificateur de puissance qui contrôle l'écoulement de l'alimentation de la batterie vers le moteur, avec les différents capteurs pour surveiller le fonctionnement du système [3]

II.1 Le régulateur commutateur

Les régulateurs de commutation sont les plus ancien types, Ils ont été utilisés dans les véhicules électriques ca fait plus de 100 ans, et il y a beaucoup en usage aujourd'hui. À l'origine ils sont un ensemble de grands commutateurs qui relient les batteries et le moteur dans des combinaisons série /parallèle pour obtenir des vitesses discrètes. Par exemple, quatre batteries de 12 volts peuvent être reliées pour 12v, 24v ou 48v pour fournir une vitesse de moteur lente, moyenne et rapide. Les régulateurs de commutation ne sont pas chers, ils sont simples et efficaces. Leurs principaux inconvénients c'est le contrôle de la vitesse par paliers. [3]

Rapport-Gratuit.com

II.2 Régulateur à semi-conducteur

Le régulateur à semi-conducteur pour les moteurs à courant continu avec balais est la technologie la plus fréquente, ces régulateurs ils sont largement disponibles, ils ont été utilisés pendant des décennies dans tous les types de véhicules électriques. En fait, ils utilisent des commutateurs à semi-conducteurs (thyristor, transistor MOSFET, IGBT, etc) pour remplacer les interrupteurs mécaniques dans un régulateur de commutation. MOSFET signifie Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Ce sont utilisés fréquemment dans les régulateurs de basse tension car les MOSFET de basse tension ont tendance à ne pas avoir une grande résistance (et donc une perte de puissance). Les régulateurs à MOSFET sont très efficaces pour les faibles puissances, puisque la perte de puissance dans un transistor MOSFET est proportionnelle au carré du courant. Leur résistance augmente également car ils se chauffent, donc quand ils sont utilisés en parallèle ils ont tendance à équilibrer automatiquement la charge.

Figure 16 : Exemple de régulateurs à semi-conducteurs

IGBT signifie Insulated Gate Bipolar Transistor, c’est plus ou moins une combinaison des transistors bipolaires et des transistors à effet de champ. IGBT présentent une chute de tension constante ce qui les rend plus efficaces que les MOSFETs pour les puissances élevés, mais souvent moins efficaces pour des applications de faible puissance. Les IGBT ont un inconvénient principal, comme tous les transistors bipolaires, ils sont susceptibles à l'emballement thermique et au déséquilibre lorsqu'ils sont utilisés en parallèle. Ces régulateurs ont besoin de bons systèmes de refroidissement pour éviter tout déséquilibre. [3]

II.3 Régulateurs électroniques

Les commutateurs électroniques peuvent être activées ou désactivées rapidement et ils n'usent pas. Le régulateur les active ou désactive des milliers de fois par seconde, pour que le moteur reçoit le moyen plutôt que le max ou zéro. C'est ce qu'on appelle Pulse Width Modulation (PWM) ou le modulation par largeur d'impulsion, les régulateurs PWM sont de prix modeste, ils sont facilement disponibles dans une grande variété de tailles et fournissent une régulation lisse pour les moteurs. [3]

II.4 Régulateur alternatif

Le moteur à courant alternatif avec onduleur à semi-conducteur est le type le plus sophistiqué. Il est utilisé dans les véhicules électriques de haut de gamme, dont la performance est plus importante que le coût. Un moteur asynchrone courant alternatif ou le moteur sans balais (brushless) est équipé d'un onduleur qui convertit le continu en alternatif triphasés. Les nouvelles voitures de sport conçues par les sociétés de voitures électriques utilisent des systèmes alternatifs, ces régulateur alternatifs sont à la fois complexes et coûteux, mais offrent les fonctionnalités les plus avancées comme le régulateur de vitesse et le freinage régénératif ou par récupération. [3]

II.5 Choix d'un régulateur

La haute fiabilité et performance ainsi le coût minimum sont les facteurs clés dans le choix d'un régulateur pour une voiture électrique, nous pouvons avoir de critère mais pas les trois :

• Haute fiabilité, haute performance signifie coût élevé
• Haute performance, coût minimum, signifie une faible fiabilité
• Haute fiabilité, faible coût signifie un manque de performance

Les régulateurs sont devenus beaucoup plus intelligents. La même technologie qui a réduit la forme de l'ordinateur de la taille d'une chambre jusqu'à l'ordinateur portable, nous permet de faire un régulateur précis pour un moteur électrique. Indépendamment des besoins actuels, ou type de moteur les régulateurs à semi-conducteurs peuvent être conçus pour répondre à tous les besoins et s'adapter avec les différentes voitures. [3]

III. Batteries

L'avenir du véhicule électrique est en effet, à courts et à moyens termes, indissociable des performances des batteries. La Recherche et Développement dans ce domaine est devenue une priorité et un enjeu stratégique majeur pour la plupart des constructeurs, voire une

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

condition de leur survie. Aujourd'hui, les fabricants de batteries et constructeurs s'organisent pour basculer dans l'ère de la mobilité électrique.

La première « pile rechargeable » a été mise au point vers 1860 par Gaston Planté (1834 – 1889); c'était l'ancêtre de nos classiques accumulateurs au plomb. Elle a été améliorée par Henri Tudor (1859 – 1928) vers la fin du 19ème siècle.

Figure 17 : Henri Tudor (1859 – 1928)

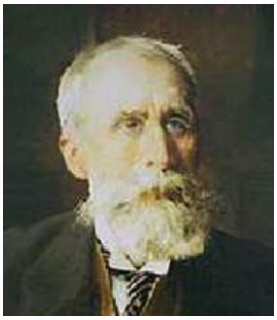


Figure 18 : Gaston Planté (1834 –

Les principales caractéristiques d'un accumulateur sont:

- La tension disponible entre les deux électrodes de la batterie.
- La capacité, mesurée en ampère -heure (Ah), correspondant à la charge maximale pouvant être fournie par l'accumulateur, entre le moment où il est chargé à sa pleine capacité et le moment où il est complètement déchargé.
- Selon la technologie, la capacité diminue plus ou moins vite avec le nombre de cycles de fonctionnement. De la même façon, le mode de charge diffère avec le type d'accumulateurs utilisés. (Profils de tensions et de courants, durée)

Les performances d'un accumulateur, quelle que soit la technologie utilisée, sont définies par trois critères :

- La densité d'énergie massique (ou volumique), en wattheure par kilogramme, Wh/kg (ou en wattheure par litre, Wh/l), correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de masse (ou de volume) d'accumulateur. Elle va définir son autonomie.
- La densité de puissance massique, en watt par kilogramme (W/kg), représente la puissance (énergie fournie par unité de temps) que peut délivrer l'unité de masse d'accumulateur. Ce critère donne une idée de la conductivité intrinsèque de l'accumulateur, qui doit offrir le moins de résistance possible au courant.
- La cyclabilité, exprimée en nombre de cycles, caractérise la durée de vie de l'accumulateur, c'est-à-dire le nombre de fois où il peut restituer un niveau d'énergie

supérieur à 80 % de son énergie nominale, cette valeur étant celle la plus souvent demandée pour les applications mobiles. [5]

III.1 Accumulateurs au plomb

La cellule élémentaire est formée d'une plaque positive recouverte de dioxyde de plomb, d'un électrolyte constitué par une solution d'acide sulfurique, d'une plaque négative recouverte de plomb.

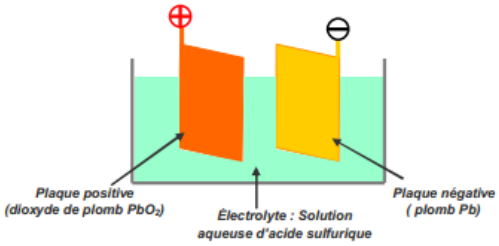


Figure 19 : Principe de l'accumulateur au plomb

Les réactions chimiques aux électrodes sont réversibles.

Au pôle positif :

Les ions sulfate, en milieu acide réduisent l'oxyde de plomb en sulfate (solide) à la décharge

$$PbO_2 + SO_4^{--} + 4H^+ + 2e^- \underset{\text{charge}}{\overset{\text{décharge}}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2H_2O$$

Au pôle négatif:

Les ions sulfate oxydent le plomb en sulfate de plomb (solide) à la décharge

$$Pb + SO_4^{--} \underset{\text{charge}}{\overset{\text{décharge}}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2e^-$$

Ces 2 réactions sont connues sous le nom de double sulfatation. Elles ne sont parfaitement réversibles que si le dépôt de sulfate de plomb sur chaque électrode reste limité.

Les accumulateurs au plomb équipent la quasi-totalité des automobiles à moteur thermique. Ils servent surtout pour leur démarrage et comme source d'énergie d'appoint, moteur à l'arrêt.

Afin d'obtenir de fortes intensités et une résistance interne la plus faible possible, on groupe plusieurs cellules élémentaires en parallèle (de l'ordre de la dizaine) afin de réaliser un élément «2V».

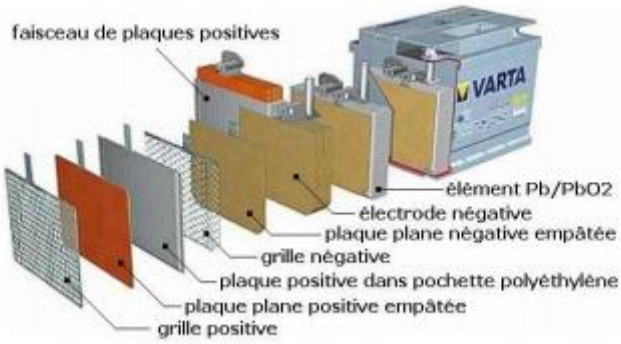


Figure 20 : Composition interne de l'accumulateur au plomb

Il existe 2 variantes principales:

- Batteries à électrolyte liquide. Les plus anciennes, peu chères, mais qui doivent fonctionner à l'horizontale. Elles peuvent dégager de l'oxygène (au +) et de l'hydrogène (au -) gazeux dans certaines conditions, d'où un risque (très faible) d'explosion.
- Batteries à électrolyte gélifié ou stabilisé. L'électrolyte est piégé dans une sorte de papier buvard nommé gélifiant et la structure des électrodes assure (en théorie) l'élimination des gaz oxygène et hydrogène. Ces batteries peuvent ainsi être étanches et fonctionner dans toutes les positions.

Leur caractéristique la plus marquante est leur poids élevé, qui limite l'énergie massique à quelques dizaines de Wh par Kg. [5]

III.1.1 Fonctionnement pratique :

Décharge :

Très rapidement, la tension par élément se stabilise vers 2V.

En fin de décharge la chute de tension s'accélère, correspondant à un début de sulfatation irréversible des plaques.

Il est impératif de stopper la décharge pour une tension de 1,8 V. Cette valeur est nommée tension d'arrêt.

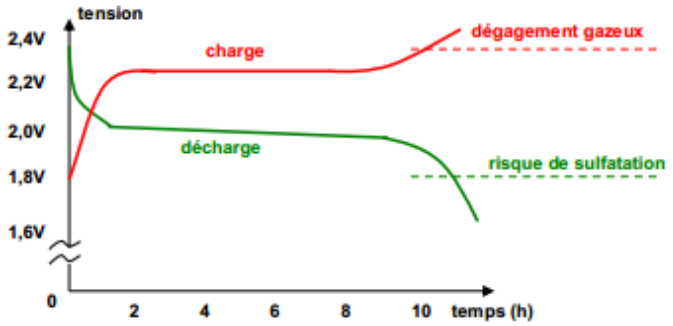


Figure 21 : Courbe de charge et décharge d'un élément au plomb

Cette tension d'arrêt dépend de la rapidité de décharge : plus la décharge est lente est plus il faudra choisir une tension d'arrêt élevée.

En décharge lente, le sulfate produit est très fin et pénétrant ; l'irréversibilité de la chimie est atteinte plus tôt.

Au cours de la décharge, la densité de l'électrolyte liquide décroît de 1,2 à 1,15 environ.

Intensité disponible: Elle peut être extrêmement élevée pendant une courte durée ; c'est la configuration de démarrage où des intensités supérieures à 100 A sont courantes.

Capacité restituée : Le constructeur affiche la capacité théorique de son accumulateur.

La capacité indiquée n'est en aucun cas sa capacité réellement utilisable sans détérioration. Suivant le type de batteries, on pourra utiliser de 80% (batteries stationnaires pour panneaux solaires) à 10% (batteries de démarrage) de cette capacité.

D'autre part, l'effet Peukert limite la capacité en fonction du courant débité :

Pour une capacité théorique C_{TH}, la capacité pratique de Peukert C_P s'exprime en fonction du courant de décharge I et de la durée de décharge T_D par: $Cp = I^n * T_D$

n, sans dimensions, est toujours supérieur à 1 (1,1 à 1,5).

Plus le courant de décharge est important et plus la capacité restituée sera faible devant C_{TH}. [5]

III.1.2 Charge

A la recharge, il faut limiter la tension aux bornes de l'accumulateur, afin d'éviter l'électrolyse de l'acide et le dégagement gazeux abondant qui en résulterait.

Les chargeurs d'accus au plomb actuels travaillent en 3 temps :

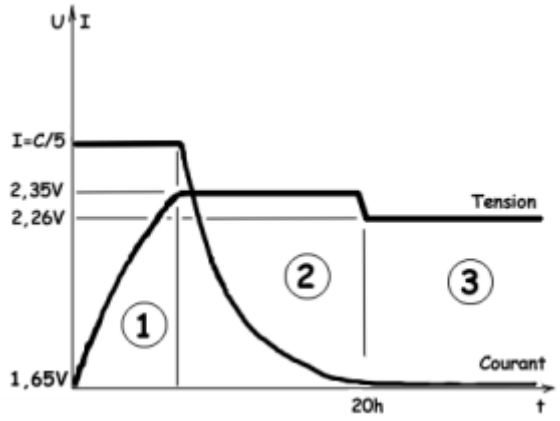


Figure 22 : Courbe de charge d'un élément plomb-acide

- Phase 1 : Charge à courant constant (régulé à I ˜ 1/5. de la valeur de capacité)
  La tension augmente petit à petit; cette phase cesse lorsque la tension par élément atteint 2,35V.
- Phase 2: La tension de charge est régulée à 2,35V par élément. Le courant de charge diminue alors jusqu'à devenir inférieur à C/100.
  Cette phase doit durer au maximum 20 heures, la tension ne doit pas rester au-dessus de 2,26V plus longtemps.
  La batterie est chargée à l'issue de cette phase
- Phase 3:Une fois la batterie chargée (après environ 20h de charge) on passe en mode charge d'entretien (Floating) pour la maintenir à 100% de charge.
  La tension alors appliquée à la batterie sera de l'ordre de 2,26V par élément.

Les phases 2 et 3 peuvent être combinées en limitant dès le début la tension à 2,26V par élément. (Cas des chargeurs anciens ou bas de gamme) La batterie ne pourra ainsi être chargée à plus de 95%. [5]

III.2 Accumulateurs au nickel ou alcalins.

Il en existe 2 sous familles:

Les accumulateurs « cadmium-nickel » (NiCd), dont les jours sont comptés, car une directive européenne bannit l'usage du cadmium dans les accumulateurs grand public.

Les accumulateurs « nickel-métal- hydrure » (NiMH) Leurs structures sont très voisines :

Pour les accus « bâton » (ci-dessous) les électrodes sont spiralées.

À l'état chargé, l'électrode positive est constituée d'un oxyhydroxyde de nickel (NiO(OH)); l'électrode négative est formée, soit de cadmium, soit d'un hydrure métallique.

(Un hydrure métallique est un alliage de type ABn où A est une terre rare et B un métal de transition. Le plus connu est LaNi5, capable d'absorber plus d'un atome d'hydrogène par atome métallique. L'absorption d'hydrogène est un phénomène exothermique.

Inconvénient des accus au nickel : L'effet mémoire.

La légende veut que la capacité baisse si les accus au nickel ne sont pas complètement déchargés à chaque cycle.

Cependant, la chute de tension en dessous de 0,8 V peut en provoquer la destruction.

En fait, la perte de capacité peut être aussi due à une recharge non suffisamment contrôlée, laquelle peut endommager également l'accumulateur.

Les accus au nickel embarquent une énergie massique supérieure aux accumulateurs au plomb

Environ 60 Wh / kg pour les accus NiCd et 80 Wh / kg pour les accus NiMH. (40 Wh / kg pour les accus au plomb) [5]

III.2.1 Fonctionnement pratique:

À la décharge, la tension par élément est stable à 1,2 V, puis se met à chuter rapidement en fin de cycle.

À ce moment, la réversibilité des réactions chimiques est mise en cause ; il faut éviter de descendre en dessous de 0,8 V.

À la charge, la tension se stabilise également vers 1,2 V. La fin de charge est caractérisée par le passage de la tension par un maximum situé aux environs de 1,5 V.

Au-delà, la tension aux bornes de l'élément diminue à nouveau et on entre en régime de surcharge, accompagné d'un échauffement.

Que se passe-t-il lorsqu'un accu au nickel a subi des décharges ou des charges trop profondes? Certaines réactions chimiques sont devenues partiellement irréversibles, et une partie du potentiel énergétique initial n'est plus utilisable.

Ceci correspond à « l'effet mémoire », qui peut se traduire par une courbe de décharge semblable à celle donnée à droite.

Il apparaît une chute de tension anticipée en dessous de 1,2 V, suivie d'un second palier de tension à une valeur inférieure.

Si l'appareil qui est alimenté par cet accu est muni d'une mise hors tension automatique, on peut assister à un arrêt précoce qui laisse une partie de l'énergie de l'accumulateur inutilisée.

Il faut cependant noter que les accus type NiMH sont bien moins sensibles à l'effet mémoire que les accus type NiCd.

Par contre, les accus NiMH sont affectés d'une autodécharge non négligeable (15 à 20% par mois).

Cyclabilité : Durée de vie d'environ 1500 cycles pour la filière NiCd et d'environ 500 à 1000 cycles pour la filière NiMH. [5]

III.3 Accumulateurs au lithium.

Le lithium est un métal mou et léger d'origine minérale. C'est une source d'énergie non renouvelable, mais disponible en grande qualité sur Terre.

Par rapport aux accumulateurs nickel-hydrure métallique (NiMH), les batteries Li-ion progressent à tous les niveaux (taille, poids, puissance et performances). Elles disposent en effet d'une plus grande densité énergétique et donc d'une capacité de stockage plus importante.

Le lithium est un métal alcalin très léger (0,54 g / cm3), mais extrêmement réactif avec l'air et l'eau. La chimie des accumulateurs au lithium nécessite quelques précautions (salles anhydres notamment).

Il y a 2 sous familles : La filière « lithium – ion » et la filière « lithium – polymère ». Une 3ème vient d'apparaître :La famille « lithium – phosphate ».

Un accumulateur aux ions lithium comporte une électrode négative de graphite, dans laquelle le lithium s'insère de façon réversible, un électrolyte non aqueux (sel de lithium dans un solvant organique) immobilisé dans un séparateur poreux et une électrode positive en oxyde métallique, dans laquelle du lithium s'insère de façon réversible.

Les boîtiers sont de forme cylindrique ou parallélépipédique et rigide.

Pour l'électrode positive, il est surtout fait appel à trois types d'oxydes métalliques : les oxydes de lithium-cobalt

($LiCoO_2$), les oxydes de lithium-nickel ($LiNiO_2$) et les oxydes de lithium-manganèse ($LiMn_2O_4$)

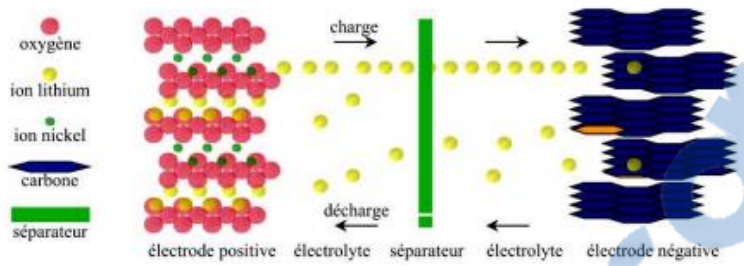


Figure 23 : Schéma des déplacements de l'ion lithium dans un élément Li-ion

Filière « Lithium – polymère »

La différence de constitution est minime : L'électrolyte est ici un sel de lithium, diffusé dans une matrice polymère.

L'électrolyte est dans un état intermédiaire entre un gel et un solide ; il fait lui-même office de séparateur.

Les boîtiers sont souples, le plus souvent de forme plate.

Principales caractéristiques :

- Tension de service typique délivrée par un élément: 3,6 V.
- Énergie massique supérieure à 100 Wh / kg (soit une énergie volumique de plus de 200 Wh / l)
- Capacité spécifique élevée, de 170 à 220 Ah / kg.
- Cyclabilité de plus de 1000 cycles.
- Faible autodécharge, pas d'effet mémoire
- Large plage de température de fonctionnement (˜ -30°C à +60°C)

Charge :

La charge s'effectue en 3 temps.

On peut envisager des charges « rapides » (à valeur d'intensité égale à la valeur de capacité), ou plus lentes.

Examinons l'exemple d'une charge rapide sur un élément de 800 mAh.

1ère phase : Le courant est régulé à 800 mA et la tension aux bornes de l'élément croit.

Cette phase doit se terminer pour une tension de 4,2V (sinon risque d'échauffement destructeur)

2ème phase: La tension est régulée à 4,2 ± 0,05 V ; l'intensité du courant absorbée décroît progressivement.

Rapport-Gratuit.com

(Attention aux charges d'éléments en série : Le chargeur doit être capable de contrôler la tension aux bornes de chaque élément)

3ème phase : Arrêt de charge, lorsque le courant atteint la valeur de 0,03 fois la capacité.

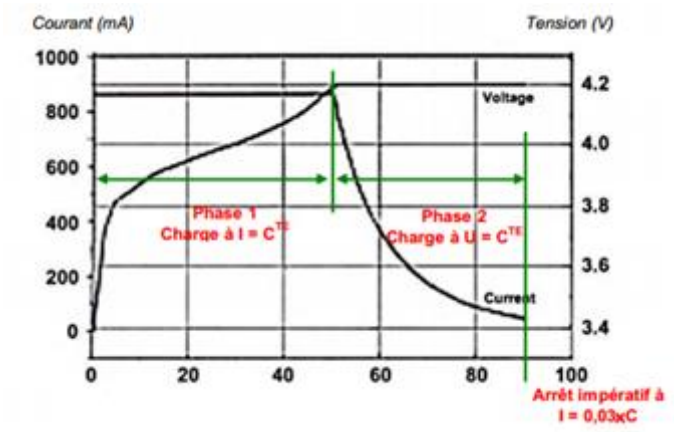


Figure 24: Profil de charge d'un élément au lithium de 800 mAh

Attention à ne pas redémarrer une charge avant usage : Le chargeur enverrait un courant important, provoquant là aussi un échauffement inacceptable.

Contrairement aux anciennes batteries qui, en cas de charges partielles, accusent une chute brutale de leur capacité et donc une usure prématurée.

Par ailleurs, de gros progrès ont été réalisés en matière de durabilité,

Selon Bruno Monsuez, enseignant chercheur à l'ENSTA (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées) une batterie Lithium-ion est censée conserver 80 % de sa capacité à partir de sa sixième année de vie et jusqu'à son dixième anniversaire.

Actuellement, constructeurs automobiles, équipementiers et énergéticiens travaillent à définir des prises et des socles électriques normalisés et universels pour permettre aux usagers de recharger facilement leur véhicule électrique rechargeable.

Dans plusieurs pays et pour trouver une solution pour le temps de charge des batteries des voitures électrique, une autre solution et l'alternative à la recharge manuelle des batteries, c'est la location. Le principe : remplacer sa batterie dans une station au lieu de la recharger.[8]

Chapitre 3
Les systèmes hybrides

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Compte tenu des défis énergétiques actuels, les systèmes électriques hybrides présentent un atout intéressant en vue d'une meilleure maîtrise de l'énergie, en particulier lors de l'usage de sources d'énergies renouvelables.

Ces systèmes permettent de diversifier les sources afin de bénéficier de chacune d'entre elles en respectant leurs propres caractéristiques. Bien entendu, une stratégie de contrôle appropriée doit être mise en œuvre afin de gérer efficacement l'énergie tout en respectant les caractéristiques et contraintes de chacun des composant (sources, charges) du système. De plus, pour des systèmes d'entrainement, l'électronique de puissance permet de récupérer l'énergie durant certaines phases de fonctionnement, évitant ainsi de la dissiper sous forme de chaleur.

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables.

Les méthodes d'évaluation des systèmes hybrides autonomes et leurs avantages se sont beaucoup développés ces dernières années. L'optimisation de l'énergie éolienne et photovoltaïque avec un stockage électrochimique (accumulateurs), avec ou sans apport de diesel, dépend beaucoup des modèles économiques de chaque système pris séparément (éolien et photovoltaïque). L'avantage d'un système hybride par rapport à un système pur éolien ou pur photovoltaïque, dépend de beaucoup de facteurs primordiaux : la forme et le type de la charge, le régime du vent, le rayonnement solaire, le coût et la disponibilité de l'énergie, le coût relatif de la machine éolienne, le champ photovoltaïque, le système de stockage électrochimique et d'autre facteurs d'efficacité.

Minimiser le coût de stockage et réduire sa capacité est la raison essentielle de la combinaison des systèmes éolien et photovoltaïque.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

I. Généralités sur les systèmes hybrides électriques :

I.1 Moteur électrique:

Le problème avec la puissance variable et non garantie produite par les sources d'énergie renouvelables, peut être résolu par un couplage des sources d'approvisionnement et la formation d'un système dit hybride (SH). Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage.

D'un point de vue plus global, le système énergétique d'un pays donné peut être considéré comme un système hybride.

I.2 Régime du fonctionnement :

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi réseau connectés. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc.

I.3 La structure du système hybride :

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système. Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale toute entière.

Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc …

La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système

photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc. [6]

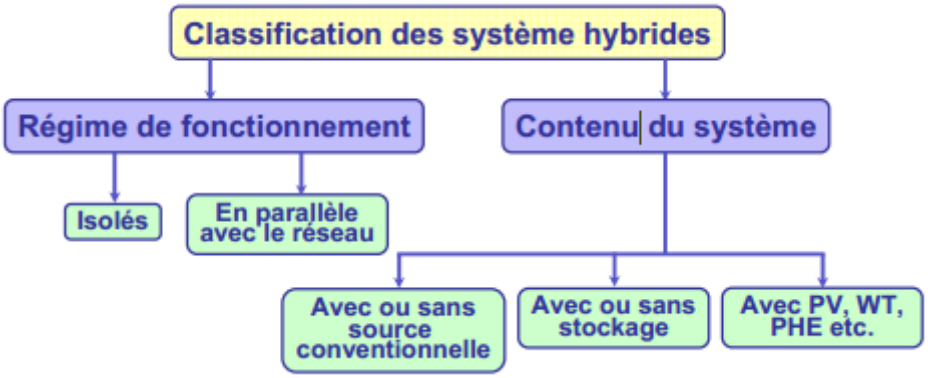


Figure 25: Classification des systèmes hybrides

II. Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle

Ce type de système hybride est utilisé le plus souvent dans des sites qui se caractérisent par un climat chaud comme par exemple l'Arabie saoudite, Maldives, sud du Maroc, là où le potentiel solaire est important.

L'objectif de ces systèmes lorsqu'ils travaillent en mode autonome, est d'alimenter sans interruption une maison un bâtiment de logements ou administratif ou un village. D'autres systèmes alimentent des centres de recherche ou sont également connectés au réseau électrique.

Les systèmes autonomes contiennent souvent des batteries mais aussi d'autres dispositifs de stockage. Les batteries et le champ photovoltaïque produisent du courant continu. Par contre, les moteurs diesel peuvent entraîner des générateurs continus ou alternatifs. Le plus souvent les consommateurs demandent du courant alternatif ; on distingue alors différentes structures de systèmes selon le type de la machine électrique couplée avec le moteur diesel.

La première configuration est la connexion série. Dans ce cas, le générateur diesel est connecté sur le bus courant continu. La connexion peut être directe (dans le cas d'un

générateur de courant continu) ou à travers un redresseur. L'installation photovoltaïque et la batterie sont aussi liées à ce bus. Le consommateur est alimenté par un onduleur.

Dans cette configuration, le générateur diesel peut alimenter la charge à travers les convertisseurs électroniques ou charger la batterie. D'après la stratégie de gestion du système hybride, l'énergie produite par l'installation photovoltaïque peut directement alimenter la charge ou passer par la batterie. Les avantages de cette structure de système sont :

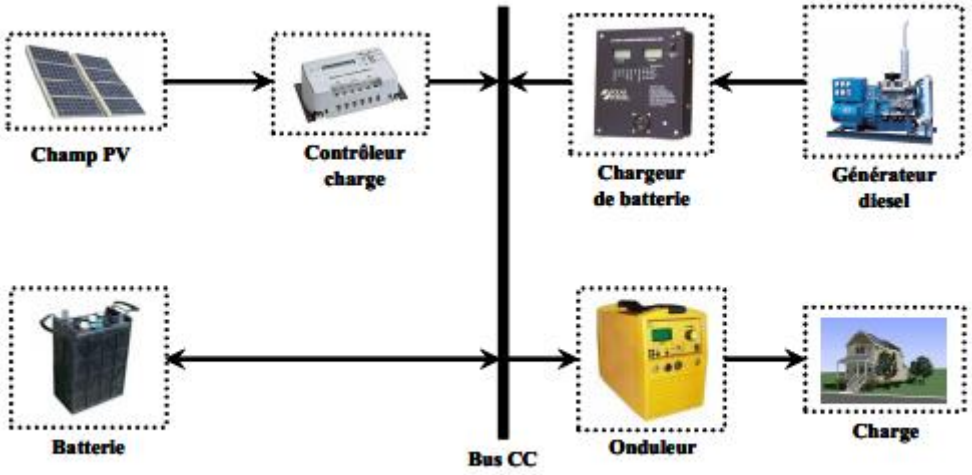


Figure 26:Système hybride avec connexion série

• Un dimensionnement facile du générateur diesel ;

• Un schéma électrique simplifié à cause d'une absence de commutation des sources d'énergie en courant alternatif ;

• La mise en marche du générateur diesel n'est pas liée avec une interruption de l'alimentation électrique ;

• Grâce à l'onduleur, le consommateur peut être alimenté avec une tension, dont la forme du signal, la valeur et la fréquence sont convenables.

Les inconvénients sont :

• L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière à ce qu'il puisse couvrir la charge maximale possible ;

• La batterie doit avoir une grande capacité ;

• Un rendement relativement faible dans le cas d'un générateur diesel à courant

alternatif, parce que la puissance fournie est convertie deux fois avant d'arriver au consommateur ;

• Une avarie éventuelle de l'onduleur provoque une coupure totale de l'alimentation électrique.[7]

La deuxième configuration possible est à commutation. Elle est souvent utilisée malgré quelques désavantages. Le consommateur peut être alimenté soit par la source conventionnelle, soit par l'installation photovoltaïque et la batterie via l'onduleur. L'alimentation par les deux simultanément n'est pas possible. Le générateur diesel peut charger la batterie par l'intermédiaire d'un redresseur. La gestion du système doit être automatique à cause de la complexité du système hybride.

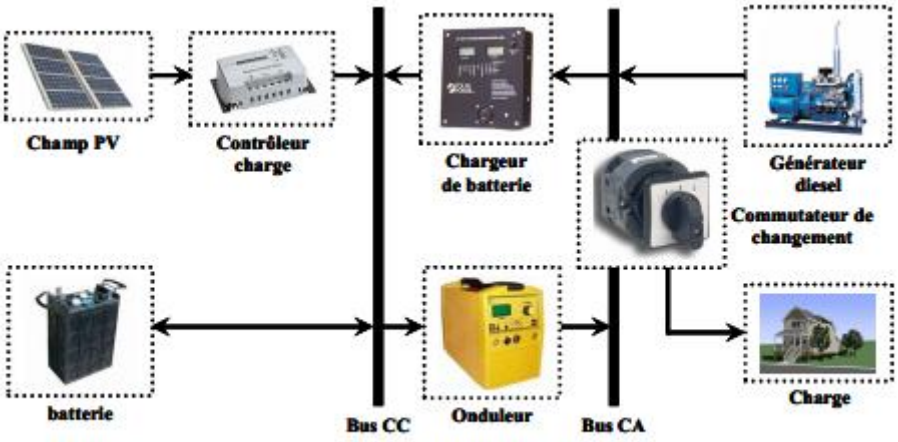


Figure 27 : Système hybride à commutation

Les avantages de cette configuration sont :

• Le système possède un rendement plus haut, parce que le générateur diesel peut alimenter directement la charge, d'où une baisse de la consommation de fuel ;

• L'onduleur peut assurer au consommateur la tension demandée en forme et valeur ;

• Une avarie de l'onduleur n'engendrera pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique, parce que La charge peut être satisfaite par le générateur diesel.

Les inconvénients sont :

• L'apparition d'une coupure instantanée de l'alimentation lors de la commutation des sources ;

• Le générateur et l'onduleur doivent être dimensionnés pour la consommation maximale du système. De cette façon, ils fonctionnent avec un moindre rendement lors les périodes de faible charge ;

• Une construction complexe

La dernière configuration d'un système hybride photovoltaïque/source conventionnelle est à connexion parallèle. Ici le générateur diesel est interconnecté sur le bus de courant alternatif. [7]

L'installation photovoltaïque et la batterie sont liées sur un autre bus – de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut travailler soit comme redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe dans le chargement de la batterie, soit comme onduleur, quand la charge (ou une part d'elle) est satisfaite par les panneaux photovoltaïques et/ou la batterie. De cette façon, la charge peut être alimentée par les deux bus simultanément.

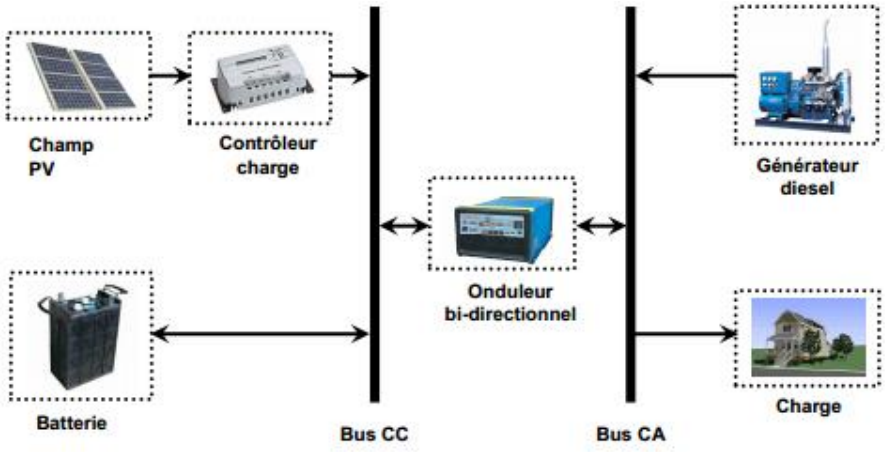


Figure 28 : Système hybride à connexion parallèle

Les avantages de cette configuration sont :

• Les composants du système ne doivent pas être dimensionnées pour la charge totale, parce que le consommateur peut être alimenté par les deux sources en même temps ;
• Un meilleur rendement, parce que les sources fonctionnent avec une puissance plus proche de leur puissance nominale. De plus il n'y a pas une conversion de l'énergie produite par le générateur diesel ;
• Diminution du nombre des convertisseurs électroniques, ce qui diminue le câblage nécessaire et l'investissement initial pour la construction du système hybride ;
• Une avarie du convertisseur électronique ne provoque pas de coupure de l'alimentation de la charge.

Les inconvénients de la configuration sont :

• Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système ;

• Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible ;
• Le personnel, qui s'occupe du fonctionnement correct du système, doit être qualifié ;
• Les batteries vieillissent rapidement (pas de chargeur) ;
• Le bus continu est plus difficile à contrôler. [8]

III. Véhicules hybrides :

III.1 Définition

On qualifie de véhicule hybride un véhicule qui associe au moins deux types de sources d'énergie et donc de type de moteurs différents pour assurer sa propulsion.

Pour les véhicules hybrides électriques (VHE) il s'agit d'une association d'un moteur thermique et d'un moteur électrique, c'est donc un véhicule qui dispose d'au moins deux sources d'énergie, une pour assurer l'alimentation du moteur thermique et l'autre pour le moteur électrique. Nous pouvons ainsi mettre un moteur électrique en double alimentation en intégrant les panneaux solaires ou des petites éoliennes. Dans la littérature il existe plusieurs définitions d'un véhicule hybride.

L'agencement des deux machines définit l'architecture du véhicule. Le véhicule hybride est une solution alternative pour la réduction de pollution atmosphérique. Mais il présente plusieurs problèmes tant au niveau sociétal (infrastructures nouvelles) qu'au niveau technologique, Par exemple, parmi les sources électriques utilisées pour les véhicules hybrides figurent les batteries.

D'un point de vue scientifique et technique, on peut souligner le verrou essentiel qu'est le couplage de deux types de moteur de nature différente et la répartition de leurs puissances.
Avant de rentrer dans les détails techniques des différentes architectures des véhicules hybrides électriques, nous allons tout d'abord parler brièvement de son histoire. [9]

III.2 Histoire du véhicule hybride électrique

Les deux premiers véhicules hybrides électriques ont été présentés à Paris en 1899. Celui conçu par l'établissement Pieper de Liège (Belgique), permet à la batterie d'être chargée par le moteur thermique à l'arrêt, et la machine électrique fournit une puissance de propulsion lorsque la demande dépasse la capacité du moteur thermique. Le second véhicule a été conçu par une compagnie française sur la base d'un véhicule électrique, l'idée originale étant d'augmenter l'autonomie du véhicule électrique en rechargeant la batterie par un moteur thermique relié à un générateur.

Figure 29 : Voiturette Pieper 6 H.P. en 1900.

En raison de l'absence de convertisseur statique à l'époque, le contrôle de la machine électrique est réalisé par des interrupteurs mécaniques et des résistances ; il est donc moins performant et ne permet pas d'exploiter tout le potentiel des moteurs électriques (plage de fonctionnement et rendement). Pour les mêmes raisons que le véhicule électrique, le développement du VHE s'est interrompu pendant une longue période. En 1975, Dr. Victor Wouk a construit une Buick Skylark en version hybride parallèle qui pouvait atteindre une vitesse maximale de 129 km/h, avec une accélération de 0 à 100 km/h en 16 secondes. Au début des années 90, les industries automobiles ont commencé à concevoir les prototypes de VHE permettant de diminuer la consommation en carburant de leurs modèles conventionnels. [10]

Rapport-Gratuit.com

On peut citer pour exemple, la Ford Prodigy, la General Motors Precept, la Renault Next et Volkswagen Chico

Figure 30 : Ford Prodigy

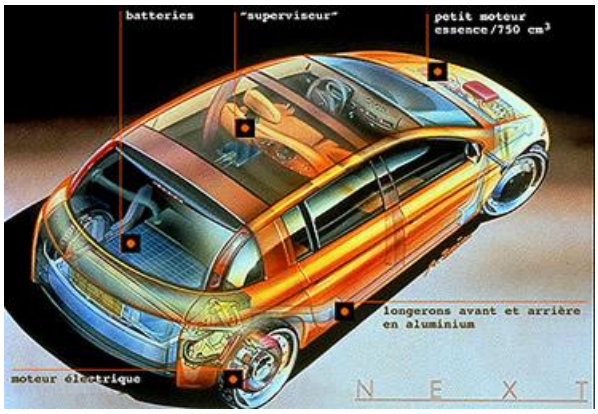


Figure 31 : Volkswagen Chico.

Les développements les plus significatifs sont la Toyota Prius et la Honda Insight qui sont les premiers VHE commercialisés en 1997 et ont à ce titre une valeur historique dans le domaine du transport individuel.

Avec un million d'exemplaires vendus en 10 ans, la Toyota Prius est de loin le VHE le plus vendu depuis sa première génération NHW 10 apparue en 1997 Cette voiture a une configuration de type série/parallèle

Figure 32 : Toyota Prius (NHW20 depuis 2003).

Figure 33 : Architecture Toyota Prius rechargeable.

III.3 Éléments constituant un véhicule hybride

Un véhicule hybride électrique est composé de deux organes de propulsion qui sont de nature différente ; en général il s'agit d'un moteur électrique et d'un moteur thermique. On associe à ces deux moteurs des organes de stockages d'énergie correspondants : stockage d'énergie électrique (batterie, super-condensateurs) et stockage d'énergie fossile (réservoir de carburant), un calculateur de gestion d'énergie et des organes de transmission mécaniques

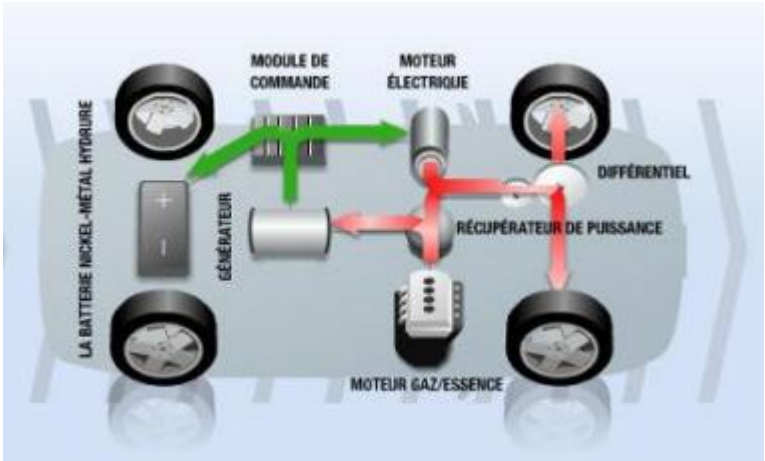


Figure 34 : Schéma de principe d'une voiture hybride (Source Toyota).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

III.4 Principales architectures de véhicules hybrides

Selon la manière d'agencer les différents organes de propulsion du véhicule hybride, on définit différentes architectures du véhicule. On distingue trois grandes architectures: l'architecture série, l'architecture parallèle et l'architecture dite série-parallèle. Ce qui différencie les trois architectures, c'est la façon de considérer la nature du point de jonction entre les différentes chaînes de traction, appelé "nœud". Dans l'architecture "série", le nœud est électrique, dans l'architecture parallèle, il est mécanique [9]

III.4.1 Architecture série

On note que l'organe de propulsion du véhicule est un moteur électrique et que celui-ci est directement relié à la partie traction. Une deuxième machine électrique produit de l'énergie électrique en étant entrainée par un moteur thermique. Les nombreuses conversions de puissance (thermique/mécanique, mécanique/électrique, électrique/électrique, électrique/mécanique et enfin mécanique/mécanique) dégradent le rendement. Ces conversions permettent toutefois de découpler les roues du moteur thermique, et donc de faire fonctionner le moteur thermique à un régime de fonctionnement plus favorable. Le véhicule hybride série permet ainsi d'obtenir des véhicules à émissions faibles, en particulier dans des cycles urbains. Il est généralement bien adapté aux véhicules lourds.

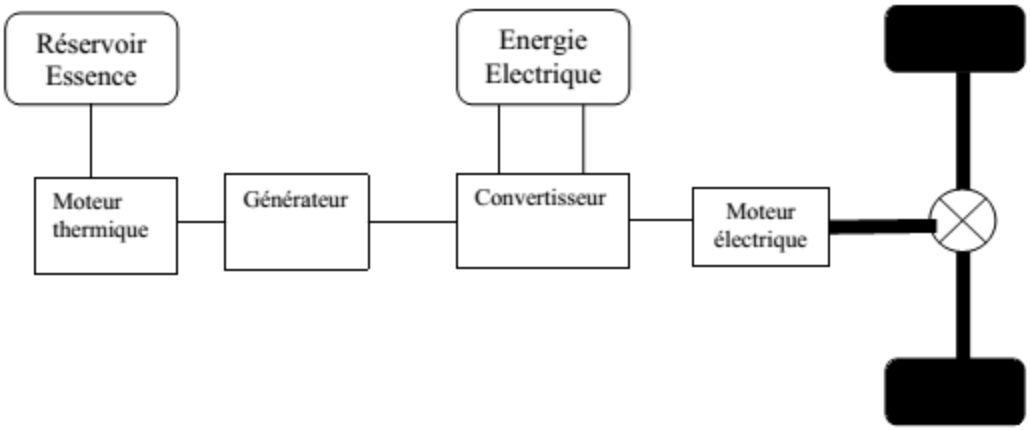


Figure 35 : Architecture série d'un véhicule hybride

Ce système est aussi très bien adapté à un fonctionnement en mode électrique dans les limites de l'autonomie fournie par la batterie choisie. [9]

III.4.2 Architecture parallèle

Dans cette architecture, les deux moteurs thermique et électrique peuvent chacun propulser le véhicule, car ils sont directement liés aux roues du véhicule. Le moteur thermique est plutôt utilisé à haute vitesse et le système électrique est utilisé comme appoint pour les accélérations, la récupération et éventuellement sur les côtes et au démarrage.

Le moteur thermique est utilisé, en général, pour rouler sur route et autoroute, et la batterie fournit un appoint pour les accélérations, la récupération, le ralenti et parfois permet les démarrages. En zone urbaine, on peut utiliser un mode électrique seul si la batterie le permet ou un mode hybride mixte si la batterie est plus modeste. De nombreuses variations sont réalisables et toutes ne sont pas nécessairement intéressantes. Dans le système hybride parallèle, le moteur thermique et le moteur électrique peuvent agir indépendamment sur la traction. Dans la plupart des cas le moteur thermique est associé à un réducteur ou une boîte de vitesses avec un embrayage. Le moteur électrique sert à assurer certains régimes de pointe en accélération ou la traction à basse vitesse. Par rapport à la propulsion hybride série, le système permet une réduction de la taille de la machine électrique et de la batterie.

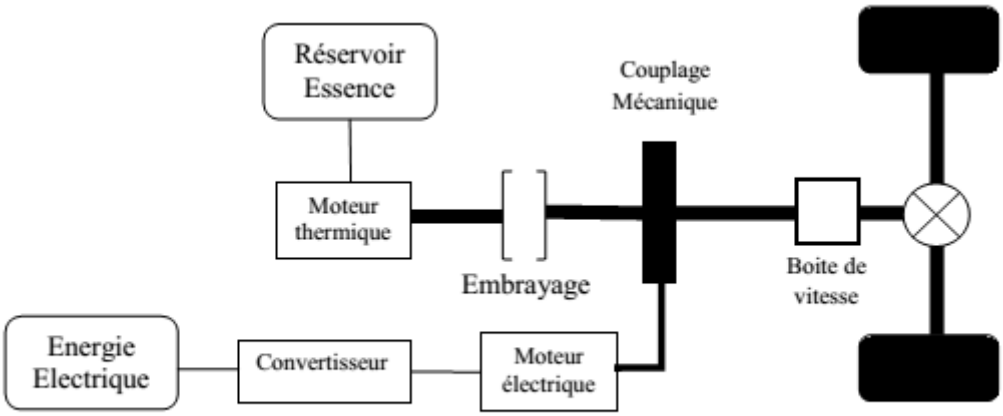


Figure 36 : Architecture parallèle d'un véhicule hybride

Le véhicule hybride parallèle permet généralement d'obtenir un très bon rendement à haute vitesse puisque la transmission mécanique est alors optimale. À basse vitesse, le rendement énergétique du système n'est pas très bon, car le moteur thermique, s'il est utilisé, est lié aux roues et les points de travail ne peuvent pas être choisis de façon optimale. Si le ou les moteurs électriques sont utilisés, la situation ne sera malheureusement pas meilleure. La récupération d'énergie peut améliorer sensiblement cette situation. Le véhicule

hybride parallèle a souvent un bon rendement, surtout pour des cycles où les points de fonctionnement à vitesse élevée sont en nombre important. Les émissions dépendent du moteur thermique et des catalyseurs utilisés. [9]

III.4.2 Architecture série-parallèle

Le véhicule hybride dit série-parallèle est un véhicule qui combine les avantages de la structure série et de la structure parallèle. Cette association se paie par le fait que le véhicule devient complexe et coûteux. Dans cette structure, on fait intervenir les composants de la structure parallèle et ceux de la structure série dont les principaux sont : un moteur thermique, une génératrice et un moteur électrique. Un organe mécanique, le train planétaire, permet le couplage des puissances mécaniques des machines électriques et thermiques.

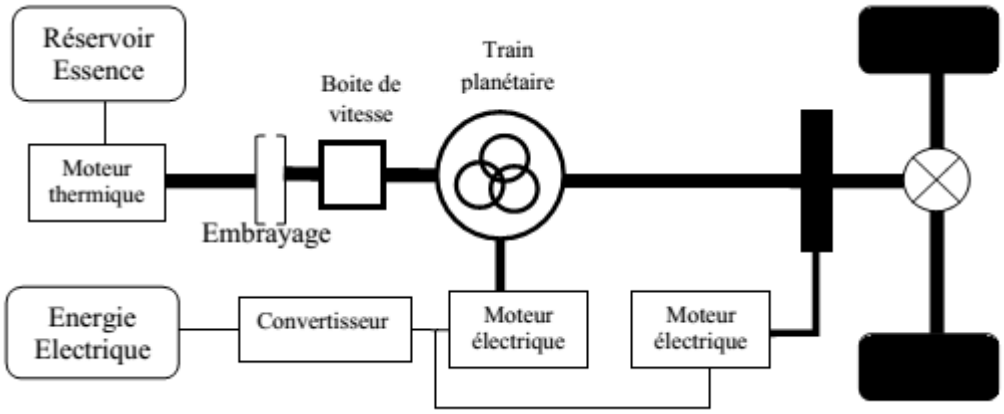


Figure 37 : Architecture série-parallèle d'un véhicule hybride.

On peut noter qu'à basse vitesse, le comportement de ce véhicule est comparable aux hybrides série, et à haute vitesse, comparable aux hybrides parallèle.

Ces systèmes, appelés série – parallèle, sont intéressants dans la mesure où ils offrent de nombreux modes de fonctionnement et qu'ainsi ils permettent de se rapprocher d'un optimum énergétique quel que soit le point de fonctionnement.

Récapitulant les trois structures des véhicules hybrides, leurs avantages et leurs inconvénients dans le tableau ci-dessous.

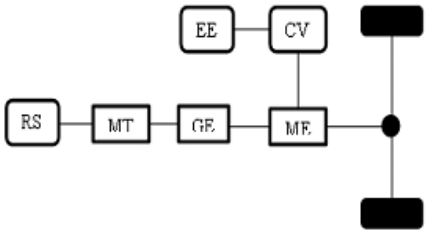
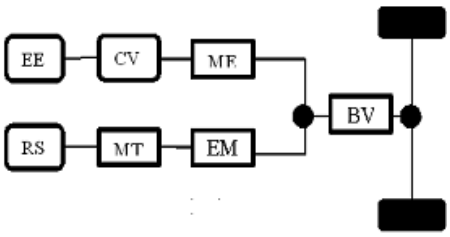
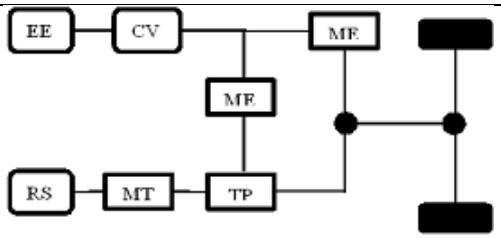
Architecture	Schéma	Avantages	Inconvénients
Série		- Moins polluant - Relative facilité de commande	-Faible rendement global -ME de taille importante -Coût élevé (3 machines de puissance maximale)
Parallèle		- Mode tout électrique - Bon rendement global - Récupération au freinage MT débrayé	Rupture de couple lors des changements de rapports.
Série-Parallèle		Combine les avantages des HS et HP	- Complexité de Commande - Coût élevé

Tableau 1 : Comparaison des différentes architectures

EE = Énergie Électrique
CV = Convertisseur
RS = Réservoir d'essence
MT = Moteur Thermique
GE = Générateur
ME = Moteur Électrique
BV = Boite de Vitesse
EM = Embrayage
TP = Train Planétaire

Les ingénieurs de nos jours pensent à une nouvelle hybridation pour les voitures 100% électrique, ce système consiste à faire avancer les voitures électrique grâce à la seule énergie du soleil, c'est ce que propose le C-Max Solar Energi Concept grâce à des cellules photovoltaïques à concentration.

Une version prototype du monospace compact Ford hybride rechargeable dont le pavillon a été recouverte de 1.5 m2 de cellules photovoltaïques à haut rendement Sunpower. Avec c'est 300 W elle peut parcourir au grand maximum une dizaine de kilomètres après une journée complète bien ensoleillée. Le concept C-Max Solar Energi devient ainsi le premier hybride rechargeable pouvant recharger sa batterie sans être branchée sur le secteur, même s'il peut toujours l'être en cas de nécessité. En revanche, il doit disposer d'un concentrateur solaire à lentilles de Fresnel pour parvenir à se passer de prise.

Les systèmes hybrides se composent donc de trois types : série, parallèle, ou une combinaison entre les deux, chacune représente des avantages et des inconvénients, nous pouvons choisir le type d'installation selon l'application. L'utilisation des panneaux photovoltaïque reste la solution la plus innovante dans les futures voitures.

Dans le chapitre suivant je vais présenter les cellules photovoltaïques, leurs principes de fonctionnement, les différents types de cellules solaires ainsi que leurs caractéristiques électriques. [9]

Chapitre 4
ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

L'épuisement des ressources fossiles étant irrémédiable, il est indispensable de trouver des solutions alternatives pour les remplacer, d'autant plus que ces sources d'énergie sont polluantes. La part des énergies fossiles dans le mix énergétique mondial est cela dit aujourd'hui considérable (80%) et il n'est pas envisageable de renoncer au charbon, au gaz naturel et au pétrole à court terme. Augmenter le rendement des installations et développer de nouvelles technologies plus respectueuses de l'environnement est donc impératif.

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...).

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante :

La quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an.

Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité : c'est l'énergie solaire photovoltaïque. Ce mode de production ne nécessite pas de réseau de distribution

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

L'éclairement ou irradiance est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m2 (watt par mètre carré). Le S.I. (Système international d'unités) recommande d'utiliser le symbole E.

L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J m-2 (joule par mètre carré). L'ISES (International Solar Energy Society) recommande le symbole H. D'autres unités plus courantes sont le Wh/m2 (watt heure par mètre carré) bien que ce dernier ne doive pas être utilisé puisque n'appartenant pas au système international d'unités(SI).[11]

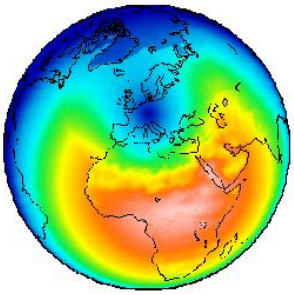


Figure 38 : Rayonnement solaire sur la terre

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à 1367W/m². Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000 W/m2.

La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air AM.

Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000 W/m2 et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1).

Les conditions standards de qualification des modules photovoltaïques sont : un spectre AM1.5 sous un éclairement de 1000W/m² et une température de 25°C. Les constructeurs de panneaux solaires spécifient les performances de leur matériel dans les conditions normalisées citées ci-dessus (S.T.C. : Standard Test Conditions). [11]

L'irradiation solaire dépend de:

- de l'orientation et l'inclinaison de la surface.
- de la latitude du lieu et son degré de pollution.
- de la période de l'année,
- de l'instant considéré dans la journée.
- de la nature des couches nuageuses.

	Irradiation			Rendement PV		
	Minimum kWh/m²/Jour	Moy. Journa. kWh/m²/Jour	Moy. Annu. kWh/m²/Jour	Moy. Journa. kWh / kWc	Moy. Annu. kWh/kWc/An	Exemple de zones
Zone 1	< 1	< 2.5	< 1000	< 1	< 750	Europe du nord
Zone 2	1 - 3	2.5 - 4	1000 - 1500	3 - 5	750 - 1100	All. nord - Esp. Nord
Zone 3	3 - 5	4 - 6	1500 - 2000	3 - 5	1100 - 1500	Esp. Sud - Afr. Centr.
Zone 4	> 5	> 6	> 2000	> 5	> 1500	Afr nord & Sud

Figure 39 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m²/jour sur un plan horizontal

Rapport-Gratuit.com

La combinaison de tous ces paramètres produit la variabilité dans l'espace et le temps de l'irradiation journalière. Des cartes météorologiques sont établies et nous renseignent sur l'irradiation moyenne par jour ou bien sur une année.

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire(ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.

Figure 40 : Panneau photovoltaïque

Figure 41 : Cellule photovoltaïque (Monocristalline)

Figure 42 : Champ photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil.

II. La cellule photovoltaïque

II.1 Historique

L'utilisation de l'énergie solaire remonte à l'Antiquité. Les Grecs allumaient en effet la flamme olympique grâce à un système de miroirs avec les rayons du soleil. Le français Salomon de Caus construit en 1615 une pompe solaire, grâce à l'utilisation d'air chauffé par le rayonnement solaire. En 1747, Georges-Louis de Buffon expérimente un miroir qui concentre la lumière du soleil en un seul point focal. Il arrive à faire fondre un morceau d'argent (la température de fusion de l'argent est de 1 044 °C). À la fin du 18e siècle, grâce à une lentille à liquide qui concentre les rayons solaires, Antoine Lavoisier construit un four solaire qui atteint la température de 1 800 °C.

En 1839, le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

En 1875: Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

En 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearsonet Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

En 1958: Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

En 1973: La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

En 1983: La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".

C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé. [11]

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.2 Les différentes technologies

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium).

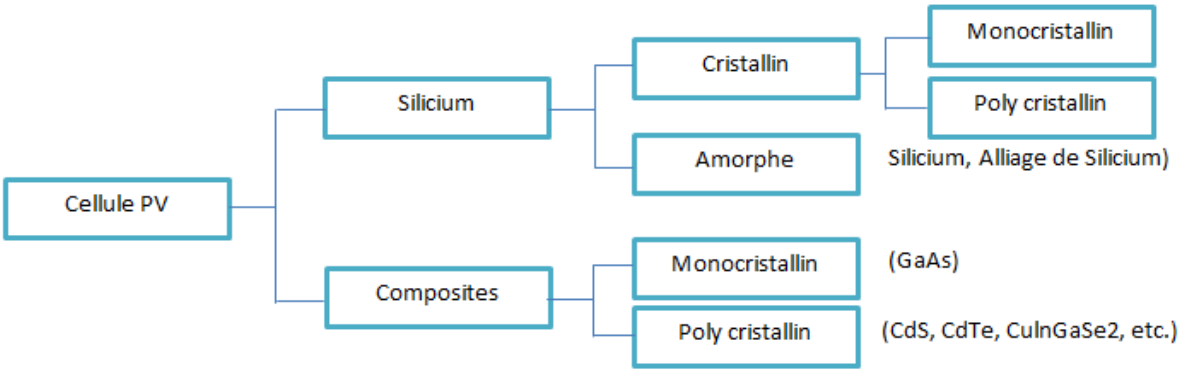
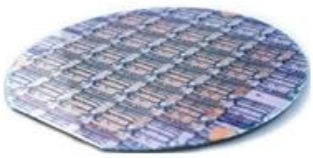


Figure 43 : Différentes technologies de fabrication des cellules photovoltaïque

II.3 Les modules photovoltaïques au silicium

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel. Le silicium est fabriqué à partir de sable quartzeux (dioxyde de silicium). Celui-ci est chauffé dans un four électrique à une température de 1700 °C. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium. Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98% seulement. Ce silicium est ensuite purifié chimiquement et aboutit au silicium de qualité électronique qui se présente sous forme liquide, puis coulé sous forme de lingot suivant le processus pour la cristallisation du silicium, et découpé sous forme de fines plaquettes (wafers). Par la suite, ce silicium pur va être enrichi en éléments dopants (P, As, Sb ou B) lors de l'étape de dopage, afin de pouvoir le transformer en semi-conducteur de type P ou N. La diffusion d'éléments dopants (bore, phosphore) modifie l'équilibre électronique de ces plaquettes (wafers), ce qui les transforme en cellules sensibles à la lumière.



Wafers

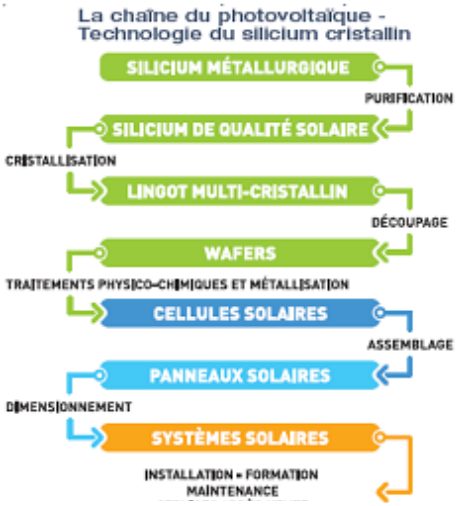


Figure 44 : Chaine de fabrication des modules photovoltaïque

La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner pendant plus de deux ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication.

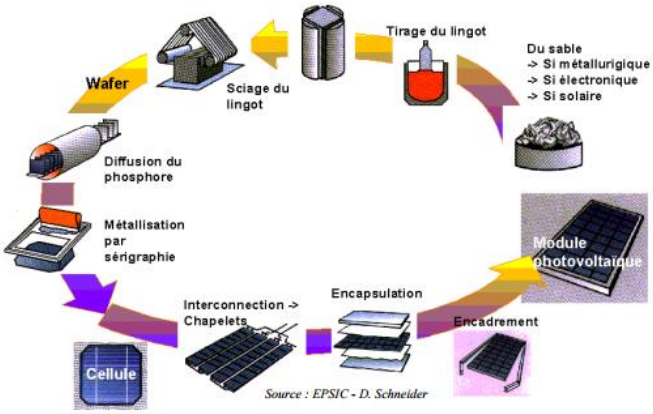
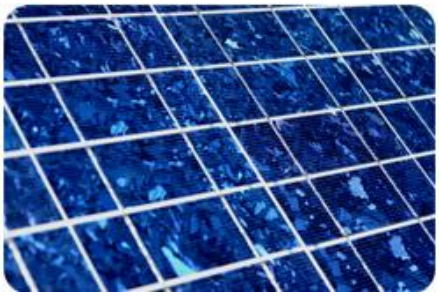
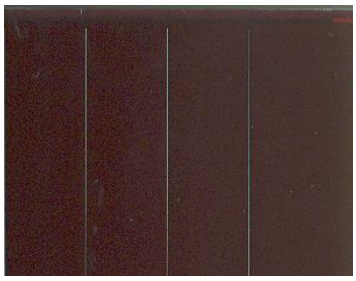


Figure 45 : Processus de fabrication des modules photovoltaïque

Les cellules monocristallines et poly cristallines sont fragiles. Elles sont donc placées entre deux plaques de verre (encapsulation) afin de former un module. [11]

Panneaux PV à cellules monocristallines	Panneaux PV à cellules poly cristallines	Panneaux PV amorphes
		
Ils sont des photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie; plus onéreux, il est cependant plus efficace que le silicium poly cristallin. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on	Les panneaux PV avec des cellules poly cristallines sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes). Elles ont un rendement de 11 à15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont	Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des

obtient un monocristal. Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule. Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un rendement de 12 à 18%, mais la méthode de production est laborieuse	aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure poly-cristalline. Durée de vie estimée : 30 ans. *Un cristal est un solide avec des façades polygonales, plus ou moins brillant, à structure régulière et périodique, formée d'un empilement ordonné d'un grand nombre d'atomes, de molécules ou d'ions.*	technologies poly cristallines ou monocristallines. Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfacesà bas coût en utilisant peu de matière première. *En chimie, un composé amorphe est un composé dans lequel les atomes ne respectent aucun ordre à moyenne et grande distance, ce qui le distingue des composés cristallisés. Les verres sont des composés amorphes.*

Tableau 2 : Différentes technologies de fabrication des panneaux photovoltaïque

II.4 Comparatif des différentes technologies

Matériau	Rendement	Longévité	caractéristiques	Principales utilisations
Silicium monocristallin	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Très performant * Stabilité de production d'W * Méthode de production coûteuse et laborieuse.	Aérospatiale, modules pour toits, façades,…
Silicium poly cristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production d'W. Plus de 50% du marché mondial.	Modules pour toits, façades, générateurs…
Amorphe	5 à 8% (13% en laboratoire)		* Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. *Fonctionnement si faible luminosité. *Fonctionnement par temps couvert. *Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	Appareils électroniques (montres, calculatrices…), intégration dans le bâtiment

Tableau 3 : Comparaison entre les différentes technologies

II.5 Principe de fonctionnement

II.5.1 Théorie des semi-conducteurs

La matière, qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse se compose de molécules qui sont des groupements d'atomes.

Conventionnellement on représente l'atome comme constitué d'électrons gravitant autour d'un noyau, comme le feraient des satellites autour d'une planète. Le noyau est constitué de protons et de neutrons. La charge électrique du neutron est nulle. Le proton a une charge positive égale en valeur absolue à celle de l'électron qui lui, est négatif. À son état normal un atome est électriquement neutre, le nombre d'électrons étant égal au nombre de protons.

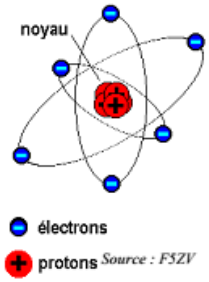


Figure 46 : Structure d'un atome

Les électrons, de charge négative, sont répartis par couches. Chaque couche ne peut comporter qu'un nombre limité d'électrons. Par exemple la couche K qui est la plus proche du noyau est saturée avec 2 électrons. C'est sur la couche la plus à l'extérieur (couche de valence) que les électrons ont le moins d'attraction avec le noyau, ce qui permet les liaisons avec les atomes voisins autorisant la cohésion de la matière. La couche de valence de la plupart des atomes n'est pas complète (sauf pour les gaz rares), elle peut ainsi accepter (provisoirement) des électrons, ou éventuellement en perdre. C'est le cas lors de l'ionisation d'un atome. La figure ci-dessous représente dans un plan les 14 électrons d'un atome de silicium gravitant autour du noyau composé de 14 protons et 14 neutrons. Les atomes sont susceptibles de se charger électriquement en gagnant ou en perdant un ou plusieurs électrons : on parle alors d'ions. Si un atome gagne un ou plusieurs électrons, la charge de l'atome devient négative (anion), et s'il en perd, la charge de l'atome devient positive (cation).

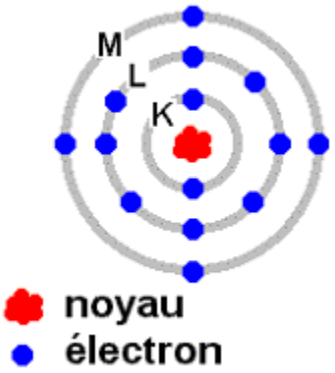


Figure 47 : Structure d'un atome d silicium

Dans le cristal de silicium (un cristal est un solide formé d'atomes régulièrement disposés et fermement liés les uns aux autres), chaque atome est lié à 4 atomes voisins avec lesquels il partage les quatre électrons de sa couche M. La répartition étant régulière on peut considérer qu'un atome est au centre d'un tétraèdre et que ses 4 voisins sont placés au sommet de ce tétraèdre.

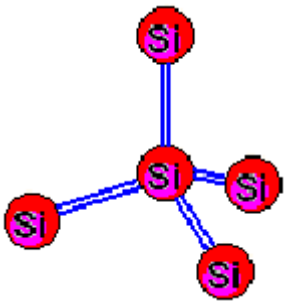


Figure 48: Ristak=l de silicium

Figure 49 : Cellule Photovoltaïque poly cristalline

Les semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Le silicium est un semi-conducteur.

Les semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Le silicium est un semi-conducteur.

Conduction intrinsèque : Lorsque la température s'élève, sous l'effet de l'agitation thermique, des électrons réussissent à s'échapper et participent à la conduction. Ce sont les électrons situés sur la couche la plus éloignée du noyau qui s'impliquent dans les liaisons covalentes. Dans le cristal, ces électrons se situent sur des niveaux d'énergie appelée bande de valence. Les électrons qui peuvent participer à la conduction possèdent des niveaux d'énergie appartenant à la bande de conduction. Entre la bande de valence et la bande de conduction peut se situer une bande interdite. Pour franchir cette bande interdite l'électron doit acquérir de l'énergie (thermique, photon...). Pour les isolants la bande interdite est quasi infranchissable, pour les conducteurs elle est inexistante. Les semi-conducteurs ont une bande interdite assez étroite.

L'atome qui a perdu un électron devient un ion positif et le trou ainsi formé peut participer à la formation d'un courant électrique en se déplaçant.. Si l'électron libre est capté par un atome, il y a recombinaison. Pour une température donnée, ionisation et recombinaison s'équilibrent ; la résistivité diminue quand la température augmente. Un semi-conducteur dont la conductivité ne doit rien à des impuretés est dit intrinsèque. En revanche, le fait de rajouter des impuretés (dopage), la conductivité du semi-conducteur est extrinsèque. [11]

II.5.2 Principe de fonctionnement du panneau photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction PN a été formée.

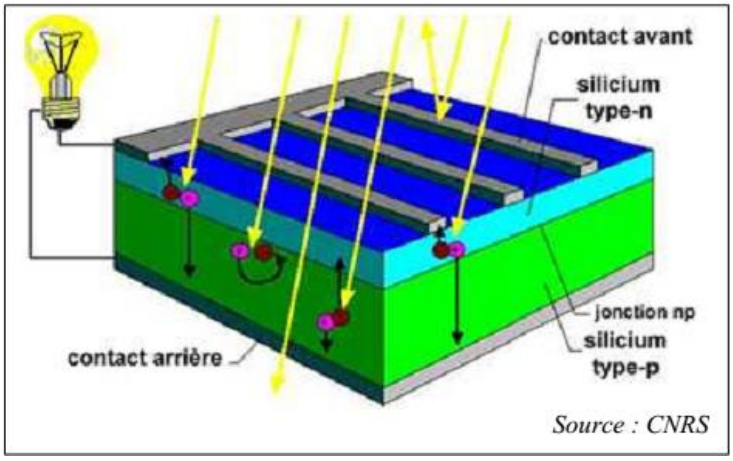


Figure 50 : Structure d'une cellule photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "bombardés " par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau.

L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque. [11]

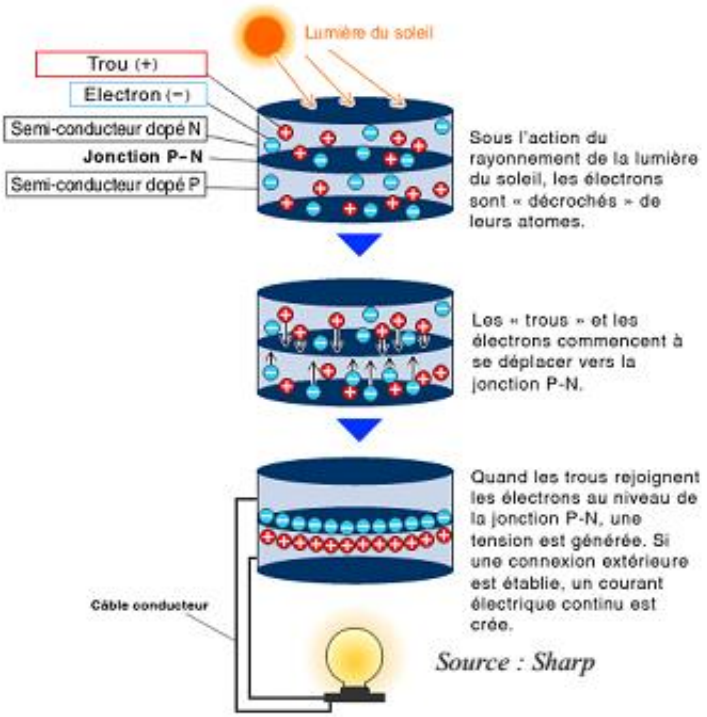


Figure 51: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

II.5.3 Association de cellules : le panneau solaire

Dans un groupement de ns cellules en série, toutes sont traversées par un même courant. La Figure ci-dessous montre la caractéristique résultante (Iscc, Vsco) d'un tel groupement dans des conditions idéales, obtenue pour ns cellules identiques (Icc, Vco) en sommant les caractéristiques élémentaires à courant constant: Vsco = ns*Vco. Pour un groupement de np cellules identiques en parallèle (fig. 8) : Ipcc = np*Icc

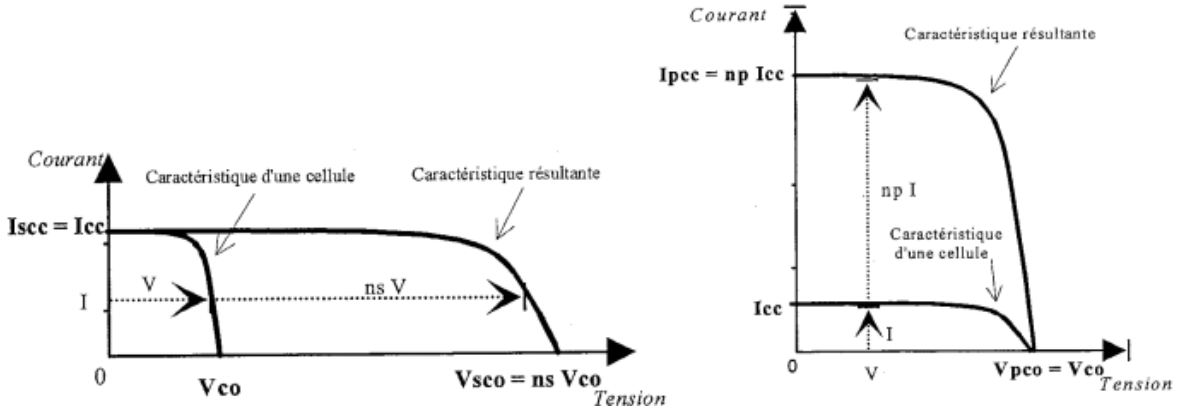


Figure 52 : caractéristiques de groupements série ou parallèle de cellules photovoltaïques identiques

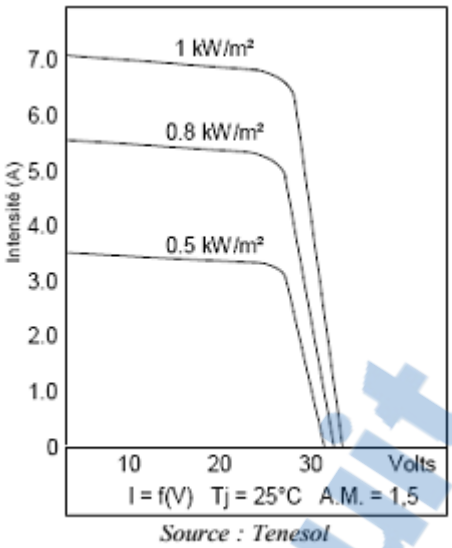


Figure 53: Caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque

Réseau de caractéristique I= f(U) suivant un éclairement variable (pour une température de jonction de 25°C et une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5.

Effet de la température :

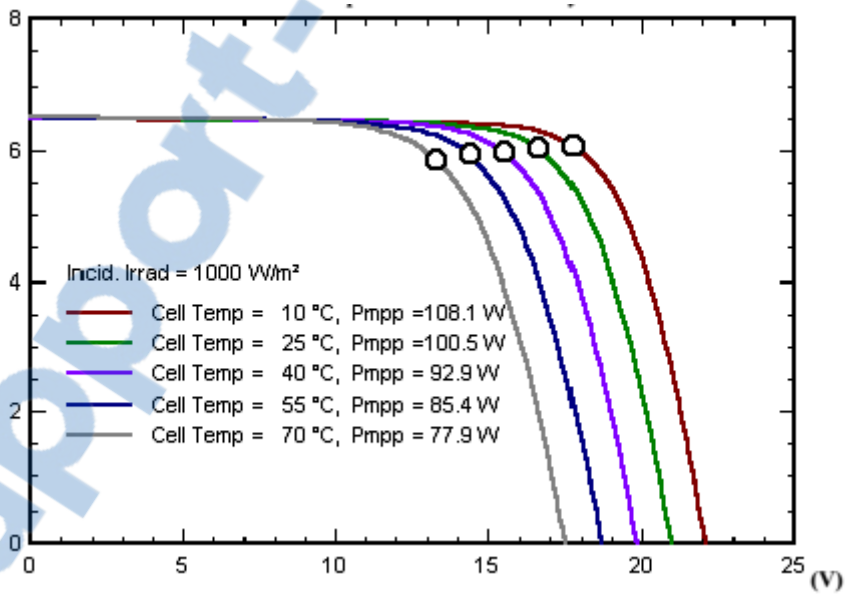


Figure 54 : Caractéristiques courant – tension I= f(V) d'un panneau PV à éclairement Constant en fonction de la température – Source Ecosystèmes

Rapport-Gratuit.com

La puissance crête d'une cellule PV, notée Wc(Watt crête) ou Wp(Watt peak), représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :

- éclairement solaire de 1 kW / m2;

- température de la cellule PV égale à + 25 °C.

- Masse d'air AM 1,5

II.6 Application des générateurs PHOTOVOLTAÏQUES :

II.6.1 Alimentations électriques faibles puissances

Les alimentations électriques faibles telles que les calculettes ou les chargeurs de piles. Des modules PV peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.

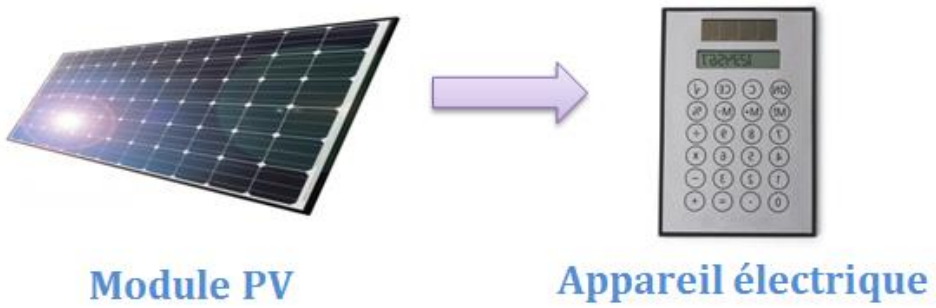


Figure 55 : Exemple d'une alimentation électrique de faible puissance

II.6.2 Installations électriques photovoltaïques autonomes

En site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation et une batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques:

Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie du batterie.

Figure 56 : Schéma de principe d'une installation autonome photovoltaïque

En site isolé on peut utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif. Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur qui est un dispositif électronique et statique qui convertit le courant électrique continu en courant alternatif avec la fréquence souhaitée.

Les panneaux photovoltaïque permettre de profiter de l'énergie solaire répartie au niveau du globe, ils sont plus écologiques et moins destructeurs envers la planète avec un rendement élevé, un pouvoir de couvrir jusqu'à 50% des besoins énergétiques en zones tempérées, et de convenir aux endroits même les plus isolés. Même si elle serait beaucoup plus efficace dans les parties les plus ensoleillé dans le monde, elle reste quand même rentable sur le moyen terme en France ou même en Europe du Nord.

Le Maroc bénéficie d'un gisement solaire considérable et d'un ensoleillement si important. C'est dans cette optique s'articule mon étude sur un système hybride d'une voiture électrique à base d'une batterie et un panneau photovoltaïque sur le toit. [11]

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Chapitre 5
Système hybride d'une voiture électrique double alimentation

La mobilité électrique représente un enjeu, environnemental, climatique, technologique, économique et sociétal.

Elle se profile au cœur des évolutions de nos civilisations qui nous poussent de l'ère industrielle vers l'ère de l'information et des services qui influe sur nos comportements quotidiens, et en particulier nos modes de déplacement. Tout converge pour que la mobilité de demain soit très différente de celle que nous connaissons aujourd'hui. Et son évolution passera nécessairement par l'électricité.

L'accélération du développement économique et social du Maroc a engendré une progression significative de la demande en Énergie. Pour répondre à ses besoins énergétiques croissants, le Maroc a défini une nouvelle stratégie énergétique visant à sécuriser l'approvisionnement en énergie et à en optimiser l'accès, tout en rationalisant la consommation et en protégeant l'environnement.

Les énergies renouvelables sont alors une composante majeure de la nouvelle stratégie énergétique du royaume. En effet, le Maroc dispose d'un potentiel important en énergies renouvelables dont l'exploitation permettra de couvrir une part substantielle de ses besoins croissants et de contribuer à la protection de l'environnement en se substituant aux énergies fossiles.

Rouler dans des véhicules électriques pour usage urbain en utilisant l'énergie solaire comme source, contribue à la politique national. Pour se faire plusieurs étapes sont nécessaires à suivre.

L'étude suivante se focalise sur un type de voiture électrique, comme exemple ceux de terrains de golf ou citadine, elle peut être généralisée sur d'autres types de véhicules.

I. Conception de la voiture solaire :

I.1 Principe de fonctionnement

Le prototype sur lequel nous travaillons est la voiture électrique de golf de Yamaha G29, voici le schéma de principe du fonctionnement de la chaîne de traction électrique qui est utilisée sur une voiture de golf:

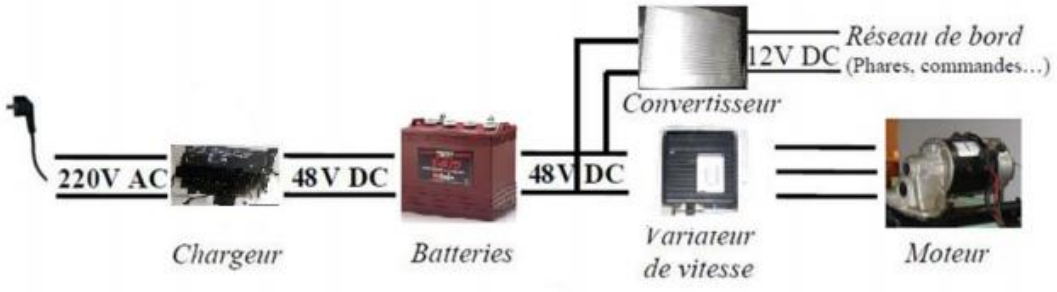


Figure 57 : Schéma de fonctionnement d'une voiture électrique de golf

Les batteries stockent de l'énergie sous forme chimique et doivent être chargées au moyen d'un chargeur via le réseau électrique 220V domestique.

Cette énergie est ensuite transformée via différents convertisseurs en énergie électrique puis en énergie mécanique via un moteur électrique. Un convertisseur auxiliaire permet l'alimentation du réseau de bord traditionnel de la voiture de golf.

L'ensemble est surveillé et géré par un variateur électronique. Tous les composants ont été intégrés à l'intérieur de la voiture de golf. Aucun appareil externe n'est nécessaire à l'utilisation de cette dernière.

Les différents types des moteurs électriques, et des régulateurs de vitesses ainsi que les types des batteries ont été déjà cités dans le 2ème chapitre, dans ce qui suit je vais présenter la partie qui nous permet de charger la voiture électrique.

I.2 Chargeur de la voiture électrique

Souvent les chargeurs de batterie bon marché du commerce ne comportent qu'un transformateur abaisseur et un pont redresseur dont les sorties + et – vont directement charger la batterie. Aucune régulation ou limitation en courant ou en tension ce. Ceci pourrait endommager la batterie.

Figure 58 : Chargeur de batteries à thyristors

En théorie un chargeur de batterie au plomb doit satisfaire aux exigences suivantes : fournir des électrons à la batterie afin que le plomb, qui s'est combiné au soufre présent dans l'acide sulfurique en formant du sulfate de plomb durant la réaction de charge (c'est-à-dire quand on fournit de l'énergie), reprenne son état de dioxyde de plomb sur les plaques des éléments . Ce processus ayant lieu avec du courant continu, il faut prévoir un redresseur entre la sortie du transformateur abaisseur et la batterie ; ce redresseur doit être dimensionné pour supporter le débit de courant réclamé par la batterie en charge.

Normalement on se sert d'un pont de diodes redresseuses nommé pont de Graetz. Dans ce chargeur on trouve deux diodes et deux thyristors et non pas quatre diodes. Ceci permet la synchronisation sur le secteur et l'utilisation de la demi-période de conduction de chaque thyristor pour contrôler la puissance délivrée. [12]

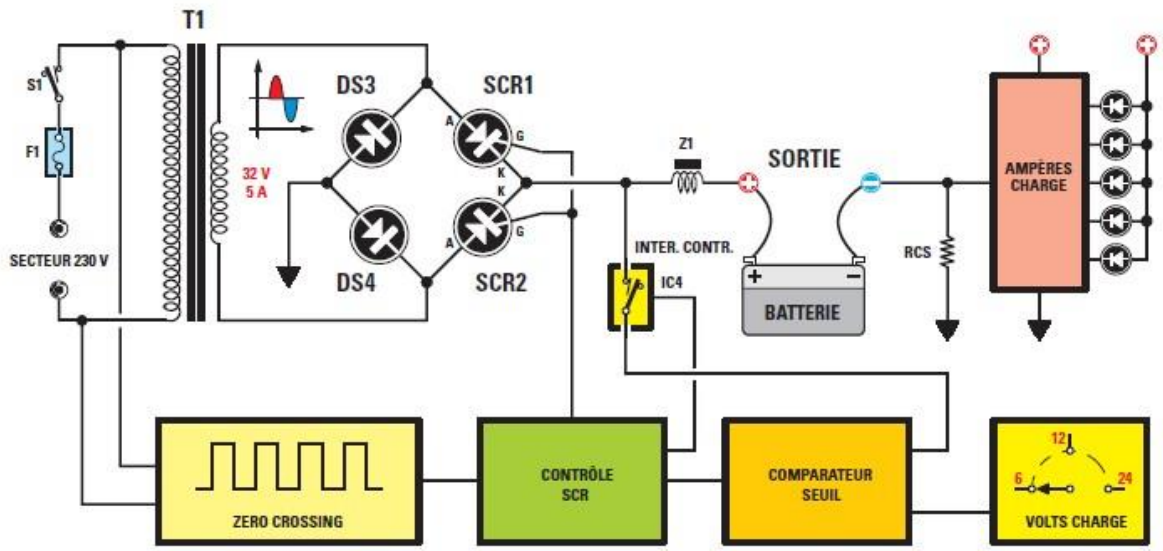


Figure 59 : Schéma de principe synoptique de notre chargeur de batterie.

On prélève le signal à 50 Hz du secteur 230 V qui fournit aux thyristors SCR, au point où la sinusoïde positive devient négative et vice versa ("zero crossing" ou passage par zéro), le synchronisme nécessaire pour contrôler le courant de charge en fonction de la tension de charge choisie à l'aide d'un commutateur. Au moyen de la résistance RCS nous mesurons continûment sur une échelle de LED le courant de charge.

Les diodes DS3-DS4 et les thyristors SCR1-SCR2 forment un parfait pont de Graetz fournissant la tension nécessaire pour charger la batterie. Le niveau de charge est établi au moyen du commutateur qui permet de choisir parmi les trois tensions 6, 12 et 24 V. Ce chargeur de batterie se fonde sur la possibilité de faire varier la tension de charge simplement en faisant varier le temps de conduction de la diode contrôlée qu'est le thyristor.[12]

I.3 Durée de vie d'une batterie

Contrairement à ce que l'opinion publique laisse entendre, le nombre de cycle de recharge n'est pas identique au nombre de fois que l'on recharge la batterie.

Si par exemple le niveau de décharge de la batterie descend à 50 %, on le recharge à 100 %, puis en recommençant l'opération. Nous venons de rechargez la batterie deux fois, mais deux recharges de 50 % correspondent à un seul cycle de recharge.

Contrairement donc à une idée reçue, il n'est pas nécessaire d'attendre que la batterie soit vide pour recharger. D'ailleurs, comme nous l'avons vu plus haut, c'est même tout à fait le contraire.

Enfin, la batterie devrait avoir une température comprise entre 0 et 45°C au moment de la charge. Généralement, si la température de charge dépasse vraiment les 45°C, il arrive qu'un circuit coupe la charge, laissant penser que la batterie est pleine alors qu'elle ne l'est pas. On estime que la température optimale est de 20°C. La température de fonctionnement (charge ou décharge) est un élément important dans la vie d'une batterie.

Figure 60: Trojan batterie utilisé pour la voiture électrique de golf

Il existe aussi une autre idée reçue qui consiste à dire que le fait de recharger la batterie alors que 'elle n’est que partiellement déchargée, endommage les accus. Cette idée reçue est liée au phénomène qui existait il y a quelques années sur les anciennes batteries appelé "effet de mémoire"

L’ "effet de mémoire" est un phénomène qui caractérise une batterie qui refuse de délivrer toute l’énergie qu’elle a en magasin, car elle a été rechargée avant d’être totalement épuisée et a mémorisé le seuil atteint au moment de la recharge comme seuil d’épuisement.

Les temps de charges et décharge sont rarement (voire jamais) exactement identiques au cours de plusieurs cycles successifs. Il faudrait vraiment que le consommateur cherche à reproduire l’ "effet de mémoire".

Même en laboratoire la reproduction de l’ "effet de mémoire" s’avère difficile, les utilisateurs n'ont donc rien à craindre.

II. Dimensionnement du système :

II.1 Problématique :

L’utilisation de la voiture électrique dans les terrains de golf consomme une énergie quotidienne importante, cela d’une part, d’autre part la durée de vie des batteries est limitée à un nombre fixe de cycles de charge-décharge. La voiture de golf Yamaha utilise quatre batteries de 12 volt avec une capacité de 180 Ah, l’utilisateur est donc obligé à chaque fois de changer les batteries, ce qui est coûteux. Cette étude a pour but de trouver la solution adéquate à ces problèmes.

II.2 Gisement solaire

À son origine, le rayonnement émis par le soleil atteint des valeurs considérables. Sur le chemin vers la terre, celles-ci sont fortement affectées par l’atmosphère et par la rotation de la terre autour d'elle même et autour du soleil. An niveau du sol, ceci se traduit par une atténuation de la puissance captée. Le rayonnement arrive sur la surface terrestre sous forme directe et diffuse. La durée d’insolation est dans le meilleur des cas au Maroc de 12 heures par

jour, ainsi des précautions doivent être prises au niveau de l'orientation et de l'inclinaison des capteurs afin d'optimiser le rendement des systèmes solaires.

Le rayonnement solaire incident moyen au Maroc varie de 4.7 à 5.6KWh par jour et par m^2 ce qui représente un ensoleillement compris entre 2800 heures par an pour les régions les moins favorisées et plus de 3400 heures par an pour celles qui sont les mieux exposées.

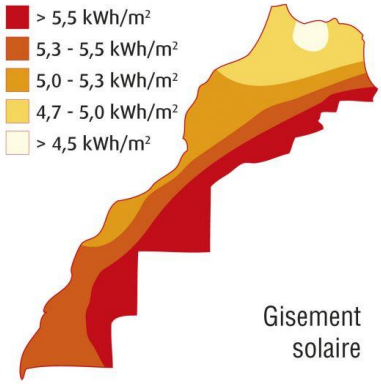


Figure 61:Cartographie du gisement solaire au Maroc (source : MAPM ,2013)

La durée d'ensoleillement est mesurée par des héliographes. La carte d'ensoleillement du Maroc nous montre : Le soleil se montre plus volontiers dans le sud et l'est du pays que dans le nord. Le Maroc dispose d'un gisement solaire de presque 320 jours/an et d'un potentiel moyen 5.5kWh/m².jour.

	Janvier	Mars	Mai	Juillet	Aout	Octobre	Décembre
Agadir	3,66	5,54	6,82	6,64	6,03	4,94	3,13
Casablanca	2,7	4,79	6,39	6,89	6,36	4,04	2,38
Laayoune	3,63	5,71	6,96	6,8	6,51	5	3,49
Essaouira	3,3	5,12	6,36	7,06	6,57	4,42	2,97
Fès	2,87	4,54	6,55	7,61	7,04	4,24	2,62
Marrakech	3,45	5,16	6,67	7,58	7,01	4,62	3,19
Nador	3,69	4,6	6,62	7,47	7,11	4,27	2,35
Ouarzazate	2,86	6,01	7,56	7,51	6,87	5,05	3,58
Oujda	2,89	4,69	6,67	7,65	6,65	4,3	2,67
Rabat salé	2,79	4,56	6,59	7,12	6,62	4,2	2,55
Safi	3,12	5,11	6,92	7,3	6,86	4,46	2,89
Tanger	2,53	4,48	6,78	7,62	7,08	4,11	2,3

Tableau 4 : Tableau donnant les Irradiations globales moyennes journalières de quelques villes du royaume en kWh/m² (Source: Météorologie Nationale).

II.3 Présentation de l'application PVGIS

Pour faire le dimensionnement de la voiture électrique solaire je me suis basé sur une application internet du centre de recherche scientifique de la commission européenne intitulé PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Il s'agit d'une carte géographique interactive où on peut positionner le lieu de réception et avoir l'ensoleillement total dans ce lieu.

PVGIS a besoin de données sur le rayonnement solaire afin de faire des estimations de la performance des systèmes photovoltaïques, et de faire les autres calculs possibles dans l'application Web. Pour se faire l'application combine entre deux solutions de mesure. Les mesures au sol du rayonnement solaire et les données de satellite.

Les mesures directes du rayonnement solaire au niveau du sol peuvent être faites avec un certain nombre d'instruments différents. Un instrument largement utilisé est le pyranomètre. En règle générale, l'instrument mesure tout le rayonnement provenant du soleil et du ciel ou les nuages. Les mesures des stations au sol donnent les meilleurs résultats. Il est également possible de mesurer avec une haute résolution temporelle, généralement toutes les minutes ou plus.

Les satellites à leur tour mesurent la lumière (visible ou infrarouge) provenant de la Terre. Cette lumière est principalement la lumière réfléchie par le sol ou des nuages. Le calcul du rayonnement solaire au niveau du sol prend en compte le rayonnement absorbé par l'atmosphère et réfléchie par les nuages.

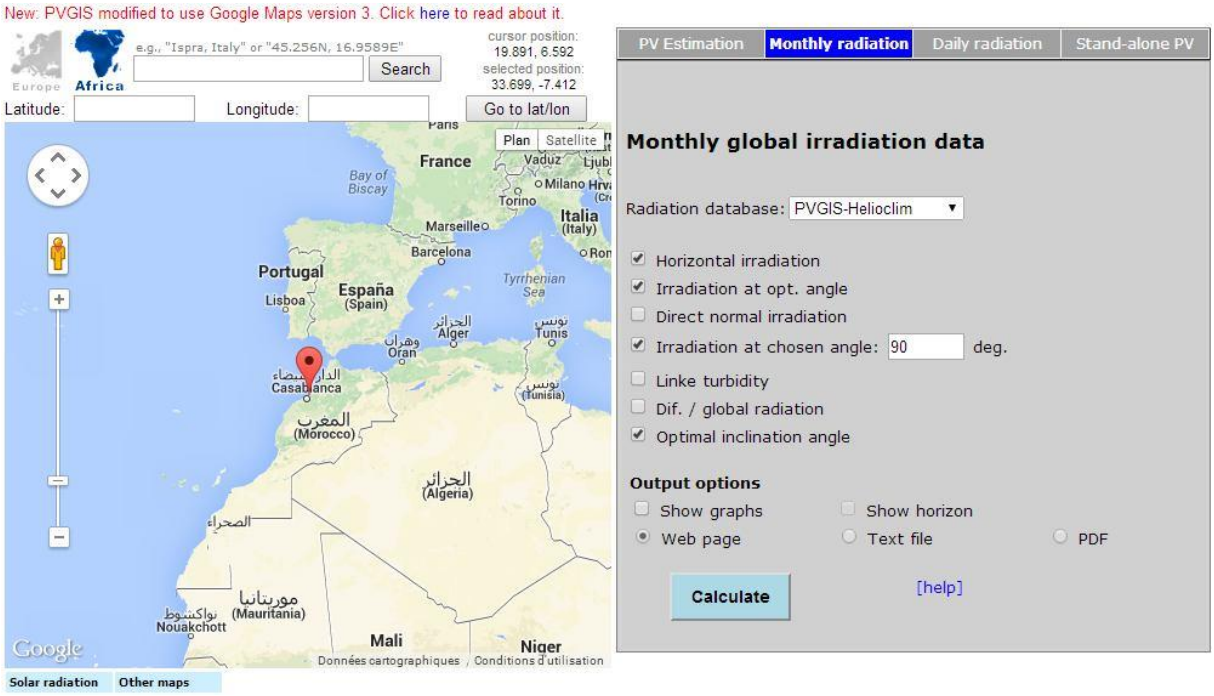


Figure 62 : interface de l'application PVGIS pour déterminer l'irradiation

Cette application affiche les valeurs moyennes mensuelles ou journalières selon notre choix d'un certain nombre de différentes grandeurs physiques.

Une fois que nous avons fait les choix de valeurs de données et d'autres options, nous faisons le choix de l'emplacement pour lequel nous voulons voir les données. Puis nous cliquons sur "calculer" pour voir les résultats dans une nouvelle fenêtre.

Cette application nous permettre aussi de faire l'estimation de la puissance d'une installation Photovoltaïque donnée en fournissant un peu d'informations sur l'installation.

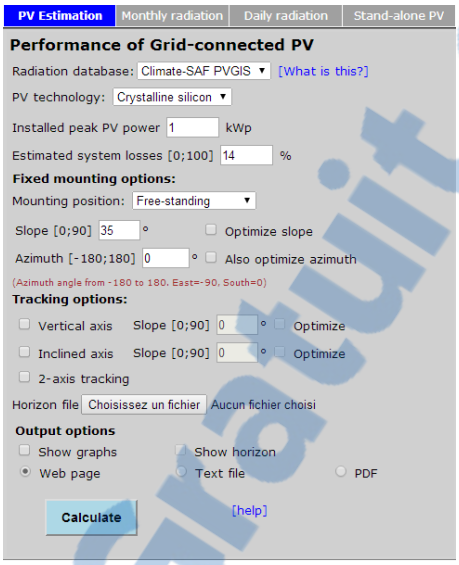


Figure 63: Interface pour estimer la puissance d'une installation

Cette application nous permet de déterminer la puissance requise pour une installation photovoltaïque.P pour se faire nous devons entrer plusieurs paramètres qui sont la technologie de fabrication du module photovoltaïque, la puissance crête du module déclarée par le constructeur. Il s'agit de la puissance que le module peut fournir dans les conditions de test standard qui sont une irradiation de 1000w/m^2 et une température de 25 degré. Nous pouvons introduire l'estimation des pertes. l'élévation, l'azimuth, les options de suivi de soleil selon l'orientation d'axe de rotation soit vertical ou incliné.

II.4 Consommation de la voiture électrique

La voiture électrique de golf de Yamaha G29 utilise pour rouler un moteur électrique de type série. Il s'agit d'un moteur électrique à courant continu qui a une puissance crête de 10KW (13.5 Peak Horse Power) à 4160 tours par minute pour un système à 48 volts. Ce moteur est couplé par une cannelure femelle à 19 dent.

Figure 64 : Moteur électrique de la voiture de golf

Rapport-Gratuit.com

Il s'agit d'un moteur à excitation séparée avec un système de régénération et qui utilise un régulateur qui fournit une augmentation de couple de 10%, et permettra d'augmenter la vitesse de la montée et la descente. Selon Yamaha ce moteur a un rendement élevé et un couple de démarrage important avec un rapport volume/puissance très supérieur à toutes les autres technologies. La puissance de ce moteur est de 2.6 KW, la vitesse maximale de la voiture est de l'ordre de 24 Km/h.

Le golf se pratique sur un terrain (ou parcours) de golf. Généralement, un parcours compte 18 trous mais il peut aussi n'en comporter que 9, voire moins. Sur un parcours de 9 trous, il s'agit parfois de réaliser 9 trous dans un sens (aller) puis de refaire les mêmes 9 trous (retour), soit un total de 18 trous.

Figure 65 : Parcours du terrain du Golf Royal de Mohammedia

Selon les utilisateurs des véhicules électriques dans les terrains de golf, la moyenne des distances parcourues par jour, varie entre 30 et 40 km pour compléter le parcours. Lors de cette étude nous optons pour 40 km comme référence.

Pour parcourir ces 40 km et avec une vitesse maximale de 24 km par heure, la voiture marche à environ 1 heure 40 minutes

24 km ➔ 1 heure

40 km ➔1h 40 min

Pourtant le moteur consomme 2.6 kWh toutes les heures de marche continue, nous avons donc une consommation journalière de la voiture de l'ordre de 4.316 KWh

2.6 Kwh➔ 1 heure

4.316 Kwh➔ 1h 40 min

Ces informations sont nécessaires pour pouvoir dimensionner notre installation photovoltaïque.

II.5 Dimensionnement de l'installation photovoltaïque

Après avoir déterminé la consommation de la voiture électrique, l'étape qui suit c'est de définir le type du panneau photovoltaïque à installer sur le toit de la voiture, ces caractéristiques et sa contribution dans la production de l'électricité.

Pour que la voiture électrique équipée par un module photovoltaïque sur le toit soit autonome, nous aurons besoin d'une moyenne quotidienne de production de l'électricité supérieur à celui de la consommation de la voiture.

II.5.1 Solution 1:

En utilisant l'application PVGIS et en choisissant le terrain de golf de la ville de Mohammedia, puis une puissance crête du système photovoltaïque de 1.5 KW nous obtenons les résultats suivants :

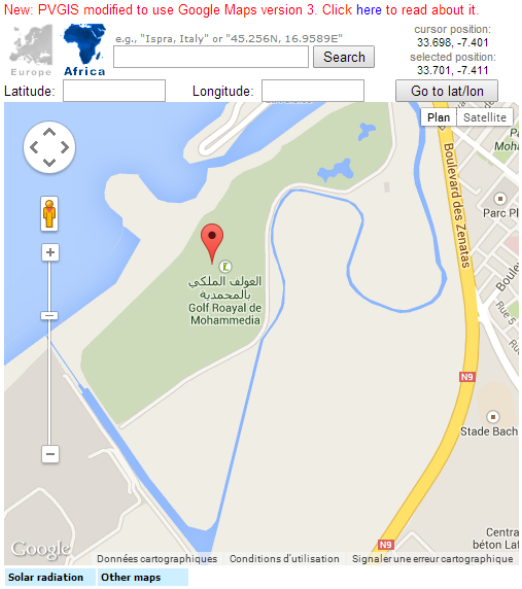


Figure 66 : Choix de la localisation sur la carte de l'application PVGIS

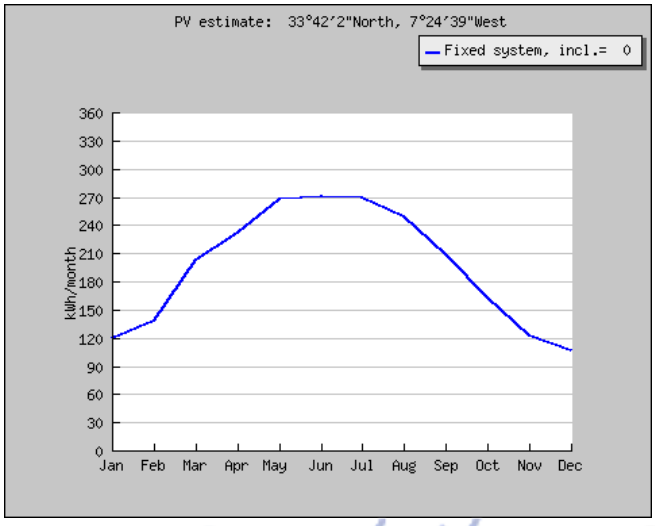


Figure 67 : Courbe de production de l'électricité par l'installation photovoltaïque fournit par l'application PVGIS

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.87	120	3.20	99.4
Feb	4.94	138	4.09	114
Mar	6.54	203	5.54	172
Apr	7.71	231	6.54	196
May	8.63	268	7.46	231
Jun	9.04	271	7.95	239
Jul	8.71	270	7.72	239
Aug	8.02	248	7.09	220
Sep	6.96	209	6.05	181
Oct	5.25	163	4.48	139
Nov	4.07	122	3.43	103
Dec	3.44	107	2.90	90.0
Yearly average	**6.44**	**196**	**5.55**	**169**
Total for year		**2350**		**2020**

Figure 68 : Résultat de la production quotidienne obtenu par l'application PVGIS

E_d: moyenne quotidienne de production de l'électricité à partir du système donné (kWh)
E_m: moyenne mensuelle de production d'électricité à partir du système donné (kWh)
H_d: moyenne des sommes quotidienne de l'irradiation globale par mètre carré reçus par les modules du système donné (kWh/m^2)
H_m: Montant moyen de l'irradiation globale par mètre carré reçus par les modules du système donné (kWh/m^2)

Pour faire les calculs, nous optons pour les conditions standards, une irradiation de 1000 w par mètre carré à 25 degré :

La puissance crête choisie est de l'ordre de 1500 w, le rendement du module photovoltaïque est 17%.

$$1500_{(w)} /1000_{(w/m2)}*0.17= 8.82 \ _{(m2)}$$

Pour que la voiture soit autonome avec un tel rendement, nous aurons besoin d'installer des modules photovoltaïque de 9 m2 sur le toit de la voiture électrique, ce qui est impossible.

II.5.2 Solution 2 :

Une deuxième solution est envisageable, c'est de choisir des modules avec une grande efficacité c'est-à-dire un rendement élevé.

La surface du module photovoltaïque ne doit pas dépasser la surface du toit de la voiture, nous sommes donc obligé d'avoir un module de 2.3 mètre de longueur et de 1.3 mètre de largeur.

Les calculs étant faits avec les conditions standards, les résultats sont les suivant :

$$1500_{(w)} /1000_{(w/m2)}*2.3_{(m)}*1.3 \ _{(m)} = 0.50$$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Nous aurons besoin dans ce cas des modules avec un rendement de 50%. Pour se faire nous aurons besoin d'une nouvelle technologie de fabrication des cellules photovoltaïque qui est des modules à base de cellule multi-jonction.

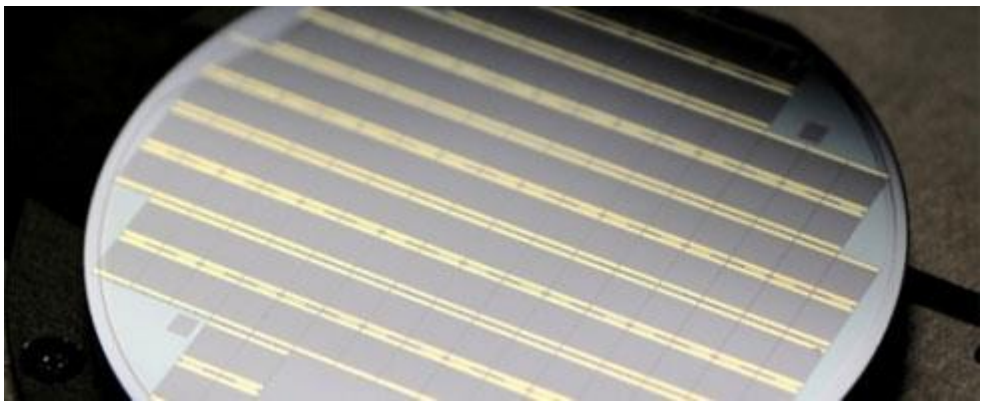


Figure 69 : Cellule multi jonction

Rafael Kleiman, Directeur du laboratoire de recherche avancée sur le photovoltaïque (LAPR) de l'université Mc Master (Hamilton, Ontario) affirme qu'avec une cellule multi-jonction, on change véritablement de dimension car la limite théorique, en y adjoignant un système de concentration, est de 83% ! Pour l'instant, les meilleurs laboratoires ont déjà atteint 43%. Avec un système de concentration nous pourrons produire des cellules avec 50% de rendement.

Figure 70 : Module photovoltaïque avec cellule de concentration

Les modules photovoltaïques à concentration (CPV) se composent d'une plaque optique (lentille de Fresnel) et d'une plaque support sur laquelle sont montées les cellules solaires. Les lentilles de Fresnel concentrent la lumière du soleil (par 500) sur les cellules solaires de la plaque de base.

Les cellules sont montées avec une précision extrême, de manière à ce que les rayons du soleil se concentrent très exactement sur les petites cellules solaires. Cette solution est très efficace mais très coûteuse pour être commercialisée.

Avec les deux solutions déjà citées une grande quantité de l'énergie sera gaspillée surtout dans les mois où l'irradiation solaire est si importante.

II.5.3 Solution 3 :

La troisième solution est la contribution du panneau photovoltaïque dans la production de l'électricité de la voiture en couvrant une part importante de la puissance nécessaire pour faire rouler la voiture.

Nous choisissons donc un module photovoltaïque avec les dimensions correspondantes au toit de la voiture et qui a rendement de 20%. La puissance crête donc est la suivante :

$$1000_{(w/m2)}*2.3_{(m)}*1.3_{(m)}*0.20 = 598_{(w)}$$

À l'aide de l'application PVGIS et en déterminant la puissance crête et la localisation de notre installation, les résultats sont les suivants:

Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.55	47.9	3.20	99.4
Feb	1.97	55.3	4.09	114
Mar	2.62	81.1	5.54	172
Apr	3.08	92.5	6.54	196
May	3.45	107	7.46	231
Jun	3.62	109	7.95	239
Jul	3.48	108	7.72	239
Aug	3.21	99.4	7.09	220
Sep	2.78	83.5	6.05	181
Oct	2.10	65.1	4.48	139
Nov	1.63	48.8	3.43	103
Dec	1.38	42.7	2.90	90.0
Yearly average	**2.58**	**78.3**	**5.55**	**169**
Total for year		**940**		**2020**

Figure 71 : Résultat de la production quotidienne obtenu par l'application PVGIS

Avec un tel résultat, le module photovoltaïque va contribuer à la production de l'énergie électrique pour faire rouler la voiture.

Mois	Panneau solaire contribution en kWh	Panneau solaire contribution %	Batteries contribution en kWh	Batteries contribution %
Janvier	1,55	36%	2,75	64%
Février	1,97	46%	2,33	54%
Mars	2,62	61%	1,68	39%
Avril	3,08	72%	1,22	28%
Mai	3,45	80%	0,85	20%
Juin	3,62	84%	0,68	16%

Juillet	3,48	81%	0,82	19%
Août	3,21	75%	1,09	25%
Septembre	2,78	65%	1,52	35%
Octobre	2,1	49%	2,2	51%
Novembre	1,63	38%	2,67	62%
Décembre	1,38	32%	2,92	68%
Moyenne	**2,57**	**60%**	**1,73**	**40%**

Tableau 5 : Contribution du module photovoltaique et des batteries dans la production électrique

La contribution moyenne du module photovoltaïque installé sur le toit de la voiture est de 60%. Avec l'utilisation du système hybride (panneau solaire et batterie rechargeable) la consommation électrique est en grande partie produite par le panneau solaire.

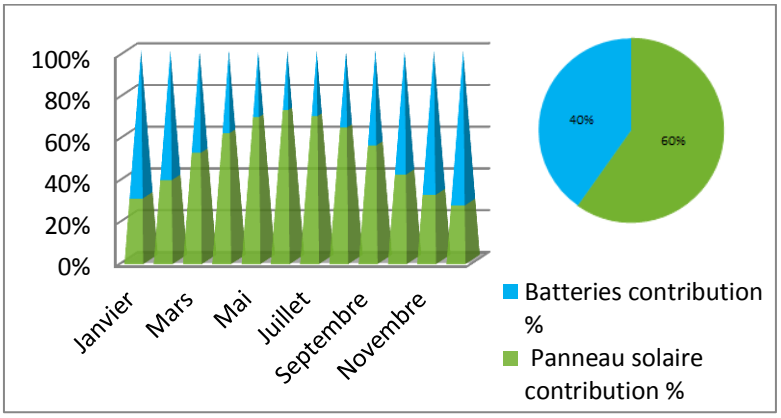


Figure 72 : Bleu : Contribution batterie. Vert : Contribution panneau solaire

La contribution du module photovoltaïque dans la production de l'énergie électrique entraine une diminution du niveau de décharge, ce qui correspond à une augmentation du nombre de cycle de charge/décharge des batteries qui aura pour conséquence une augmentation de la durée de vie des batteries utilisées. Cette durée de vie passe du simple au double simplement par l'utilisation du système hybride (panneau solaire et batterie rechargeable) ce qui entraine une réduction du coût global de fonctionnement et une réduction de la consommation de l'énergie électrique.

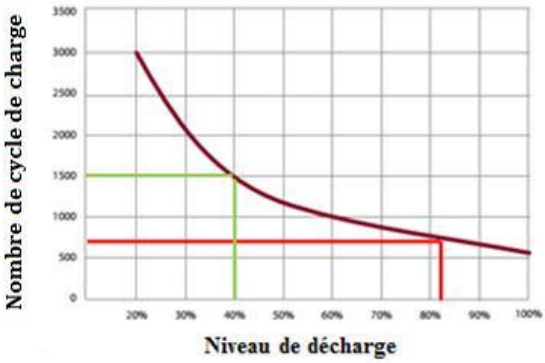


Figure 73:Rouge : Nombre de cycles de charge sans module photovoltaïque.
Vert : Nombre de cycles de charge avec module photovoltaïque

Cette courbe représente le nombre de cycle de charge-décharge en fonction du niveau de décharge de la batterie, comme illustre la figure ci-dessus, le nombre de cycle augmente de 600 à 1500, la durée de vie de la batterie devient le double grâce à l'utilisation du système hybride.

Les résultats obtenus se diffèrent selon la localisation de la voiture électrique, la contribution maximale que nous pouvons atteindre dans les pays les plus ensoleillé au monde est de 73%, ce qui influe directement encore plus sur la durée de vie des batteries.

III. Avantages de l'installation du système hybride:

III.1 Installation du système hybride.

Lorsque le panneau solaire est exposé à la lumière, il va créer du courant continu. Il faut donc séparer les deux câbles de connexion du panneau jusqu'à ce que nous voulions les brancher. Il faut aussi prendre soin de recharger les batteries complétement avant l'usage du module photovoltaïque qui doit être protégé lui-même de tous matériels sales ou abrasifs.

Le module photovoltaïque doit être forcément relié à un régulateur de charge MPPT « maximum power point tracking »

Figure 74 : MPPT « maximum power point tracking »

Le rôle du régulateur solaire est d'assurer et réguler la charge des batteries. Il optimise la puissance des panneaux et empêche les décharges/surcharges profondes nuisibles à la bonne durée de vie des batteries. Les régulateurs MPPT (Maximum Power Point Tracking) possèdent une technologie avancée qui recherche en permanence le point de puissance maximum. Ce qui permet de tirer les meilleures performances des panneaux photovoltaïques.

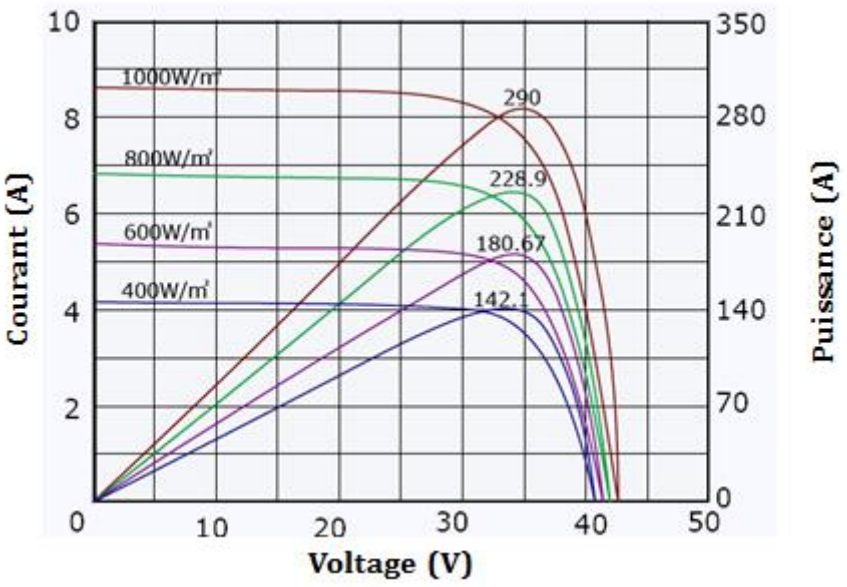


Figure 75: Courbe des performances électriques d'un panneau solaire à une température de 25° [16]

La figure 75 montre que la production d'énergie varie de façon complexe avec l'éclairement et la tension que l'on fait débiter au panneau. Pour chaque éclairement, la production d'énergie a un maximum (de 142 à 290 watts) pour une tension assez précise entre 32 et 35 volts pour ce panneau.

Les coordonnées du point MPPT de fonctionnement optimal (V MPPT, I MPPT) ne sont pas fixes, elles dépendent de la température, de l'éclairement. La technologie MPPT détermine à l'aide d'un algorithme les coordonnées du point de fonctionnement optimal à chaque instant et impose au panneau solaire de travailler au meilleur niveau de tension pour sa production. Le régulateur MPPT convertit ensuite cette tension vers la tension qui permet de recharger la batterie. Avec le régulateur MPPT, la production du panneau devient donc indépendante de l'état de charge de la batterie et est optimisée en permanence en fonction des conditions environnementales (ensoleillement et température). Ces mesures sont faites avec une fréquence élevée, de plus la transformation de tension se fait avec peu de perte. La technologie MPPT offre donc un gain appréciable de l'ordre de 20% à 30%.

III.2 Avantage du système hybride :

Le système hybride proposé dans cette étude s'adapte à n'importe quelle voiture électrique pour des usages de courtes distances, tel que les voitures des terrains de foot ou pour les petites promenades en enlevant le toit de la voiture et en mettant le module photovoltaïque. Il nous permet de profiter d l'énergie solaire qui est gratuite et inépuisable.

L'effet de serre est un phénomène naturel indispensable qui réchauffe notre planète. Il permet à la terre de garder une partie de la chaleur du soleil grâce à son atmosphère. Les émissions des gaz à effet de serre ont un impact très dangereux sur la planète.

Actuellement, les rythmes de fente de glace est de 34 milliard m^3/an, le nombre de décès/an atteint un chiffre choquant, plus de 70 000 de personnes meurent chaque année victime des émissions des gaz, une perte de surfaces arables estimées à 150,000 km/an, de plus 2.900.000.000 d'hectares lessivés par l'érosion chaque année, ainsi une hausse de chaleur de +1°C à 5°C d'ici 2100. Tout ceci nous incite à penser à des solutions écologiques qui respectent l'environnement.

Le système hybride est plus écologique, en l'installant nous participons automatiquement à la protection de l'environnement.

Gaz	Émission de gaz en g/Kwh	Participation à la production électrique au Maroc	Émission de gaz au Maroc en g/Kwh
Gaz naturel	105	0,2	21
Charbon	206	0,38	78,28
Gaz petrol	149	0,17	25,33
Autre	166	0,17	28,22
Moyenne	156,5		152,83

Tableau 6 : Emission des gaz à effet de serre au Maroc

Les émissions de gaz à effet de serre au Maroc sont de l'ordre de 152.83 g/KWh, l'installation du système hybride permet une diminution des émissions pour chaque voiture de 143.36 Kg/an.
Le système hybride nous permet ainsi de charger la voiture électrique en roulant, ce qui améliore le potentiel du véhicule. Cette technologie permet d'obtenir autant d'énergie sur une journée.

Ce système nous permet de faire des économies importantes sur deux volets, il assure d'une part une réduction au niveau de la consommation de l'énergie électrique, qui se traduit directement par des bénéfices sur les coûts d'utilisation de la voiture. D'autre part, le prix des batteries utilisées varie entre 3000 dh à 4000 dh, le système hybride double la durée de vie des batteries, il en résulte un gain de rechange de 12000dh.

Conclusions

La raréfaction et l'augmentation du coût des énergies fossiles d'une part, et la prise de conscience globale des problèmes liés au réchauffement climatique d'autre part, ont conduit ces dernières années au développement des véhicules hybrides qui sont maintenant une solution industrielle pour réduire la consommation de carburant, donc les émissions de CO_2 et les rejets de polluants. Ce constat est confirmé par le fait qu'une majorité de constructeurs automobiles disposent déjà, ou vont disposer prochainement, de véhicules hybrides dans leurs catalogues.

Dans ce contexte, plusieurs programmes de recherches et de développement ont récemment été menés autour :

- De la modélisation des véhicules hybrides, afin d'en définir les architectures optimales, d'en modéliser le comportement énergétique et d'en définir les lois gestion énergétique.
- La conception de véhicules hybrides afin de tester les composants et les lois de gestion d'énergie déterminées théoriquement,
- D'expérimenter des véhicules, pour valider leur fonctionnement en conditions d'usage.

Ainsi, le travail présenté avait pour objectif de concevoir et expérimenter un système hybride pour un véhicule électrique pour des usages urbains.

Le présent manuscrit fait donc état des travaux qui ont été menés pour atteindre cet objectif final de la modification de la voiture électrique en lui ajoutant un module photovoltaïque pour contribuer à la production électrique.

Il en résulte un gain important que ça soit au niveau de la réduction de la consommation électrique ou à l'amélioration du fonctionnement des batteries pour avoir une durée de vie si importante.

Les études sur ce système ne s'arrêtent pas à ce niveau, nous pouvons toujours faire des études sur d'autres types de batteries, ou sur l'utilisation de nouvelles technologies des modules photovoltaïques.

Cette ouverture vers une hybridation aurait aussi l'avantage de proposer des solutions transposables à des véhicules plus puissants tels que des voitures de tourisme ou des véhicules lourds, où les gains énergétiques ont un potentiel supérieur aux quadricycles.

Rapport-Gratuit.com

Références

Bibliographie

- [1] Conception et réalisation d'un véhicule électrique de PHILIPPE LEBRUN, technoelec, AVRIL2003.

- [2] Les enjeux énergétiques du transport www.capitalismedurable.com

- [3] Build your own Electric Vehicle de Seth Leiman and Bob Brant, deuxième Edition, 2009.

- [4] http://arnaud.meunier.chez-alice.fr/

- [5] Piles Accumulateurs de Claude Lahache

Vers la voiture sans pétrole de François Roby ; collection bulles de sciences ; 2006

- [6] Évaluation des Performances d'un Système Hybride de Production d'Electricité : S. Moussa, A. Kaabèche et M. Belhamel ; Revue Energie Renouvelables ; 1999.

- [7] Dimensionnement et gestion d'énergie de systèmes d'entrainement électriques hybride: Damien Paire ; 6 décembre 2010.

- [8] Étude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables de Ludmil Stoyanov ; version 1 ; 19 Dec 2011

- [9] Thèse de Doctorat: Modélisation, Conception et Expérimentation d'un véhicule hybride léger pour usages urbains: Destiny LOUKAKOU BOUNZEKI MBEMBA ; Edition SPIM ; version 1 ; 17 Sep 2013

- [10] http://www.voiture-electrique-populaire.fr/

- [11] Énergie solaire photovoltaique.doc / B. Flèche - D.Delagnes ; 07 juin.

- [12] http://schema-electronique-gratuit.blogspot.com/

- [13] france-mobilite-electrique.org

- [14] L'énergie photovoltaïque conseils et retours d'expériences en Bretagne CONSEIL RÉGIONAL DE BRETAGNE,

- [15] L'énergie solaire photovoltaïque du soleil au courant : Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'énergie wallonne Division de l'énergie.

- [16] Choisir un régulateur MPPT pour panneau solaire, éolienne ou hydro-générateur ; janvie 2012 ; Robert Fondateur de « Pratiques et Techniques de la Plaisance ».

Webographie

- [16] http://www.automobile-propre.com/

- [17] http://www.lautomobile.ca/

- [18] france-mobilite-electrique.org

- [19] http://www.automag.be/Histoire-de-l-usine-Pieper-Imperia

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES