

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : LAZREG MOHAMED OUSSAMA

Thème

CONTRIBUTION A LA GESTION D'ENERGIE DE VEHICULE HYBRIDE

Soutenu publiquement, le / 09 /2020 , devant le jury composé de :

Mme. BENDIMERED Naouel	Maître assistante A	ESSA. Tlemcen	Présidente
Mme. FARADJI Djamilia Née KHERBOUCHE	Maitre conférence B	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme. GHOMRI Amina	Maitre conférence A	ESSA. Tlemcen	Examinatrice 1
Mme. MAHIAOUI Rekia	Maître assistante A	Université Abou Beker Belkaid Tlemcen	Examinatrice 2

Année universitaire : 2019 /2020

Sommaire

Chapitre 01 : Etat de l'art

1.1 Introduction	01
1.1.1 Contexte général	02
1.2. Concept du véhicule hybride	05
1.2.1 Historique	05
1.2.2 Définition du véhicule hybride	06
1.2.3 Classifications des véhicules hybrides	07
1.3. Éléments constituant un véhicule hybride.....	07
1.4. Architecture des véhicules hybrides	08
1.4.1 Architecture série	08
1.4.2 Architecture parallèle	09
1.5. Principaux modes de fonctionnement d'un véhicule hybride.....	10
1.5.1 Fonctionnement en mode Thermique	11
1.5.2 Fonctionnement en mode électrique pur ou tout électrique.....	13
1.5.3 Fonctionnement en mode hybride	16
1.6. Stratégie de gestion énergétique.....	17
1.6.1 Formulation mathématique de la gestion énergétique du véhicule hybride	17
1.7. Conclusion	21
Chapitre 2 : dimensionnement photovoltaïque	
2.1 Introduction	22
2.2 Dimensionnement photovoltaïque.....	22
2.2.1 Description de la chaîne de conversion photovoltaïque.....	22
2.2.2 Les cellules photovoltaïques.....	23
2.3. Mise en parallèle et en série des cellules.....	23
2.3.1 Mise en parallèle.....	23
2.3.2 Mise en série	24
2.3.3 Protection d'un générateur photovoltaïque.....	24
2.4. Les différents systèmes photovoltaïques.....	24
2.5. Fonctionnement et constitution d'un système photovoltaïque.....	25
2.6. Puissance et rendement des modules.....	26

2.6.1 Rendement des modules	26
2.6.2 Limitation des pertes « modules »	27
2.6.3 Durée de vie des modules.....	27
2.7. Rendement d'un système photovoltaïque.....	27
2.7.1 Calcul du rendement d'une installation photovoltaïque.....	28
2.7.2 Le ratio de performance	29
2.8. Conclusion	30

Chapitre 3 : simulations et interprétation des résultats

3.1 Introduction.....	31
3.2 outille de simulation (MATLAB/ SIMULINK)	31
3.2.1 Introduction à MATLAB.....	31
3.2.2 Introduction à SIMULINK	31
3.3 Mise en place les modules dans SIMULINK.....	32
3.4 Simulation et interprétation des résultats	38
3.4. Conclusion	48
3.5 Conclusion générale.....	49

Liste des figures et tableaux :

Figure 1.1 : Schéma du principe d'une voiture hybride	8
Figure 1.2 : Architecture en série	9
Figure 1.3 : Architecture en parallèle	9
Figure 1.4 : Composants des véhicules hybrides	10
Figure 1.5 : Décomposition des 4 temps.	12
Tableau 1.1 Tableau d'explication du mode thermique pur	13
Tableau 1.2 Tableau d'explication du mode électrique pur	13
Tableau 1.3 Tableau d'explication du mode hybride	14
Figure 1.6 Schéma explicatif des mécanismes du moteur électrique.	15
Figure 2.1 : Caractéristiques résultantes d'un groupement en parallèle de np cellules identiques	23
Figure 2.2: Caractéristiques résultantes d'un groupement en série de ns cellules identiques	24
Figure 2.3: Structure de la chaîne de conversion photovoltaïque	25
Figure 3.1 Schéma block du système	33
Figure 3.3 Schéma de la configuration du panneau solaire utilisé	34
Figure 3.4 Le bloc du « signal builder »	36
Figure 3.5 Bloc de la machine DC	37
Figure 3.6 Bloc des résultats ou bloc d'affichage	37
Figure 3.7 Résultats de la simulation cas numéro	39
Figure 3.8 Valeur finale de la simulation (performance maximale)	40
Figure 3.9 Le bloc du « signal builder »	41
Figure 3.10 Résultats de la simulation cas numéro 2	42
Figure 3.11 Valeur finale de la simulation (performance variant)	43
Figure 3.12 Résultats de la simulation cas numéro 3	46
Figure 3.13 Valeur finale de la simulation (poids variant)	47

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire de fin d'étude a été effectué au sein de l'école supérieure en sciences et techniques.

Nos sincères remerciements à madame KHERBOUCHE Djamilia **MAITRE DE CONFERENCES**, l'encadrante de ce travail. On la remercie pour la documentation mise à notre disposition, son aide précieuse et ses conseils tout au long de ce projet.

On est particulièrement redevable à Mme. BENDIMERED Naouel **MAITRE ASSISTANTE** à ESSA Tlemcen et Mme. MAHIAOUI Rekia **MAITRE ASSISTANTE** à l'université de Tlemcen, on les remercie pour leurs présences. Qu'ils soient chaleureusement remerciés d'avoir accepté de participer à ce jury.

Toute notre gratitude à Mme. GHOMRI Amina **MAITRE DE CONFERENCES** à ESSA Tlemcen pour sa présence qu'elle soit profondément remercie d'avoir accepté de participer à ce jury.

On ne saurait terminer sans exprimer nos remerciements les plus sincères à tous nos professeurs des deux écoles préparatoire et supérieure et à tout le personnel administratif qui nous a supportés pendant ces années.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes très chers parents Houria HAFIDI et LAZREG Bessaoud, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes frères et sœurs pour leurs encouragements.

Qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'**études** pour que je puisse atteindre mes objectifs. Quoi que je fasse ou dise, je ne pourrais jamais réussir à leur exprimer avec exactitude ma gratitude. Leur présence à mes côtés a toujours été une source d'**encouragement** pour faire face à des **divers** obstacles. J'espère qu'ils trouveront ici un témoignage de ma profonde gratitude.

A mes deux frère «Soufiane et Mustapha» et mes sœurs « Amina et Rim »

Pour leurs conseils précieux et leurs encouragements tout au long de mes études.

A mes chères ami (e)s et toute ma familles

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Introduction générale

Introduction générale

La production décentralisée d'énergie électrique, bénéficie actuellement d'un essor très important. Plusieurs sources d'énergie renouvelables et gratuites, telles que le vent (éoliennes), le soleil (thermiques ou photovoltaïques), sont de plus en plus utilisées pour produire l'énergie électrique localement sur des sites isolés. A cause de l'inconstance du vent et de la lumière, la gestion de l'énergie constitue l'un des défis majeurs dans les systèmes électriques éoliens déconnectés du réseau, ainsi que dans les systèmes photovoltaïques. [1]

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono-source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable et leur souplesse de fonctionnement. Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval. [1]

L'amélioration du rendement des moteurs thermiques, la réduction des émissions par post-traitement, l'utilisation de biocarburants, l'optimisation des stratégies de commande désormais numériques, ont permis d'importants progrès, mais atteignent aujourd'hui leurs limites. Les industriels dans le domaine du transport entament des mutations technologiques sans précédent. En ce qui concerne le domaine de l'automobile, les voix de progrès sont entre autres liées à l'électrification partielle ou totale des véhicules. Ces solutions ont beaucoup d'avantages par rapport à celles utilisant seulement le moteur à explosion. [1]

Néanmoins, le système de stockage d'énergie utilisé dans les véhicules électrique ou hybride reste toujours le maillon faible: très coûteux, limité en autonomie, lent à la recharge, etc...Aujourd'hui, l'axe principal de progrès pour le développement des véhicules électriques est sans nul doute basé sur le développement de systèmes de stockage d'énergie embarquée apportant des solutions pour l'amélioration de l'autonomie, de la masse et de la durée de vie de ces stockeurs. [2].

Actuellement, la technologie retenue pour les véhicules électriques ou hybride de nouvelle génération est basée sur les solutions dites Lithium-ion. Elle offre actuellement des caractéristiques satisfaisantes, mais son énergie massique ($\approx 140 \text{ Wh/kg}$) ne pourra jamais concurrencer l'énergie massique des hydrocarbures ($\approx 12000 \text{ Wh/kg}$) [6]. De plus, la plupart des applications «traction électrique» requièrent une forte puissance (accélérations rapides, variations de vitesse et freinages), ce qui n'est pas toujours admissible par les batteries actuelles et peut de plus limiter leur longévité.

Dans ce mémoire **notre intérêt et de faire une analyse sur** la contribution à la gestion des véhicules hybride [2].

Chapitre 01 : Etat de l'art

Chapitre 01 : Etat de l'art

1.1 Introduction :

La situation énergétique mondiale actuelle est problématique à de nombreux égards. La menace de coûts énergétiques élevés, un environnement réglementaire instable ainsi que la compétition entre les nouvelles technologies liées à l'efficacité énergétique fait planer un climat d'incertitude pour l'ensemble des parties prenantes, des consommateurs aux fabricants d'équipement, en passant par les responsables des services généraux et les fournisseurs d'électricité. Il y a cependant un élément qui ne fait pas de doute dans cet avenir incertain : le transport sera un secteur fondamental pour les futures économies d'énergie. Les organismes de réglementation et les constructeurs s'unissent pour concevoir des véhicules efficaces sur le plan énergétique et moins polluants et pour inventer de nouveaux moyens de les connecter à des infrastructures énergétiques plus intelligentes. Peu importe la façon dont nous allons affronter les défis énergétiques de demain, il est indispensable de recourir à des transports plus efficaces. Une gestion de l'énergie plus intelligente sera primordiale pour retirer tous les avantages économiques et environnementaux offerts par ces nouvelles formes de transport écologique. Dans ce chapitre on présente l'état de l'art de la situation des véhicules hybrides de point de vue modélisation, type et stratégie de gestion d'énergie interne. [1] [2].

1.1.1 Contexte général :

De nos jours tous les véhicules (ou presque) utilisent comme source d'énergie principale des carburants d'hydrocarbures (essence ou gasoil). Ces carburants sont pour l'instant les seuls à pouvoir être stockés facilement avec une densité énergétique volumique élevée (≈ 10 kWh/litre). À titre indicatif, les meilleures batteries qui peuvent équiper les véhicules électriques disposent seulement d'une densité énergétique volumique voisine de 200 Wh/litre (Li-Ion, Li-Polymer...). En outre, les batteries ont un temps de recharge très long. On comprend fort aisément la préférence des constructeurs pour le véhicule thermique au début du vingtième siècle. [1] [2].

Pour propulser le véhicule, une combustion entre carburant et comburant est réalisée dans le moteur thermique. L'énergie calorifique produite par la combustion du mélange gazeux carburé est transformée en une énergie mécanique. Un moteur parfait ne dégagerait que de l'eau (H₂O) et du dioxyde de carbone (CO₂). Mais actuellement la combustion d'hydrocarbures dans les moteurs à combustion est telle qu'elle engendre des émissions de polluants. Qui sont classés en deux parties, la pollution dite locale (ou régionale) et la pollution de fond (transfrontalière ou globale) :

- a) Les pollutions dites locale ont leurs effets qui sont ressentis à proximité des agglomérations. Ils dépendent des conditions géographiques du site (vallée,

altitude...) ainsi que des conditions atmosphériques (ensoleillement, vent, pluie...). À l'heure actuelle la réglementation des émissions automobiles ne concerne que quatre polluants [3] : Les composés organiques volatiles (COV), Les oxydes d'azote (NOx), Le monoxyde de carbone (CO) et Les particules Diesel.

- b) Les pollutions dites locale ont des effets qui peuvent couvrir plusieurs pays ou même toute la planète. Dans le domaine de l'automobile, ces polluants peuvent se réduire à un seul polluant : l'ozone troposphérique (O3) qui résulte d'une transformation complexe entre COV et NOx sous l'effet des ultraviolets (UV). Il est aussi à l'origine des « smogs » photochimiques, brouillard oxydant dans les régions de fort ensoleillement qui peut s'étendre sur des centaines de kilomètres. Ce gaz incolore présente des effets similaires à ceux du dioxyde d'azote (NO2 - NOx) mais à des taux beaucoup plus faibles. [2] [3].

La principale conséquence est les émissions des gazs à effet de serre (EMS) responsable du réchauffement de notre planète, Le dioxyde de carbone encore appelé gaz carbonique (CO2) est présent de manière naturelle dans l'atmosphère à hauteur de 0,03 %. Ce gaz incolore faiblement acidulé non inflammable n'apparaît pas dans la liste non exhaustive des polluants. En effet, le qualifier de polluant ne lui convient pas car il n'est nullement toxique pour l'organisme et la végétation [4]. Il est également appelé gaz à « effet de serre » car il contribue principalement au réchauffement de la surface de la planète par « effet de serre ». Les gaz à « effet de serre » laissent passer 48 % du rayonnement solaire réchauffant ainsi océans et continents. Par ailleurs, ils absorbent à 80 % le rayonnement infrarouge réémis par la surface terrestre. Sans eux la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18°C au lieu des +15°C actuellement .Le CO2 émit naturellement par les océans, sols, végétations ou autres, est stocké par les océans sous forme de carbonates et transformé par les plantes par photosynthèse³ mais en quantité insuffisante. [5]

Selon le ministère de l'environnement français, en 1880 on comptait 280 ppm⁴ de CO2 contre 345 ppm de nos jours avec une tendance actuelle à s'accroître de 1,5 ppm par année. Les hypothèses envisagées par les climatologues pour le siècle prochain prévoient un doublement du dioxyde de carbone qui induirait un réchauffement de la planète de 2 à 3°C [5]. La fonte des glaces pourrait engendrer une augmentation du niveau de la mer causant des inondations dans les régions côtières. Les accidents météorologiques tels que la modification des régimes de vent et de pluie s'intensifieraient. [6]

D'après une étude de l'EIA, le secteur transport participerait à un taux de proportion de 30 % en ce qui concerne les émissions de dioxyde de carbone. La tendance des émissions du dioxyde de carbone est à la hausse. Le secteur transport y contribue fortement. L'accroissement de la population prévu entre 1990 et 2025 et le développement des pays asiatiques risque d'amplifier le phénomène [6]. Il faut donc trouver un moyen pour faire face à ce problème. Le CO2 étant directement lié à la consommation de carburant des véhicules, il suffit de la réduire pour diminuer le taux du dioxyde de carbone. [6]

Pour faire face aux problèmes des émissions Depuis 1970 les constructeurs ont fait des efforts considérables afin de diminuer la pollution émise par les transports routiers. Ainsi, en Europe, plus d'une quinzaine de directives établissant des normes de plus en plus strictes sur la qualité des carburants, sur la mesure de la consommation et des émissions ont été instaurées. Un véhicule automobile fabriqué en 2001 produit trois fois moins de polluants qu'un véhicule de même catégorie, fabriqué en 1993. [7]

Ces améliorations passent avant tout par un net progrès du contrôle moteur (amélioration du rendement énergétique) et du « post-traitement » (exemple du pot catalytique). Les techniques sont diverses et variées, et dépendent du type de moteur employé. On peut citer à titre d'exemple l'un des progrès fort de ces dernières années : le moteur diesel à injection directe appelé plus communément dans le jargon automobile « Common rail ». Ce véhicule apparu au grand public en 1997 pour la commercialisation de l'Alfa Romeo 156 JTD, utilise un système d'injection entièrement piloté par ordinateur. Celui-ci permet d'envoyer le carburant (gasoil) directement dans les cylindres sans passer par une préchambre à combustion (comme pour les moteurs à injection indirecte). Ce type de moteur permet de réduire la consommation (grâce à l'injection directe), la pollution (haute pression) et le bruit caractéristique des moteurs diesels des anciennes générations (injection électronique) [8]

Ces progrès considérables ont permis une réduction significative des polluants, mais qu'en est-il du dioxyde de carbone, principal gaz à « effet de serre » ? Certes les constructeurs ont amélioré sans aucun doute leurs moteurs, mais en contrepartie sécurité et confort (airbags, vitres électriques, climatisation...) augmentent d'années en années. La puissance demandée au groupe motopropulseur est donc de plus en plus importante. De ce fait, comme le rendement du moteur thermique s'améliore mais qu'on lui en demande de plus en plus, la consommation de carburant d'un véhicule et donc le rejet d'émission de CO₂ ne peut diminuer que faiblement.

Afin de pouvoir diminuer significativement la consommation (et par la même occasion le CO₂) des véhicules classiques, plusieurs possibilités peuvent être envisageables [9] :

- Utilisation de nouveaux carburants : carburants alternatifs comme le GNV (Gaz Naturel de Ville), les biocarburants (exemple de l'éthanol)
- Amélioration de l'aérodynamisme, la réduction du poids par l'utilisation d'alliages légers (aluminium à la place de l'acier), le remplacement des systèmes de transmission classique par des systèmes optimisés comme la CVT (Continuos Variable Transmission), ou encore par l'amélioration des huiles moteurs permettant d'avoir moins de frottements
- Progression des moteurs thermiques existant en passant par la technologie par injection directe ou par le downsizing.

Ces progrès sont certes probants mais cela ne suffira pas. En effet si constructeurs et gouvernements s'entendent aussi bien sur le fait qu'il faille réduire au minimum la

consommation des véhicules quels qu'ils soient, à partir d'aujourd'hui, c'est en partie pour combattre la pollution mais aussi pour trouver un moyen de contourner la pénurie annoncée de pétrole.

1.2 Concept du véhicule hybride :

1.2.1 Historique :

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, le Véhicule Électrique Hybride (VEH) est presque aussi vieux que l'automobile à moteur thermique. Des prototypes furent créés non pour abaisser consommation et pollution, mais dans l'optique d'aider le moteur thermique à fournir des performances correctes ou pour augmenter l'autonomie du Véhicule Électrique (VE). Au début du siècle dernier, la technologie électrique était bien plus en avance que celle de son homologue thermique. Les premiers VEHs montrés au grand public sont les véhicules développés par les établissements Pieper de Liège (Belgique) et par la compagnie de voitures électriques de Vendovelli et Priestly (France) en 1899 au salon de Paris, soit déjà plus d'un siècle. En plus d'être les précurseurs des VEHs, ils sont également les premiers à avoir mis en place un démarreur électrique sur une automobile. Malheureusement les VEHs qui étaient difficile à contrôler, ont été très rapidement concurrencés par les moteurs à allumage commandé améliorés considérablement pendant la première guerre mondiale [10].

Les progrès en électronique dans le milieu des années 1960 ont poussés les chercheurs à reconsidérer l'utilisation des VEHs. Mais par manque de pratique et de recul sur cette technologie, les chercheurs ont préférés s'orienter vers les VE avec batteries et machines électriques modernes.

Vers les années 1990, lorsqu'il est clair pour les constructeurs que le VE ne verra jamais son objectif d'atteindre une densité volumique d'énergie comparable au véhicule traditionnel, le VEH est remis à l'ordre du jour. Tous les constructeurs (ou presque) se mettent alors en tête de construire des prototypes permettant de réduire consommation et pollution. On peut citer Dodge aux U.S.A. avec l'Intrepid ESX 1, 2 et 3 ou encore Renault en France avec la Next. Toutefois les constructeurs se heurtent à un problème majeur : comment convaincre les consommateurs d'acheter un véhicule ayant les mêmes performances, pour un prix parfois double d'un véhicule traditionnel ?

Un seul pays semble néanmoins avoir un engouement certain pour tout type de véhicule nouveau, le Japon. Toyota a en effet jugé dès 1985 que le futur de l'automobile passerait par l'électronique et l'électricité embarquée avec un VEH. En 1989, il ouvre un centre de recherche dédié. Après de longues années d'études, la Prius est présentée et commercialisée au public japonais en 1997. Aujourd'hui elle se vend internationalement [11].

1.2.2 Définition du véhicule hybride :

La condition nécessaire pour qu'un véhicule soit qualifié d'hybride est d'avoir deux sources d'énergie de natures différentes. Or comme le précise cette définition n'est pas appropriée car un véhicule traditionnel peut être assimilé à un VEH (batterie et réservoir de carburant). [12]

La définition qui semble la plus appropriée est celle exposée par l'International Energy Agency (IEA) dans un rapport technique: « Un véhicule hybride a un groupe motopropulseur dans lequel l'énergie peut être transmise par au moins deux dispositifs de conversion d'énergie différents (exemple du moteur à combustion interne, de la turbine à gaz, du moteur Stirling, de la machine électrique, du moteur hydraulique, de la pile à combustible...) tirant l'énergie d'au moins deux dispositifs de stockage d'énergie différents (exemple du réservoir à carburant, de la batterie, du volant d'inertie, du super condensateur, du réservoir de pression...). Au moins un des flux, le long duquel l'énergie peut circuler d'un dispositif de stockage d'énergie aux roues, est réversible, tandis qu'au moins un flux est irréversible. Dans un véhicule électrique hybride le dispositif de stockage d'énergie réversible fournit l'énergie électrique ». [13]

Cette définition a néanmoins un point faible. Elle exclut les solutions intermédiaires où un dispositif de conversion d'énergie ne participe pas à la traction du véhicule, avec toutefois la possibilité d'avoir d'autres fonctionnalités contribuant à une réduction de la consommation.

Dans la suite du mémoire, nous nous sommes concentrés sur les véhicules électriques hybrides, et plus précisément sur ceux équipés d'un moteur thermique avec réservoir de carburant et d'une machine électrique avec batteries (ou tout autre stockeur d'énergie électrique).

En résumé, le concept du VEH a été développé avec les objectifs suivants :

- Améliorer les conditions de fonctionnement du moteur thermique permettant une diminution de la consommation et de la pollution ;
- Préparer la transition vers un réseau électrique de bord de plus haute puissance et de tension ;
- Permettre au véhicule d'être utilisé en mode tout électrique permettant de ne pas avoir d'émissions locales ;
- Permettre la transition vers la consommation d'autres ressources énergétiques que le pétrole en utilisant le vecteur d'électricité. [13]

1.2.3 Classifications des véhicules hybrides :

Plusieurs possibilités sont envisageables pour classer les différents types de VEHS. On peut cependant les séparer en deux catégories :

- A) Hybridation du véhicule (rapport entre la puissance du moteur thermique par rapport à la puissance du moteur électrique) ;
- B) Architecture employée. [14]

Classification par hybridation du véhicule

Cette classification est surtout utilisée par les constructeurs et équipementiers. Elle ne prend pas en compte l'architecture du véhicule mais plutôt les fonctionnalités qu'elle peut réaliser en fonction de son taux d'hybridation. Cette classification se distingue par quatre niveaux : le micro hybrid, le mild hybrid, le full hybrid et le plug-in hybrid. [14]

Classification par l'architecture employée

Cette classification est la plus utilisée et la plus détaillée. Elle permet de mettre en évidence les couplages mis en jeu. Le choix dans ce rapport s'est porté sur trois principales appellations : hybride série, parallèle et mixte. Les explications qui vont suivre sont d'ordre général. Elles ne prennent pas en compte tout l'éventail que propose la solution hybride. [14]

1.3 Éléments constituant un véhicule hybride :

Les voitures hybrides ne sont pas toutes à l'image de la Prius, la plus connue d'entre elles. Chacune exige plus ou moins d'efforts de son moteur d'assistance électrique, pour un appétit plus ou moins élevé. Tout est question de coût.

L'hybridation consiste à combiner les atouts de la propulsion électrique avec ceux du moteur à explosion (essence ou Diesel) : silence et propreté d'un côté, puissance et autonomie de l'autre. L'idée n'a rien de nouveau et remonte au temps des pionniers de l'automobile. Mais il fallut attendre la fin des années 1990 et des avancées décisives en matière d'électronique et de stockage du courant électrique pour la rendre viable en grande série.

Les premiers à avoir cru en l'hybridation sont les constructeurs japonais Honda et Toyota qui y ont vu une phase transitoire avant l'avènement de la propulsion 100 % électrique. Laquelle bute sur la faible autonomie offerte par les accumulateurs bon marché. D'où l'idée d'embarquer un moteur à essence qui prendra le relais une fois la batterie épuisée.

Les principaux éléments qui constituent les véhicules hybrides sont :

1. Moteur à combustion interne (MCI)
2. Embrayage
3. Moteur électrique
4. Batterie d'accumulateurs ou de super condensateurs
5. Boite de vitesse [15]

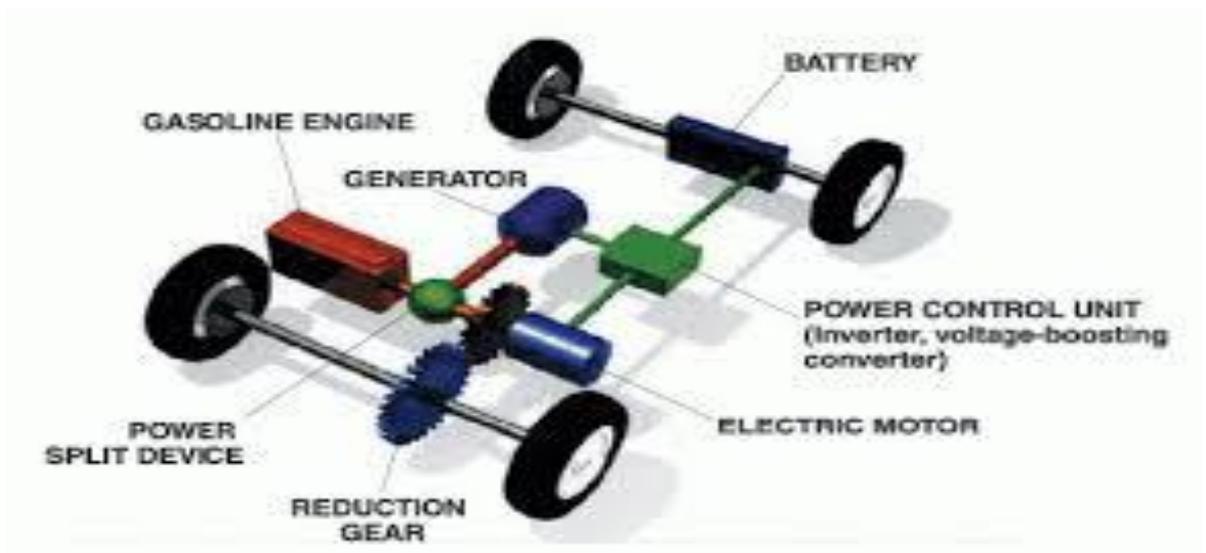


Figure 1.1 : Schéma du principe d'une voiture hybride

1.4 Architecture des véhicules hybrides :

1.4.1 Architecture en série :

Dans le cas du véhicule hybride des architectures en séries représenté dans la figure 1.2, la propulsion du véhicule est assurée entièrement par la machine électrique ME1 alimentée individuellement ou simultanément par le groupe électrogène et la batterie.

Le moteur à combustion interne MTh consomme du carburant quantifié par la puissance thermique P_{th} et délivre une puissance mécanique P_{mth} . Cette puissance est d'abord transmise par l'organe de transmission mécanique TM2. Elle est ensuite convertie en puissance électrique à l'aide de la deuxième machine électrique ME2 fonctionnant en générateur, puis combinée à la puissance de la batterie P_{batt} au niveau du couplage électrique. Enfin, toute l'énergie est reconvertie en énergie mécanique via ME1 et puis transmise aux roues motrices par le mécanisme TM1.

Grâce au couplage électrique entre les deux branches thermique et électrique, le moteur thermique est découplé des roues, ce qui permet de choisir librement sa vitesse et son couple. Dans notre étude, les points de fonctionnement du moteur MTh sont choisis pour que le rendement du groupe électrogène soit maximal, quelle que soit la puissance fournie. [16]

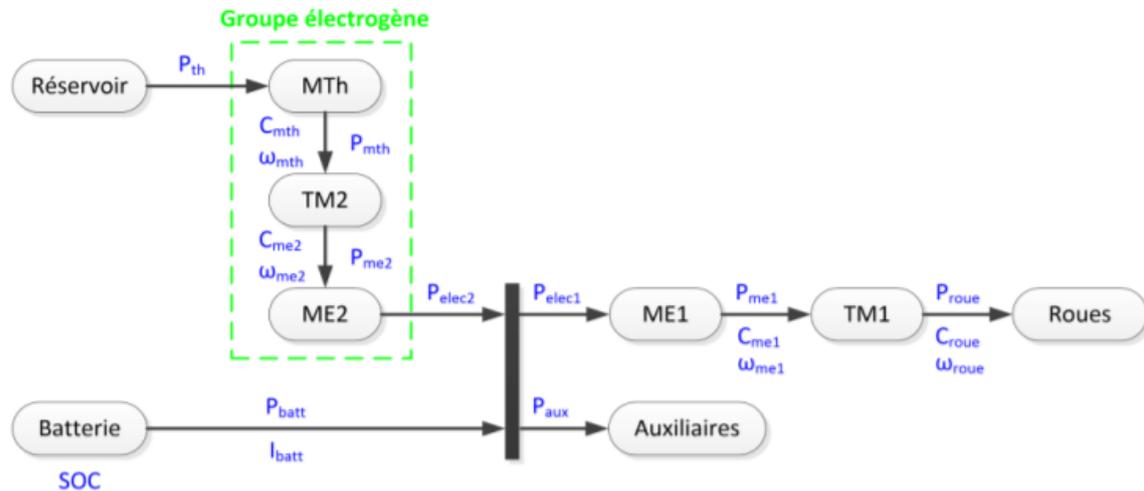


Figure 1.2 : Architecture série

1.4.2 Architecture en parallèle :

Dans le cas du véhicule hybride d'architecture en parallèle représentée sur la figure 1.3, la propulsion du véhicule est assurée par deux branches différentes : une branche thermique et une branche électrique. La première est composée d'un moteur thermique MTh avec son réservoir d'essence et de l'organe de transmission mécanique TM2 et le deuxième est constituée d'un mécanisme de transmission TM3 et d'une machine électrique couplée avec une batterie et des auxiliaires du véhicule. [16]

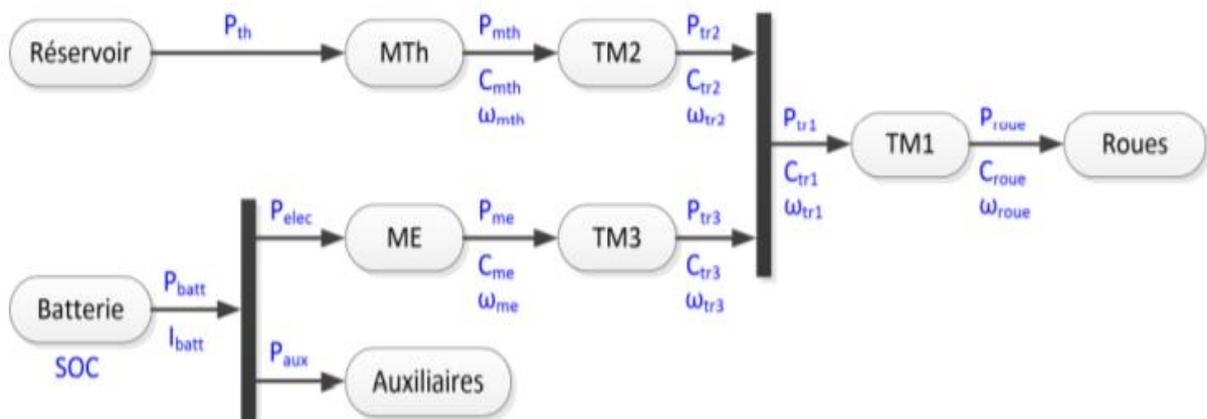


Figure 1.3 : Architecture parallèle

1.5. Principaux modes de fonctionnement d'un véhicule hybride :

Les véhicules électriques hybrides sont alimentés par un moteur à combustion interne et un moteur électrique, qui utilise l'énergie stockée dans des batteries. Un véhicule électrique hybride ne peut pas être branché pour charger la batterie. La batterie est plutôt chargée par le freinage par récupération et par le moteur à combustion interne. La puissance supplémentaire fournie par le moteur électrique peut éventuellement permettre d'utiliser un moteur plus petit. La batterie peut également alimenter des charges auxiliaires et réduire le ralenti du moteur lorsqu'il est arrêté. Ensemble, ces caractéristiques permettent une meilleure économie de carburant sans sacrifier les performances. [16]

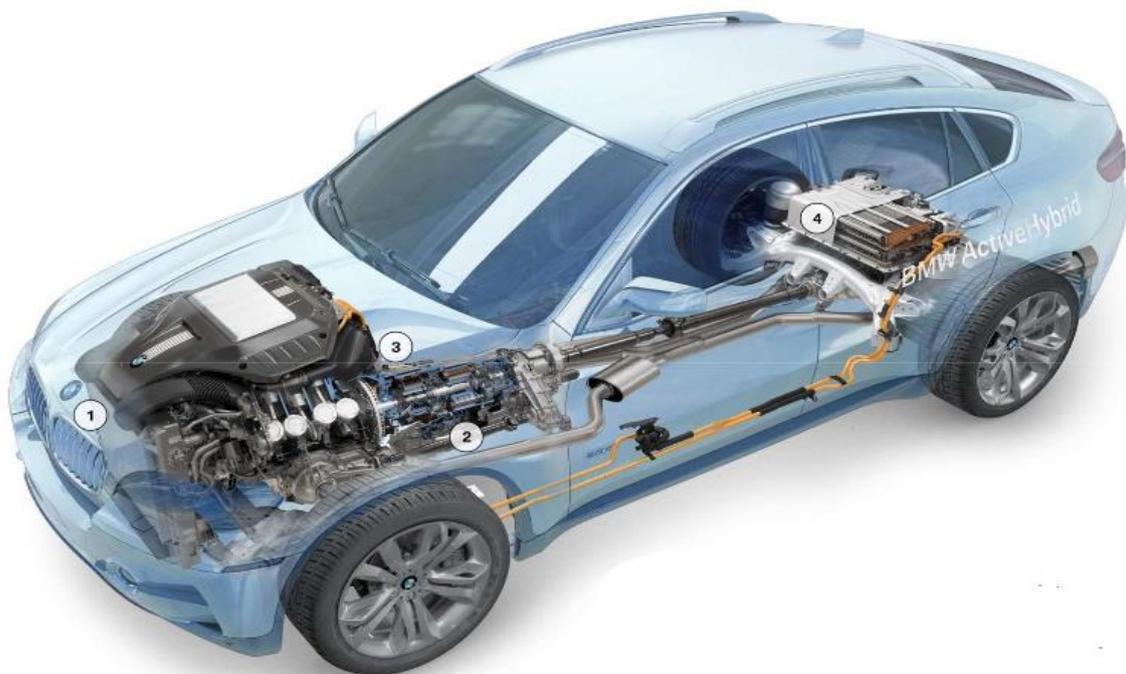


Figure 1.4 : Composant des véhicules hybrides

- 1- Moteur thermique essence (300kW/600Nm)
- 2- Hybride transmission 2 moteurs électriques (67Kw/280Nm) trains épicycloïdaux, répartiteur de puissance
- 3- Electronique de puissance (425 volts maxi)
- 4- Batteries de traction (312 volts/ 2,4 kWh)

On cite ainsi les autres éléments :

- Batterie (auxiliaire) : Dans un véhicule à traction électrique, la batterie auxiliaire fournit l'électricité nécessaire au démarrage de la voiture avant que la batterie de traction ne soit engagée et elle alimente également les accessoires du véhicule.
- Convertisseur DC/DC : ce dispositif convertit le courant continu à haute tension de la batterie de traction en courant continu à basse tension nécessaire pour faire fonctionner les accessoires du véhicule et recharger la batterie auxiliaire.
- Générateur électrique : Génère de l'électricité à partir des roues en rotation lors du freinage, transférant cette énergie à la batterie de traction. Certains véhicules utilisent des générateurs à moteur qui assurent à la fois les fonctions d'entraînement et de régénération. [17]
- Moteur de traction électrique : Utilisant l'énergie de la batterie de traction, ce moteur entraîne les roues du véhicule. Certains véhicules utilisent des moteurs générateurs qui assurent à la fois les fonctions d'entraînement et de régénération.
- Système d'échappement : Le système d'échappement canalise les gaz d'échappement du moteur vers l'extérieur par le tuyau d'échappement. Un catalyseur à trois voies est conçu pour réduire les émissions du moteur dans le système d'échappement.
- Remplissage de carburant : Un pistolet d'un distributeur haute pression se fixe sur le réceptacle du véhicule pour remplir le réservoir.
- Réservoir de carburant (essence) : Ce réservoir stocke l'essence à bord du véhicule jusqu'à ce que le moteur en ait besoin.
- Moteur à combustion interne (à allumage par étincelle) : Dans cette configuration, le carburant est injecté dans le collecteur d'admission ou dans la chambre de combustion, où il est combiné avec de l'air, et le mélange air/carburant est allumé par l'étincelle d'une bougie d'allumage.
- Contrôleur d'électronique de puissance : Cette unité gère le flux d'énergie électrique fourni par la batterie de traction, en contrôlant la vitesse du moteur électrique de traction et le couple qu'il produit.
- Système thermique (refroidissement) : Ce système maintient une plage de température de fonctionnement correcte du moteur, du moteur électrique, de l'électronique de puissance et d'autres composants.
- Batterie de traction : Stocke l'électricité destinée au moteur de traction électrique.
- Transmission : La transmission transfère la puissance mécanique du moteur et/ou du moteur électrique de traction pour entraîner les roues. [18]

1.5.1 Fonctionnement en mode Thermique :

Le fonctionnement d'un moteur thermique traditionnel reste un domaine complexe et réservé à un monde professionnel et spécialisé, par contre, nous pouvons donner quelques idées sur le principe global, qui nous permettra de mieux appréhender et de découvrir la technologie hybride.

Le moteur à essence nécessite une combustion déclenchée par une source d'énergie externe (ex : bougie). Ces moteurs transforment l'énergie potentielle chimique contenue dans le carburant grâce à des explosions. Ils sont constitués de différents cylindres, dans lesquels des pistons coulissent alternativement. Ici il s'agit d'un moteur à 4 temps:

1. La première soupape s'ouvre : admission d'un mélange d'air et d'essence dans le moteur, ce mélange pousse le piston.

2. Le piston, qui après être descendu va remonter par la force de la pression, va exécuter une compression du mélange, le poussant contre la bougie.
3. Sous l'effet de la compression maximale, la bougie va produire une étincelle, provoquant chez le mélange une combustion ou explosion (d'où le nom du moteur). En outre les gaz chauds émis vont repousser le piston, continuant le mouvement. [19]
4. La deuxième soupape va s'ouvrir, permettant l'échappement des gaz, repoussés par le retour du piston. Un nouveau cycle peut commencer.

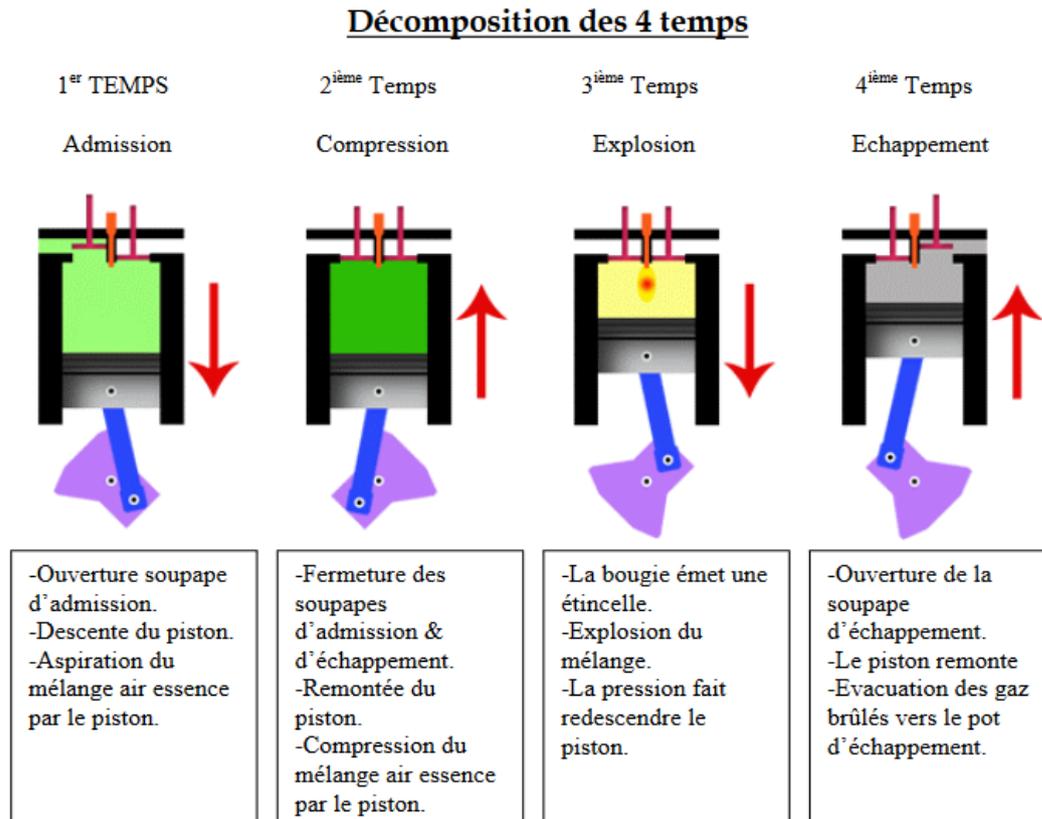


Figure 1.5 : Décomposition des 4 temps.

Ce type de moteur a un rendement de l'ordre de 30% : Il y a une énorme perte d'énergie due à des pertes de chaleur, des frottements.

Mode thermique pur	Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$		<p><u>Traction en mode thermique pur :</u> Le moteur thermique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule.</p>
	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<p><u>Freinage en mode thermique pur :</u> Le moteur thermique n'étant pas réversible, l'intégralité de l'énergie cinétique du véhicule est dissipée sous forme de chaleur dans les freins.</p>

Tableau 1.1 Tableau d'explication de mode thermique pur

1.5.2 Fonctionnement en mode électrique pur ou tout électrique

Ce régime répond à une propulsion totalement fournie par le moteur électrique. Le véhicule est alors appelé ZEV (Zero Emission Vehicle) et ses caractéristiques en termes de dynamique et de plaisir de conduite sont semblables à celles d'un véhicule électrique. Ce mode amène, à plus ou moins long terme, à la décharge des batteries. [19]

Mode électrique pur	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<p><u>Freinage récupératif en mode électrique pur :</u> L'énergie cinétique du véhicule est récupérée par le moteur électrique pour recharger les batteries.</p>
	Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$		<p><u>Traction en mode électrique pur :</u> Le moteur électrique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule.</p>

Tableau 1.2 Tableau d'explication de mode électrique pur

Les machines électriques sont des transformateurs d'énergie bidirectionnels. Elles transforment l'énergie électrique en énergie mécanique rotationnelle et, réciproquement, l'énergie mécanique en énergie électrique. Le choix des machines électriques de traction pour les systèmes de propulsion hybride est une étape très importante qui nécessite une attention particulière. L'industrie automobile est toujours à la recherche du système électrique de propulsion le plus approprié pour les VEH et même pour les VE. Dans ce cas, les principales caractéristiques sont le rendement, la fiabilité et le coût auxquels il faut ajouter le niveau de vibration ou de bruit. Le processus de choix des systèmes de propulsion électrique appropriés est ainsi difficile et doit être réalisé au niveau du système. Les critères guidant le choix des systèmes de propulsion électrique pour les VEH dépend principalement de trois facteurs :

- Le cycle de conduite
- Les contraintes du véhicule
- La source d'énergie.

D'un point de vue industriel, les principaux types de machines électriques adoptées ou en cours d'évaluation pour les VEH comprennent la machine à courant continu (CC) qui a été abandonnée, la machine asynchrone (IM), les machines synchrones à aimants ou rotor bobiné (AP) et le moteur à réluctance variable (VRM). [17]

Le moteur électrique reprend un principe de physique pour son fonctionnement. Il s'agit d'exploiter la force électromagnétique pour générer du mouvement.

La science a en effet découvert que "l'épiderme" des atomes était constitué d'électrons. Certains épidermes ont un "surplus" d'électrons qui peuvent alors se balader d'un atome à l'autre (ce sont les matériaux conducteurs et on appelle cela le courant électrique). Ces électrons peuvent être bougés en leur envoyant des rayons électromagnétiques (lumière) mais aussi en le soumettant à un champ magnétique (aimant, mais sachez que lumière et champ magnétique sont liés entre eux). [17]

Les machines électriques sont des transformateurs d'énergie bidirectionnels. Elles transforment l'énergie électrique en énergie mécanique rotationnelle et, réciproquement, l'énergie mécanique en énergie électrique. Le choix des machines électriques de traction pour les systèmes de propulsion hybride est une étape très importante qui nécessite une attention particulière. L'industrie automobile est toujours à la recherche du système électrique de propulsion le plus approprié pour les VEH et même pour les VE. Dans ce cas, les principales caractéristiques sont le rendement, la fiabilité et le coût auxquels il faut ajouter le niveau de vibration ou de bruit. Le processus de choix des systèmes de propulsion électrique appropriés est ainsi difficile et doit être réalisé au niveau du système. Les critères guidant le choix des systèmes de propulsion électrique pour les VEH dépend principalement de trois facteurs :

- Le cycle de conduite
- Les contraintes du véhicule
- La source d'énergie.

D'un point de vue industriel, les principaux types de machines électriques adoptées ou en cours d'évaluation pour les VEH comprennent la machine à courant continu (CC) qui a été

abandonnée, la machine asynchrone (IM), les machines synchrones à aimants ou rotor bobiné (AP) et le moteur à réluctance variable (VRM). [19]

Le moteur électrique reprend un principe de physique pour son fonctionnement. Il s'agit d'exploiter la force électromagnétique pour générer du mouvement.

La science a en effet découvert que "l'épiderme" des atomes était constitué d'électrons. Certains épidermes ont un "surplus" d'électrons qui peuvent alors se balader d'un atome à l'autre (ce sont les matériaux conducteurs et on appelle cela le courant électrique). Ces électrons peuvent être bougés en leur envoyant des rayons électromagnétiques (lumière) mais aussi en le soumettant à un champ magnétique (aimant, mais sachez que lumière et champ magnétique sont liés entre eux). [19]

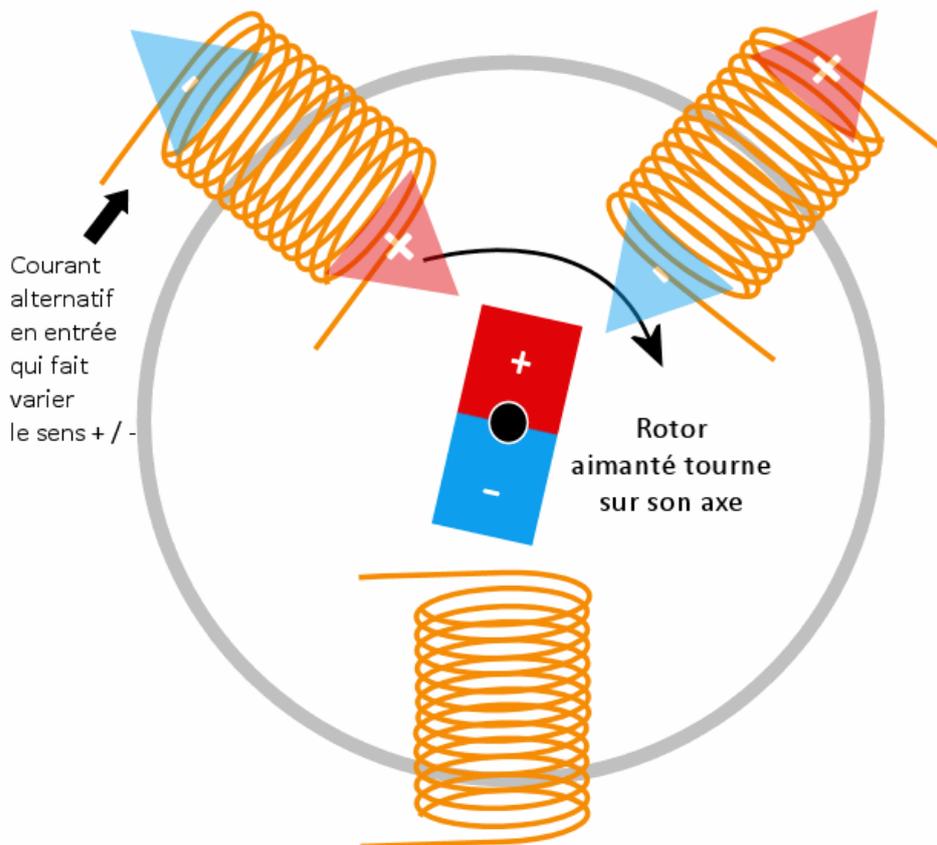


Figure 1.6 Schéma explicatif des mécanismes de moteur électrique.

En général le rotor est à induction / asynchrone, c'est à dire qu'il a sur lui (au lieu d'un aimant comme sur le schéma) des petites bobines dans lesquelles de l'électricité (et donc de l'aimantation) est induite par le champ magnétique du stator. Mais le principe reste toujours le même : faites bouger un aimant devant du cuivre et vous générerez de l'électricité, ou envoyez de l'électricité dans du cuivre et vous ferez bouger l'aimant. Sans oublier qu'envoyer de l'électricité dans une bobine génère un aimant. [20].

Il faut donc comprendre que le mouvement et la transmission d'énergie se fait sans contact entre le stator et le rotor : c'est la force magnétique (force de l'aimant) qui fait bouger les choses. Niveau usure on peut donc être rassuré.

Pour inverser le sens de fonctionnement du moteur (donc passer la marche arrière) il suffit alors d'envoyer du courant dans l'autre sens. [21].

1.5.3 Fonctionnement en mode hybride :

Ce mode correspond à une propulsion assurée par les deux moteurs simultanément. Plusieurs cas de figures sont envisageables. En traction, l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule peut être délivrée soit par les deux moteurs, soit par le moteur thermique seul. Le moteur électrique est alors utilisé pour recharger les batteries en roulant. En freinage, le moteur électrique récupère une partie de l'énergie cinétique du véhicule ainsi qu'un supplément délivré par le moteur thermique (Pendant la phase de freinage, une partie de l'énergie dissipée par le moteur thermique peut être récupérable si cela est techniquement possible).

Mode Hybride	Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$		<p><u>Traction du véhicule en mode hybride :</u> Les deux moteurs participent à la propulsion du véhicule.</p>
	Traction du véhicule en mode hybride :		<p><u>Traction du véhicule en mode hybride :</u> Le moteur thermique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule ainsi qu'un supplément qui est récupéré par le moteur électrique afin de recharger les batteries.</p>
	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<p><u>Freinage récupératif en mode hybride :</u> L'énergie cinétique du véhicule et l'énergie produite par le moteur thermique sont récupérées par le moteur électrique afin de recharger les batteries.</p>

Tableau 1.3 Tableau d'explication de mode hybride

1.6. Stratégie de gestion énergétique

1.6.1 Formulation mathématique de la gestion énergétique du véhicule hybride :

L'élaboration de la stratégie de gestion énergétique peut être considérée comme un problème d'optimisation globale sous contraintes. Sa résolution, qui impacte directement les performances du véhicule hybride, est un des centres d'intérêt de la recherche scientifique dans le domaine automobile.

1.6.1.1 Cadre général

Toute technique peut apparaître comme l'extension d'un certain savoir-faire de l'être humain. Dans ce contexte, les mathématiques sont un outil pédagogique qui permet d'étudier et d'analyser ces techniques. Elles simplifient des expressions verbeuses et des conceptions abstraites en les traduisant dans un langage uniforme et universellement compréhensible sous forme de chiffres et de symboles.

Un algorithme est une méthode mathématique qui peut être exécuté, grâce à un langage de programmation, par un ordinateur, et permettre ainsi la libération du calcul à la main et l'accélération de la vitesse de calcul.

La stratégie de gestion énergétique est l'algorithme intégré dans les calculateurs du module de supervision d'un véhicule hybride et qui permet de gérer au mieux le flux énergétique entre ses différentes sources d'énergie, sous certains objectifs de performance.

Par rapport à un véhicule conventionnel classique, l'addition d'une branche électrique dans la chaîne de traction d'un véhicule thermique-électrique offre un degré de liberté dans le contrôle-commande du système. Le besoin de coopération entre les branches thermique et électrique nécessite un contrôle de haut niveau dans le module de supervision du véhicule, c'est-à-dire le contrôleur de la gestion énergétique ou le contrôleur du système optimal.

Le signal de puissance demandée par le conducteur est envoyé directement à ce contrôleur. La stratégie intégrée détermine alors la commande optimale à envoyer aux contrôleurs de la (des) machine(s) électrique(s) et du moteur thermique (et la boîte de vitesse si nécessaire). Ces contrôleurs gèrent individuellement leurs composants pour que la demande du conducteur soit satisfaite d'une manière globale.

Tous les chemins mènent à Rome, mais celui optimal est toujours attirant. Le problème est donc de trouver, selon un certain indicateur de performance, cet optimum parmi toutes les solutions possibles. Ce problème d'optimisation peut être, par exemple : « choisir le projet d'investissement qui maximise le bénéfice », « trouver le trajet le plus court entre Lyon et Paris en minimisant les frais de péage » ou simplement « acheter le plus de pommes de terre possible avec 3€ ». [21].

Nous remarquons que les problèmes d'optimisation ne peuvent pas être résolus par le processeur d'un ordinateur au travers de ces descriptions littérales. D'où la nécessité de la formulation du problème d'optimisation sous forme d'expressions mathématiques. Dans ce but, nous cherchons à définir les grandeurs suivantes.

- 1) l'indicateur de performance du problème d'optimisation.
- 2) les variables d'état et de commande du système dynamique.
- 3) les contraintes de fonctionnement du système.

1.6.1.2 Indicateur de performance :

L'objectif principal de la gestion d'énergie d'un véhicule est la minimisation de la quantité de carburant consommé pour chaque trajet effectué. Cette consommation globale inclue directement sur nos dépenses mensuelles. Par ailleurs, les émissions de CO₂, sont proportionnelles à la consommation selon l'hypothèse de 100% de réaction chimique, où :

- 1 litre d'essence = 2,4 kg de CO₂ émis
- 1 litre de gazole = 2,7 kg de CO₂ émis

La consommation totale de carburant sur un trajet est calculée en intégrant la consommation instantanée. Celle-ci peut être exprimée soit par le débit massique de carburante m_{th} (u) soit par la puissance massique thermique P_{th} (u). En effet, la relation entre cette puissance et le débit massique est décrite par l'équation (III.2). Le pouvoir calorifique inférieur P_{CI} est 47,3 MJ/kg pour l'essence et 44,8 MJ/kg pour le gazole. [14] [15]

$$P_{th} = m_{th} \cdot P_{CI}$$

L'optimisation d'un véhicule hybride vise souvent plusieurs objectifs. Il s'agit d'une optimisation multicritères. Outre la consommation de carburant, les éventuels critères d'optimisation sont :

- Emissions d'échappement :

Les polluants considérés peuvent être le monoxyde de carbone CO l'oxyde d'azote NO_x

[16] [17].

ainsi que les particules Ainsi PM₁₀ et PM_{2,5}. Typiquement, la réduction des émissions s'effectue en contrôlant les températures de fonctionnement du moteur thermique et du catalyseur à trois voies. [18] [19]

- Vieillissement de la batterie :

La prise en compte de la température a permis une amélioration significative du comportement de la batterie [20].

En effet, une température de fonctionnement élevée accélère le vieillissement de la batterie [21].

- Agrément de conduite

Il s'agit de la fréquence du changement de rapport de vitesse, c'est-à-dire le nombre de changements de rapport sur un cycle de conduite et la durée moyenne du maintien sur le même rapport de vitesse [22, 23].

- Dimensionnement des composants de la chaîne de traction

Plusieurs études ont démontré l'intérêt de prendre en compte en même temps la gestion d'énergie et le dimensionnement [23, 24].

Il peut s'agir par exemple de déterminer le nombre optimal de cellules de différentes performances à utiliser dans la batterie a de minimiser son coût de revient.

Ce travail de thèse concerne des véhicules hybrides non rechargeables avec pour objectif de minimiser la consommation d'essence sur un cycle de conduite. Ce choix d'optimisation monocritère s'appuie sur une hypothèse des effets thermiques du système négligeable. En effet, le type et la quantité des polluants émis sont difficiles à estimer car ils sont non seulement très sensibles aux températures du moteur thermique et du poste de traitement des gaz d'échappement, mais aussi incidences par le débit du mélange air-essence ainsi que leur rapport et même par les fortes variations du couple développé. Une introduction de la gestion des émissions dans le problème d'optimisation sans prendre en compte des effets thermiques n'est pas prudente. Dans tous les cas, la quantité de CO₂ émis peut être estimée par la formule précédente, pour une information indicative.

1.6.1.3 Variables d'état et de commande

Dans la littérature, la variable d'état du véhicule hybride thermique-électrique est généralement définie par l'état de charge de la batterie, soit $x = SOC$. Evidemment, une optimisation multi-objective requiert vraisemblablement de nouvelles variables d'état comme la température du moteur thermique.

Contrairement à l'état du système, les variables de commande utilisées dans la littérature sont très diverses. Cela peut être la puissance fournie par le moteur thermique $u = P_{mth}$, correspondant au choix fait dans le présent travail.

Les autres possibilités sont la puissance du groupe électrogène dans le cas d'un hybride série [25], la puissance de la machine électrique, la puissance de la batterie, le couple du moteur thermique, le rapport de la répartition de puissance soit entre le couple développé par

machine électrique et le couple demandé à la traction, soit entre le couple développé par moteur thermique et le couple de traction [26].

Plus précisément, le nombre de variables de commande dépend du nombre de degrés de liberté de l'architecture de la chaîne de traction. Par exemple, pour une architecture combinée de type Toyota Prius dont le nombre de degrés de liberté est égal à deux, la commande devient un vecteur du couple de la machine électrique et de la vitesse du générateur [27].

Il faut noter que pour l'architecture parallèle avec une boîte de vitesse à 5 rapports, le rapport de vitesse k peut aussi être considéré comme une variable de commande. Dans le présent mémoire, cette variable est implicite et est déterminée par la règle empirique qui maximise le rendement du moteur thermique. A une vitesse ω_{mth} donnée, une P_{mth} est donc liée à une valeur optimale de k . Ainsi, le nombre de degré de liberté du système devient un et la variable de commande devient P_{mth} .

1.6.1.4 Contraintes de fonctionnement :

Quelle que soit la définition des variables d'état et de commande, il existe des contraintes à respecter pour le bon fonctionnement du système étudié. Par exemple, la puissance de la batterie est limitée par les puissances minimale et maximale autorisées au moment de la recharge et de la décharge.

Quant au couple du moteur thermique, il est naturellement positif et borné par le couple maximal en fonction de la vitesse de rotation. Dans le cas où l'agrément de conduite est un des critères d'optimisation, une durée minimale peut être imposée entre deux démarrages du moteur thermique [28].

Les contraintes prises en compte dans cette étude sont les suivantes pour $\forall t \in [t_0, t_f]$:

Sur le moteur thermique :

$$P_{mth}(t) \in [0, P_{mth_max}]$$

$$C_{mth}(t) \in [0, C_{mth_max}]$$

$$\omega_{mth}(t) \in [\omega_{mth_min}, \omega_{mth_max}]$$

Sur la machine électrique :

$$P_{me}(t) \in [-P_{me_max}, P_{me_max}]$$

$$C_{me}(t) \in [-C_{me_max}, C_{me_max}]$$

$$\omega_{me}(t) \in [0, \omega_{me_max}]$$

Sur la batterie

$$SOC(t) \in [SOC_{min}, SOC_{max}]$$

$$SOC(t_f) = SOC(t_0) = SOC_{ref}$$

Où :

Les contraintes précédentes limitent la zone d'exploitation des cartographies de rendement du moteur thermique et de la machine électrique,

Au niveau de la batterie, la contrainte d'intervalle évite une valeur de l'état de charge négative ou supérieure à 100%. Dans notre cas, la référence de l'état de charge de la batterie est imposée à 40%, qui correspondent à une valeur intermédiaire. La capacité d'énergie de la batterie étant assez grande, la contrainte sur les moteurs n'est pas besoin d'être prise en compte si la stratégie de gestion énergétique fonctionne correctement. Remarquons que l'hypothèse d'indépendance des caractéristiques de la batterie par rapport à l'état de charge est basée sur une faible variation de ce dernier [29].

La contrainte la plus importante dans l'optimisation de gestion énergétique est la contrainte sur l'état final de la batterie. Elle est particulièrement importante dans le cas du véhicule hybride non-rechargeable où toute l'énergie consommée vient du carburant. Elle est souvent nommée « bilan batterie nul » (BBN ou charge-sustaining en anglais). Cette contrainte n'est cependant plus valable pour un véhicule hybride rechargeable parce qu'il privilégie l'utilisation de l'énergie électrique et l'état de charge final de sa batterie SOC (tf) est ainsi bien inférieur à son état initial SOC (t0). Une des difficultés de la gestion énergétique en temps réel est de respecter cette contrainte BBN. Dans le cas de l'optimisation hors ligne, cette contrainte est traitée en boucle ouverte. Cependant, en temps réel, la décision des puissances du moteur thermique et de la machine électrique est faite à chaque instant alors que la satisfaction de cette contrainte ne peut se varier qu'à la fin du parcours. C'est pourquoi certains auteurs proposent de contrôler l'état de charge en boucle fermée par un régulateur de type proportionnel (P) ou proportionnel-intégral (PI). [29]

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les différentes caractéristiques de la voiture hybride, son fonctionnement, son historique ainsi que sa conception et ses architectures.

De plus nous avons, expliqué la formulation mathématique de la gestion énergétique du véhicule hybride.

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur la voiture hybride dont nous allons utiliser dans notre travail de dimensionnement.

**Chapitre 2 : véhicule hybride
Électrique - photovoltaïque**

Chapitre 2 : véhicule hybride électrique - photovoltaïque

2.1 Introduction :

Un modèle hybride dans le contexte de l'automobile signifie qu'il est propulsé par deux types de moteurs différents. Le plus fréquent est l'alliage du moteur électrique et du moteur à essence. Les deux systèmes fonctionnent directement l'un avec l'autre de façon complémentaire pour faire tourner les roues. Cela permet de faire une économie considérable de carburant en plus de participer pleinement à la protection de l'environnement. La voiture hybride émet en effet bien moins de CO₂ qu'un véhicule à essence ou diesel conventionnel comparable. Elle a également en général une meilleure autonomie qu'un véhicule entièrement électrique grâce aux deux différentes sources d'énergies utilisées. Il s'agit donc du modèle idéal pour faire la transition entre la voiture à essence traditionnelle et la voiture électrique qui va de plus en plus se standardiser les années à venir. Un autre avantage de la voiture hybride est qu'elle utilise un système de freinage régénératif, c'est à dire que la batterie se recharge un peu à chaque pression effectuée sur le frein. Ici encore, il y a un gain d'énergie et d'argent qui est envisageable. [30]

La voiture hybride solaire a comme son nom l'indique la particularité d'utiliser l'énergie solaire pour alimenter sa batterie. Pour cela, elle intègre donc des panneaux solaires sur la carrosserie avec des cellules photovoltaïques qui permettent de convertir la lumière du soleil en électricité. De manière plus concrète, les rayons du soleil percutent les cellules photovoltaïques et alimentent les électrons. Cela permet d'obtenir un flux d'électrons qui crée un courant électrique dans le processus d'alimentation. Ce courant électrique est ensuite utilisé comme «carburant» pour faire fonctionner le véhicule en complément d'un autre moteur à essence ou autre. L'avantage est que la voiture solaire hybride permet de faire encore plus d'économies qu'un véhicule hybride classique puisque la batterie se recharge grâce au soleil, mais aussi et surtout que l'énergie consommée est renouvelable. Ce qui est bien entendu un énorme point fort. Cependant, les voitures solaires ont des limites de conception non négligeables. Notamment au niveau de l'aspect esthétique qui doit être pris en compte pour l'intégration des panneaux photovoltaïques. Étant donné que ces derniers sont assez imposants et difficilement dissimulables, il s'agit d'un frein au développement des véhicules solaires hybrides sur le grand marché. [30]

2.2 Dimensionnement photovoltaïque

2.2.1 Description de la chaîne de conversion photovoltaïque:

L'effet photovoltaïque se manifeste par l'apparition d'une différence de potentiel à la jonction entre un métal et un semi-conducteur lorsque le dispositif reçoit un rayonnement lumineux de longueur d'onde adéquate. Ainsi une cellule photovoltaïque peut convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14% pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12% pour le silicium poly cristallin et en fin 7 à 8% pour les siliciums en films minces [30].

2.2.2 Les cellules photovoltaïques:

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui exposé à la lumière (photons) génère de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu est fonction de la lumière incidente. L'électricité produite est fonction de l'éclairement, la cellule photovoltaïque produit un courant continu [31].

2.2.3 Description d'une cellule photovoltaïque:

La cellule photovoltaïque est le composant électronique semi-conducteur qui compose un panneau solaire photovoltaïque et qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité. Dans la cellule photovoltaïque, l'absorption des photons libère des électrons chargés négativement et des « trous » chargés positivement. [31]

2.3 Mise en parallèle et en série des cellules

2.3.1 Mise en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. [32]

La figure 2.1 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles n_p cellules identiques.

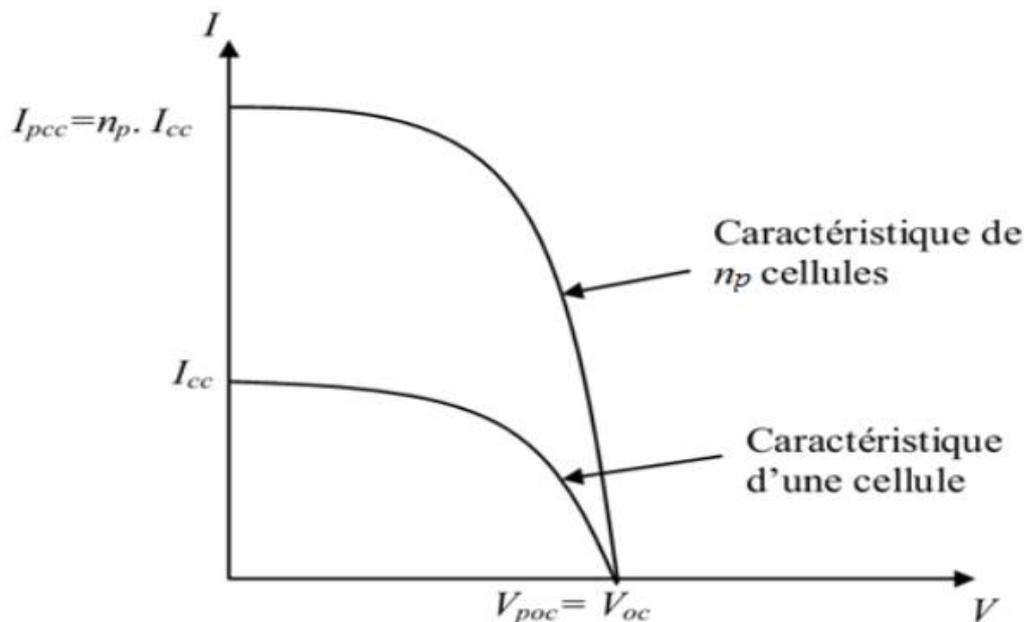


Figure 2.1 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques

2.3.2 Mise en série:

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné [32].

La figure 2.2 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en série n_s cellules identiques.

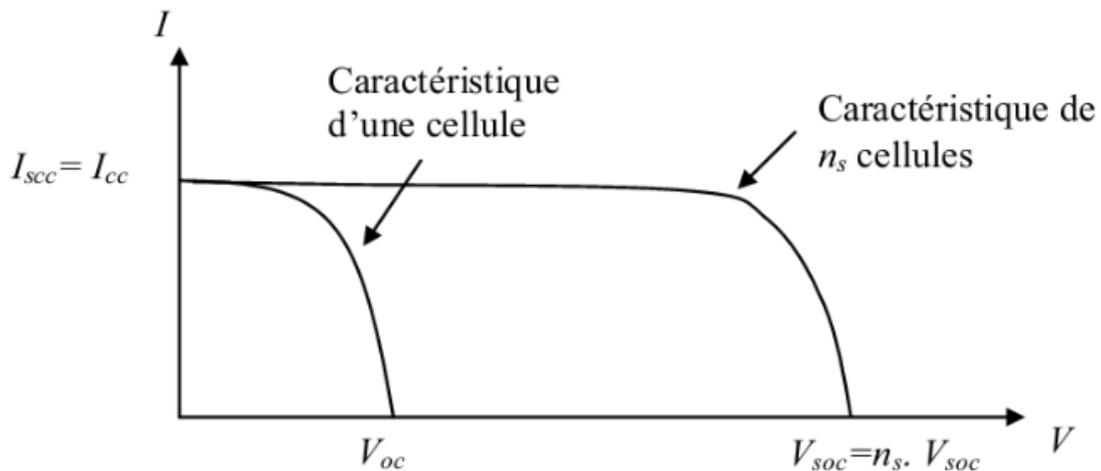


Figure 2.2: Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques

2.3.3 Protection d'un générateur photovoltaïque:

Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, deux types de protections sont utilisés dans l'installation:

- Les diodes en série: la protection lors de la mise en série de modules photovoltaïques, pour éviter les courants inverses dans les générateurs photovoltaïques, dite diode anti-retour.
- Les diodes en parallèles: la protection en cas de la mise en parallèle de modules photovoltaïques, pour limiter la tension inverse aux bornes de modules photovoltaïques et minimiser la perte de production.[33]

2.4 Les différents systèmes photovoltaïques:

Les systèmes PV sont trois types:

a) Systèmes photovoltaïques autonomes:

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau Électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage d'eau. En règle générale, les systèmes

PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique . [33]

b) Systèmes photovoltaïques connectés au réseau:

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu– courant alternatif (CC-CA). Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil [33].

c) Systèmes hybrides:

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de stockage de l'énergie. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée [33].

2.5 Fonctionnement et constitution d'un système photovoltaïque:

Un système photovoltaïque est un dispositif utilisé pour fournir de l'énergie à partir d'irradiation solaire à fin d'être utilisée par l'homme. Le système est constitué généralement des éléments suivants:

- Un champ photovoltaïque, composé d'un ensemble de module orientés et interconnectés en série et en parallèle, qui recueillent les radiations lumineuses du soleil et les transforment en courant continu a basse tension.
- Un convertisseur statique DC/DC (hacheur survolteur ou dévolteur).
- Charge, l'utilisation.
- Des batteries qui stockent l'énergie produite par le générateur photovoltaïque et qui permettent de disposer du courant électrique pendant les périodes non ensoleillé. [34]

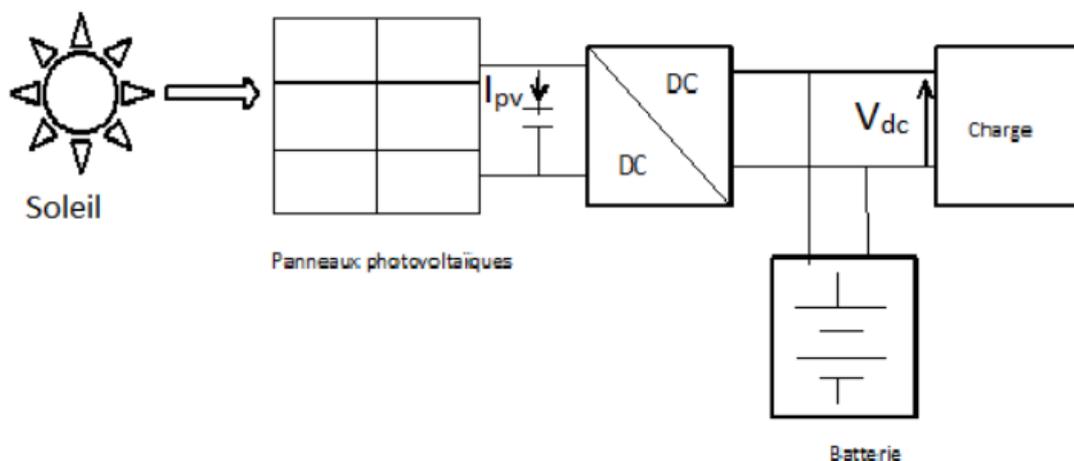


Figure 2.3: Structure de la chaîne de conversion photovoltaïque

2.6 Puissance et rendement des modules

Dès qu'ils reçoivent une certaine quantité de lumière, les modules se mettent à produire de l'électricité sous forme de courant continu à une tension nominale (mesurée en Volts), dont l'intensité (mesurée en Ampères) augmente avec la quantité de lumière reçue, jusqu'à ce que la puissance délivrée (mesurée en Watts) atteigne son maximum.

La "puissance-crête" est une donnée normative utilisée pour caractériser les cellules et modules photovoltaïques, mesurée lors d'un test effectué en laboratoire, sous une irradiation de 1000 W/m² et à une température de 25°C, la lumière ayant le spectre attendu après la traversée de 1.5 fois l'épaisseur de l'atmosphère (Air Mass 1.5). Elle correspond à la puissance que peut délivrer une cellule, un module ou un champ photovoltaïque dans ces conditions standard (STC). Pour un site donné en France, si on analyse la distribution de la puissance atteinte sur une année, on s'aperçoit que celle-ci dépasse rarement 80% de la puissance crête et que la contribution énergétique des puissances supérieures est très faible.

En pratique, la puissance délivrée par un module varie en fonction de l'énergie solaire reçue qui dépend du jour, de l'heure, de la météo, de l'orientation du système, etc.- et de sa température (voir article Points clés pour une installation plus performante). Généralement, la puissance maximale se situe aux alentours de la puissance nominale ou "puissance crête" mais dans des conditions exceptionnelles, par exemple en altitude, cette puissance maximale peut régulièrement dépasser la puissance crête. [34]

2.6.1 Rendement des modules

Les performances des modules sont variables selon la technologie utilisée et les caractéristiques définies par le fabricant, mais les modules les plus courants délivrent une puissance nominale de quelques centaines de watts sous une tension d'une trentaine ou quarantaine de volts.

Plusieurs modules peuvent être connectés électriquement entre eux, en série ou en parallèle, de façon à délivrer la puissance et la tension désirée. La puissance totale d'un système photovoltaïque (et donc l'énergie qu'il produira) est directement proportionnelle au nombre de modules et à leur puissance individuelle.

Les modules qui forment ensemble une série doivent impérativement être installés dans un même plan (même inclinaison par rapport à l'horizontale et même orientation par rapport au Sud), faute de quoi la productivité de l'ensemble s'alignera à tout instant sur le moins ensoleillé des modules, occasionnant ainsi des pertes (voir article Points clés pour une installation plus performante).

Le rendement des modules varie entre 12 et 20%. [34]

2.6.2 Limitation des pertes « modules »

Diodes bypass :

En plus de la perte d'énergie engendrée par la moindre irradiation, le photovoltaïque réagit de manière sensible aux ombrages. En effet, lorsqu'une cellule est ombragée, elle devient équivalente à une résistance et absorbe à ce titre l'énergie produite par les cellules voisines non ombragées. Cette énergie se transforme alors en chaleur et risque de dégrader la cellule masquée (effet point chaud).

Afin de lutter contre ce phénomène, les modules intègrent des diodes de by-pass placées en parallèle des cellules et dont le rôle est de détourner le courant provenant des autres cellules. Cet effet qui se produit au niveau d'une cellule peut aussi se retrouver de la même manière à l'échelle d'une série de modules, du fait de leur mise en série. [34]

Traitement anti-reflet :

L'incidence des rayons lumineux sur les modules photovoltaïques ne permet pas de recueillir l'intégralité de l'énergie : une partie du rayon est réfléchi. Pour diminuer cette perte optique, certains modules photovoltaïques sont équipés en face avant de verres spéciaux avec un traitement permettant de retenir (par réfraction) les rayons lumineux. [34]

Sur certains modules, notamment les panneaux photovoltaïques à concentration, le concept est poussé jusqu'à son maximum. [34]

2.6.3 Durée de vie des modules

La durée de vie d'un module PV correspond à la durée pendant laquelle il va remplir sa fonction, à savoir la production d'énergie électrique à un niveau satisfaisant pour le producteur. Il est communément admis que les modules PV sont fonctionnels pendant 20 à 30 ans. Cette fonctionnalité s'accompagne toutefois d'un vieillissement prévisible et prévue dans les garanties de puissance du matériel et, dans de rares cas, de défaillances qui interviennent en général dans les premières années d'exploitation. [34]

2.7 Rendement d'un système photovoltaïque

Comme tout système de conversion d'énergie, la performance d'une installation photovoltaïque est caractérisée par son rendement.

C'est le calcul du Ratio de Performance (PR) qui permet de rendre compte de la qualité de fonctionnement d'une installation indépendamment de l'irradiation ou de la puissance crête des modules:

$$PR = \frac{\text{production réelle (kWh)}}{\text{production théorique (kWh)}}$$

Avec:

Production réelle: E elec énergie électrique produite en sortie du système sur un an en kWh

Production théorique = $H_i \times P_c$

Où

H_i : irradiation globale reçue dans le plan des modules sur 1m² pendant un an et P_c la puissance en Wc du système.

Le ratio de performance se situe entre 0,7 et 0,8 pour des installations classiques correctement conçues. [34]

2.7.1 Calcul du rendement d'une installation photovoltaïque

La production d'une installation photovoltaïque est donnée par l'équation suivante :

$$E_{elec} = H_i \times S \times \eta$$

Avec

- E_{elec} [kWh/an] : énergie électrique produite en sortie du système sur un an
- H_i [kWh/m².an] : irradiation globale reçue dans le plan des modules sur 1m² pendant un an.
- S [m²] : surface du champ des modules photovoltaïques
- η : rendement global du système

Le rendement global du système inclut l'ensemble des pertes provoquées par ses composants, des modules jusqu'au point d'injection du courant alternatif sur le réseau de distribution.

$$\eta = \frac{E_{elec}}{E_{lum}}$$

Il permet de caractériser la fraction de l'énergie lumineuse captée au départ que l'on retrouve sous forme électrique injectée sur le réseau. Il est donc égal au rapport entre l'énergie lumineuse E_{lum} reçue sur les panneaux et l'énergie électrique E_{elec} de sortie injectée sur le réseau. [34]

Ce rendement global, η , peut être séparé en deux composantes :

$$\eta = \eta_{stc} \times \eta_{système}$$

η_{stc} est le rendement des modules en conditions de tests standards, c'est-à-dire sous une luminosité G_{stc} . Soumis à cette luminosité, les panneaux délivrent une puissance électrique de sortie globale que l'on nomme la puissance crête P_c . C'est elle qui caractérise le champ photovoltaïque lors de son installation (3 kWc en moyenne pour les particuliers). Le rendement η_{stc} permet donc de caractériser l'efficacité de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique, avant qu'elle n'arrive au niveau des onduleurs:

$$\eta_{stc} = \frac{P_c}{G_{stc} \times S}$$

Avec:

- P_c = Puissance crête des modules
- S = Surface du champ photovoltaïque
- $G_{stc} = 1000 \text{ W/m}^2$ à 25°C

Quant à η_{systeme} , il est appelé ratio de performance et est égal aux autres rendements caractérisant les composants qui suivent les modules et liés à la typologie de l'installation :

- le rendement de l'onduleur et son adaptation aux caractéristiques du champ photovoltaïque.
- les pertes dans les câbles.
- la température de fonctionnement des modules.
- la qualité d'appariement des modules selon leurs caractéristiques réelles (mismatch).
- la typologie de câblage des séries de modules tenant plus ou moins compte des masques proches.
- la tolérance sur la puissance crête de l'installation (divergence entre puissance théorique nominale et puissance réellement installée).
- la présence de masques (proches et lointains). [34]

2.7.2 Le ratio de performance

En synthétisant les équations précédents et si on exprime la puissance en kWc plutôt qu'en Wc (ce qui permet d'"éliminer" la variable G_{stc} ($G_{stc} = 1000 \text{ W/m}^2 = 1\text{kW/m}^2$)), on obtient l'équation :

$$E_{\text{elec}} = H_i \times P_c \times \eta_{\text{systeme}}$$

La production photovoltaïque dépend donc de 3 composantes :

- l'irradiation reçue,
- la puissance crête,
- le ratio de performance (η_{systeme}) (PR, dans la littérature anglophone).

Pratiquement, le ratio de performance s'obtient en effectuant le rapport entre la production réelle et la production théorique, pendant une période de référence. La différence entre les productions théoriques et réelles provient des pertes engendrées par les différents équipements de l'installation. [34]

Son utilisation permet d'obtenir un indicateur de performance indépendant de la puissance crête du système, de sa localisation géographique et des orientations et inclinaisons du champ. Lors du dimensionnement d'un système, on s'attachera à maximiser ce coefficient, alors que les autres termes de la dernière équation (H_i et P_c) seront uniquement affectés par la localisation, l'inclinaison et l'orientation du champ, le type et la surface de modules employés. [34]

2.8 Conclusion

Dans cette partie nous avons élucidé le dimensionnement photovoltaïque, ainsi que son fonctionnement et constitution, son rendement et aussi tous les outils composant un système photovoltaïque. Les conclusions qu'on peut tirer sont :

- ✓ Pour avoir une puissance capable de faire fonctionner une voiture hybride est pratiquement très difficile et sur toutes les voitures à utilisation quotidienne. Vu la puissance demandée par la voiture hybride.
- ✓ La voiture purement hybride photovoltaïque -électrique n'était pas une bonne expérience pour les entreprises. Vu le problème de puissance demandée par le moteur.
- ✓ La modélisation et la simulation d'une alimentation du moteur électrique via un panneau solaire sous les conditions théoriques.

Chapitre 3 : Simulations et interprétation des résultats

Chapitre 3 : simulations et interprétation des résultats

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré aux résultats et discussions de notre simulation, nous avons simulé la mise en marche d'un moteur électrique en utilisant les panneaux solaire comme source d'alimentation, cette partie est prise comme model de fonctionnement du véhicule hybride.

Nous avons étudié dans les scénarios l'influence des conditions extérieures sur la performance du véhicule.

Tout changement d'irradiation et de la température extérieure sera pris en compte dans l'interprétation des résultats.

3.2 Outils de simulation (MATLAB/ SIMULINK)

3.2.1 Introduction à MATLAB

- Est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple
- Il peut être considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques, grâce à ses fonctions spécialisées
- Est un interpréteur, car ses instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne ;
- Possède des bonnes capacités graphiques pour présenter des résultats ou pour créer des applications
- Peut être intégré avec du code C ou FORTRAN
- Fonctionne dans plusieurs environnements tels qu'UNIX/Xwindows, Windows, Macintosh.

3.2.2 Introduction à SIMULINK

Simulink est un produit complémentaire de MATLAB, fournit un environnement graphique interactif pour la modélisation, la simulation et l'analyse de systèmes dynamiques. Il permet la construction rapide de prototypes virtuels pour explorer des concepts de conception à tout niveau de détail avec un minimum d'effort. Pour la modélisation, Simulink fournit une interface utilisateur graphique (GUI) permettant de construire des modèles sous forme de schémas fonctionnels. Il comprend une bibliothèque complète de blocs prédéfinis à utiliser pour construire des modèles graphiques de systèmes en utilisant des opérations de glisser-déposer avec la souris.

L'utilisateur est en mesure de produire un modèle "opérationnel" qui, autrement, nécessiterait des heures de travail en laboratoire. Il prend en charge les systèmes linéaires et non linéaires, modélisés en temps continu, en temps échantillonné ou hybride des deux. Comme les étudiants apprennent efficacement grâce à un retour d'information fréquent, la nature interactive de Simulink vous encourage à essayer des choses, vous pouvez changer les paramètres "à la volée" et voir immédiatement ce qui se passe, pour une exploration "what if".

Simulink est intégré à MATLAB et les données peuvent être facilement partagées entre les programmes.

Il existe deux grandes catégories d'éléments dans Simulink :

- Les blocs
- Lines

Les blocs sont utilisés pour générer, modifier, combiner, produire et afficher des signaux.

Les lignes, en revanche, sont utilisées pour transférer des signaux d'un bloc à l'autre.

Blocs

Il existe plusieurs classes générales de blocs, dont certaines sont

- Sources : Utilisés pour générer divers signaux. Les blocs de sources ont des sorties mais pas d'entrées. On peut vouloir utiliser une entrée constante, une onde sinusoïdale, un pas, une rampe, un générateur d'impulsions ou un nombre aléatoire uniforme pour simuler le bruit. L'horloge peut être utilisée pour créer un index de temps à des fins de traçage.
- Sinks : Utilisés pour produire ou afficher des signaux. Les blocs d'éviers ont des entrées mais pas de sorties. Les exemples sont : Scope, Display, To Works pace, Floating Scope, XY Graph, etc.
- Discret : Discret : Filtre discret, Espace d'état discret, Fcn de transfert discret, Pôle zéro discret, Retard d'unité, etc.
- Continuous : intégrateur, espace d'état, transfert Fcn, pôle zéro, etc.
- Routage des signaux : Routage des signaux : Mux, Demux, Switch, etc.
- Opérations de maths : Opérations de maths : Abs, Gain, Produit, Gain de curseur, Signe, Somme, etc.

3.3 Mise en place les modules dans SIMULINK

Dans le but d'étudier l'influence de différentes conditions extérieures sur le fonctionnement du moteur.

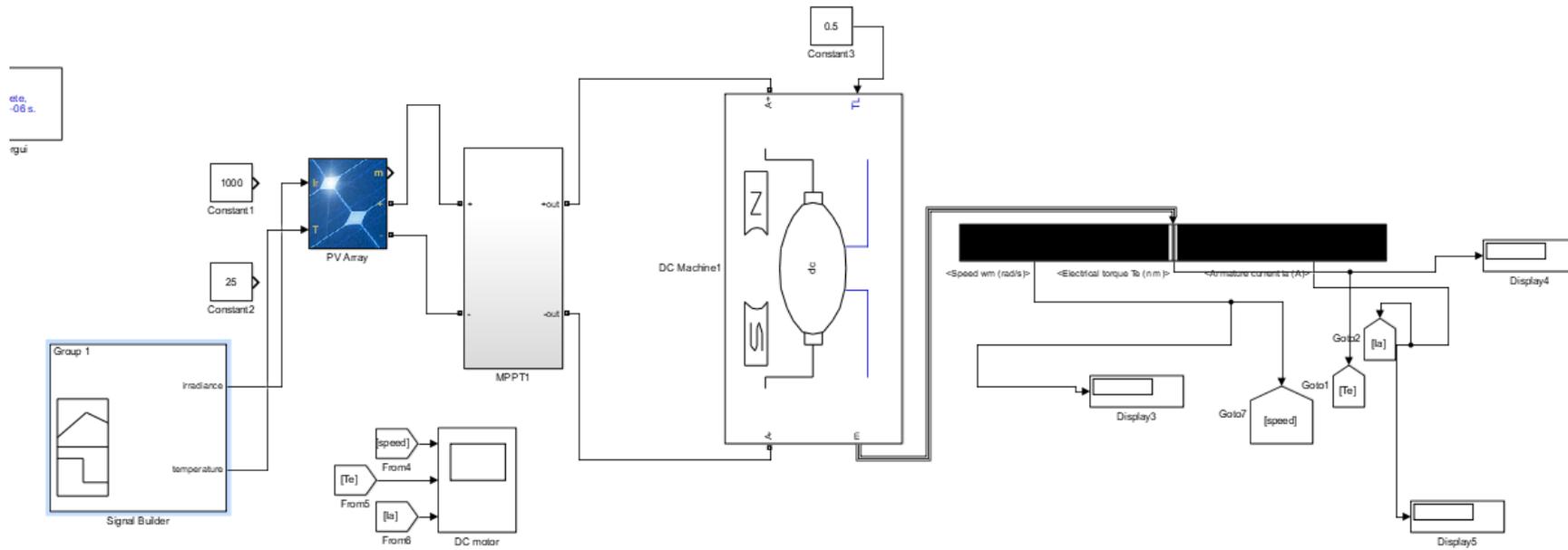


Figure 3.1 Schéma block du système

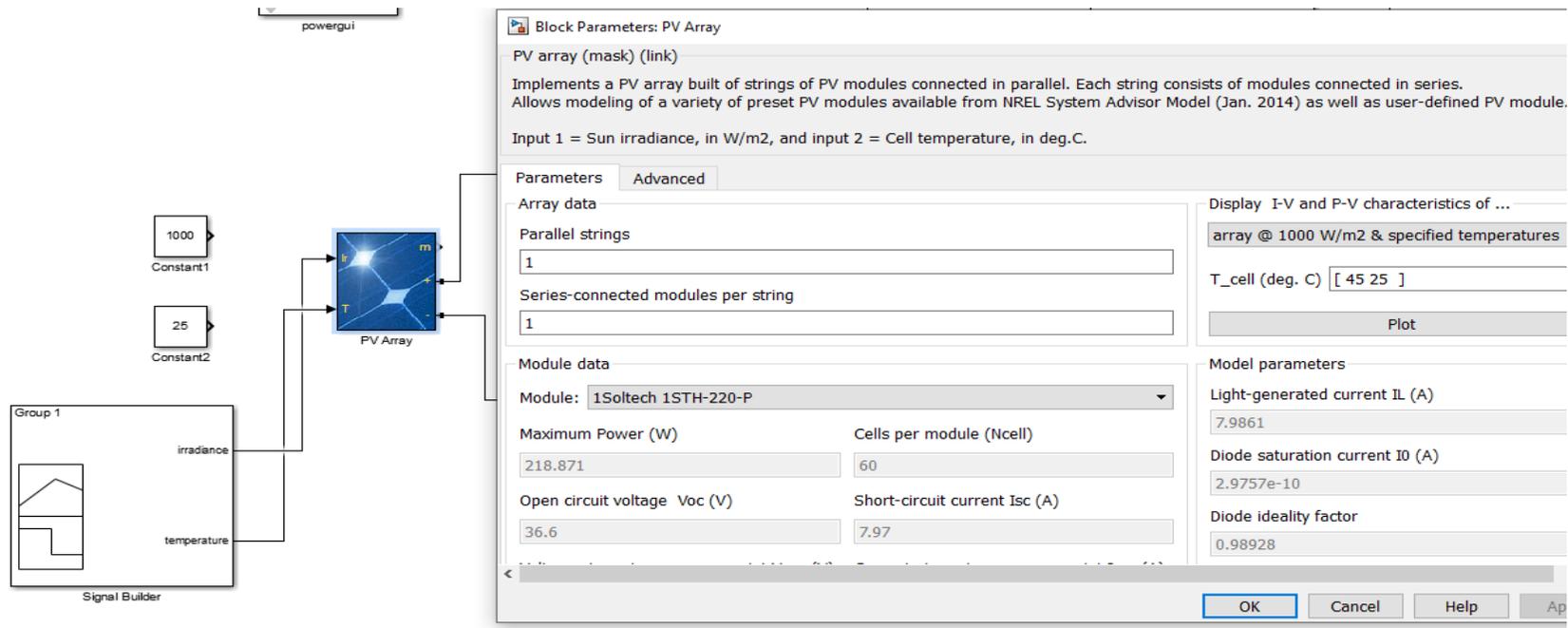


Figure 3.3 Schéma de la configuration du panneau solaire utilisé

Dans le bloc du panneau notre choix est limité par la puissance du moteur utilisé, et ce qui est très important dans le dimensionnement est qu'on doit employer un moteur à base puissance, vu que les panneaux ne seront pas capable d'alimenté le moteur.

On a déjà mentionné avant que cette topologie de voiture n'est plus efficace dans le domaine de la voiture hybride.

Pour cela nous avons démontré cette hypothèse dans notre simulation.

Dans notre système nous nous somme basé sur un moteur électrique 218 W, pour alimenter ce moteur on va le branché avec un panneau solaire de puissance maximal de 220W (sous les conditions standard).

Le bloc du « signal builder » et un bloc de régulation simple. Son rôle est de contrôlé les valeurs d'irradiation et de la température dans des phases de temps choisie. D'autre façons nous avons réglé nos valeurs choisies dans les courbe est la variation est appliqué sur le panneau. (Figure 3.4).

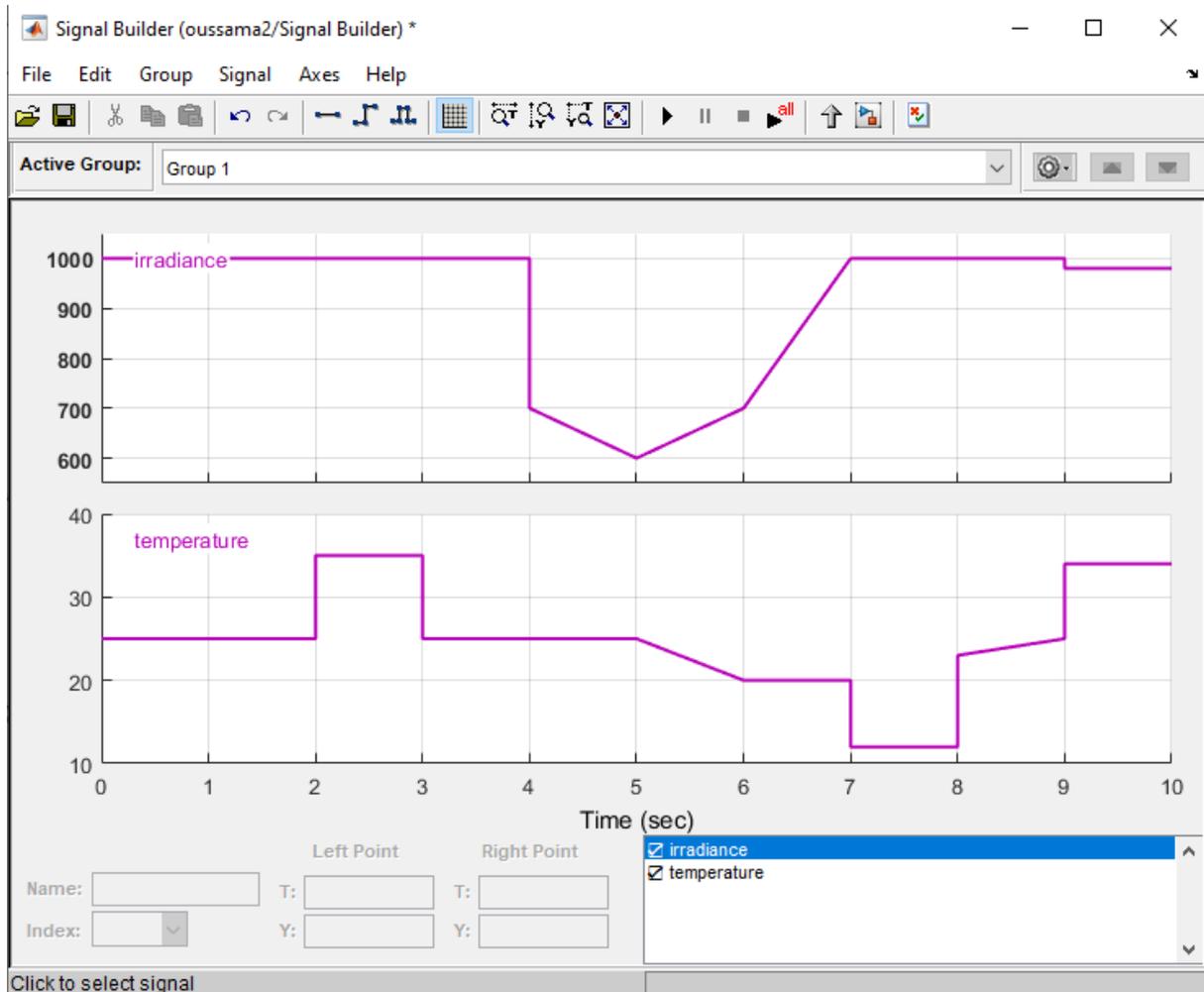


Figure 3.4 Le bloc du « signal builder »

Les paramètres sont choisis avec différentes valeurs pour tester le fonctionnement du panneau et voire son influence sur notre système.

Dans la première phase, la simulation est sous les conditions standards (1000,25) pour voir la performance maximale au début et la comparé dans tout la durée de la simulation.

Une note très important **est** que les valeurs choisie sont des valeurs théorique, aux conditions réelles le panneau solaire ne reçoit jamais ces valeurs, vu que les conditions idéales sont rarement satisfaites.

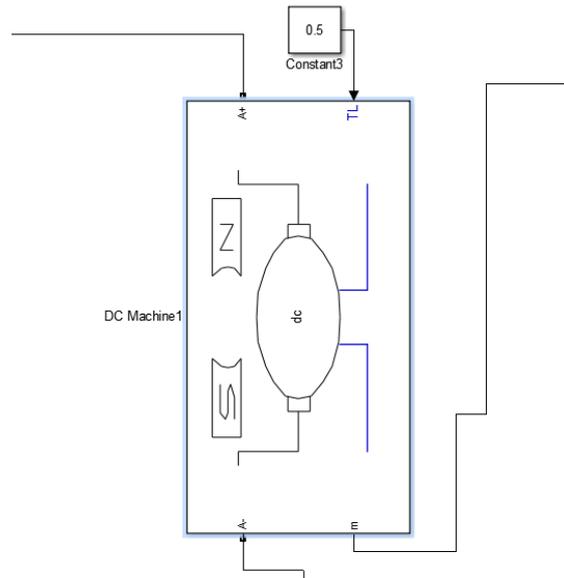


Figure 3.5 bloc de la machine DC

Le choix d'une machine à courant continu, à puissance de 200 W, cette machine est caractérisée avec son couple résistant.

Dans notre cas nous avons utilisé ce couple comme indicateur du nombre de voyageurs sur la voiture vu que notre voiture se déplace dans une route plate.

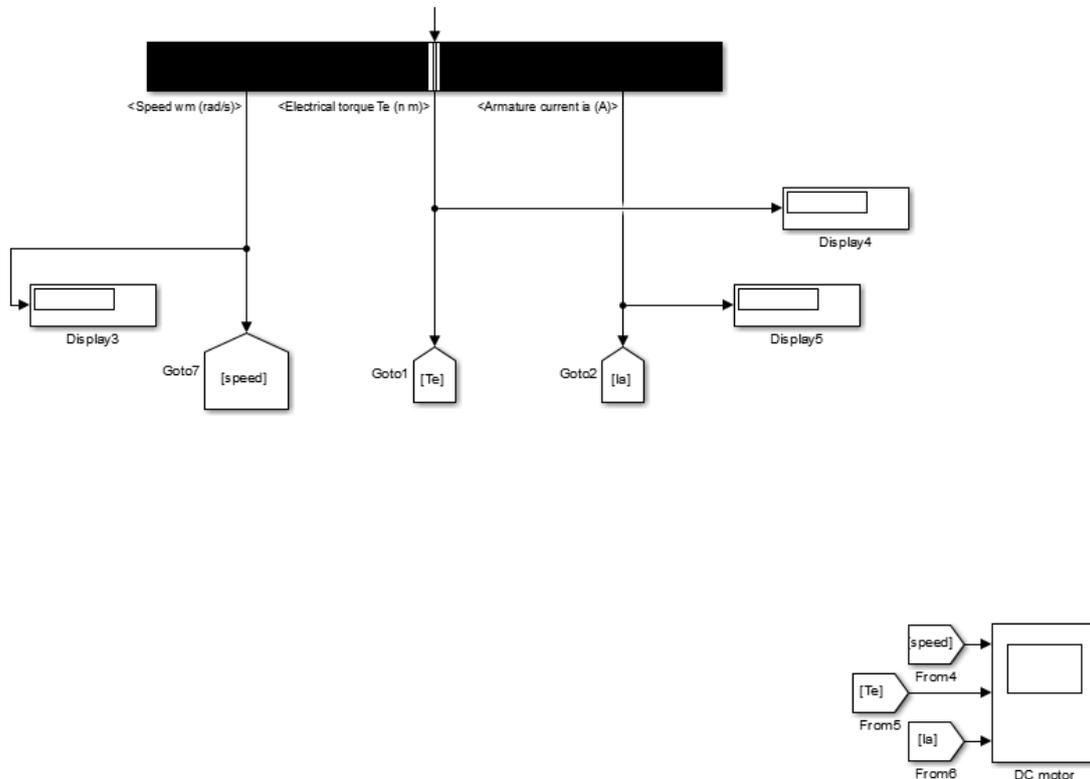


Figure 3.6 Bloc des résultats ou bloc d'affichage

Dans la sortie de notre simulation on va se centrer sur 3 paramètres, la vitesse de rotation du moteur (rad/s) qui sera notre indicateur de performance externe de la voiture, le deuxième paramètre sera le courant d'induit du moteur qui caractérise la demande du moteur en fonction du nombre des voyants, et le troisième c'est le couple électromagnétique du moteur qui va confirmer toute demande d'énergie par le moteur, on va aussi tester le bon fonctionnement du moteur dans la simulation.

3.4 Simulation et interprétation des résultats :

Dans la simulation de notre système nous avons choisi deux cas, le premier cas est la voiture avec un seul passager qui est lui-même le chauffeur.

Ce pendant on va choisir le couple résistant du moteur $T_r = 0.1 \text{ Nm}$.

Pour les valeurs d'irradiation et de la température on va garder les valeurs au hasard pour tester la performance du moteur sous différentes conditions extérieures. Les valeurs des deux facteurs ont été réglées comme la Figure 3.4 Le bloc du « signal builder » indique.

- Scénario 1 :

Avant de passer vers la simulation avec le « signal builder » on va fixer les valeurs d'irradiation et de la température sur les valeurs standard pour noter la performance maximale du système.

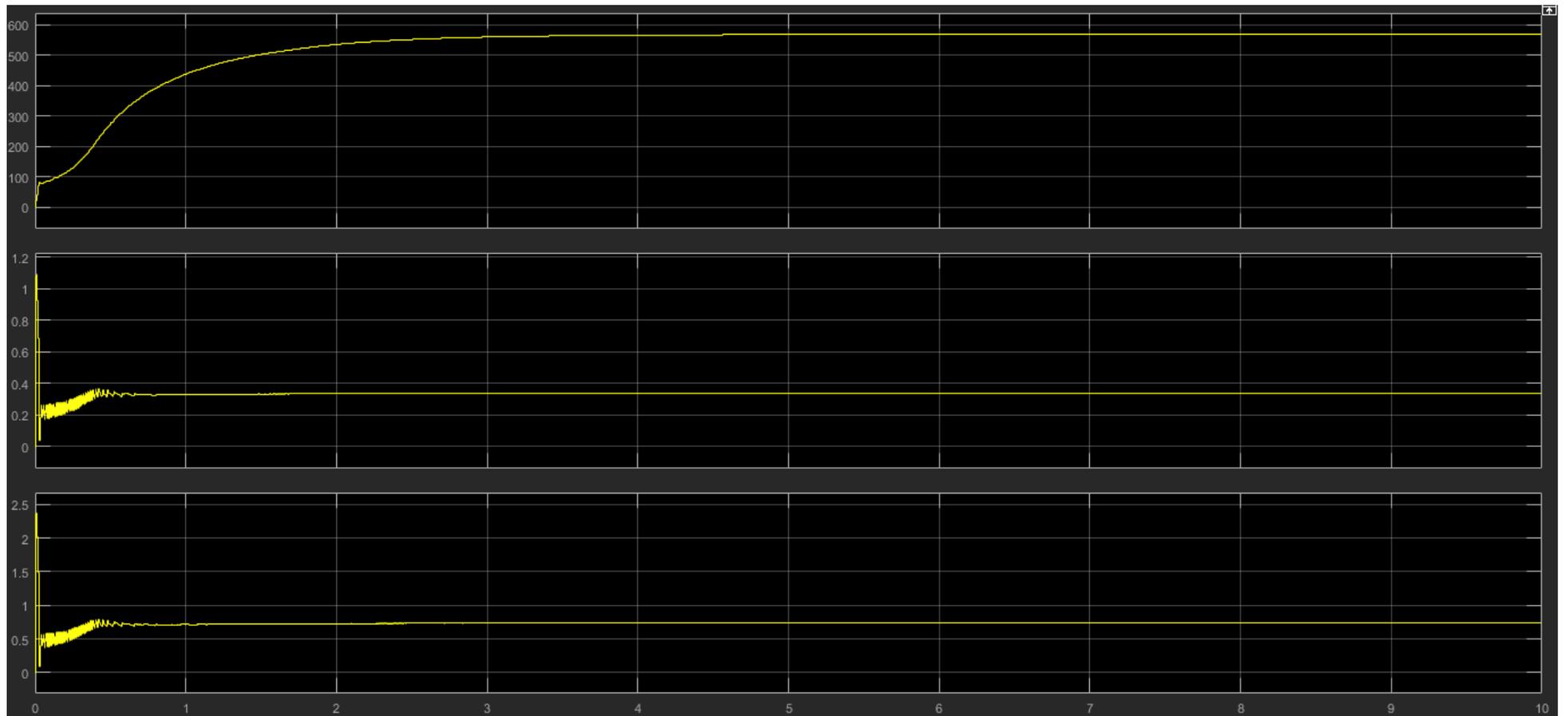


Figure 3.7 Résultats de la simulation cas numéro 1

Graphe 1 : Vitesse de rotation du moteur.

Graphe 2 : Couple électromagnétique.

Graphe 3 : Courant d'induit.

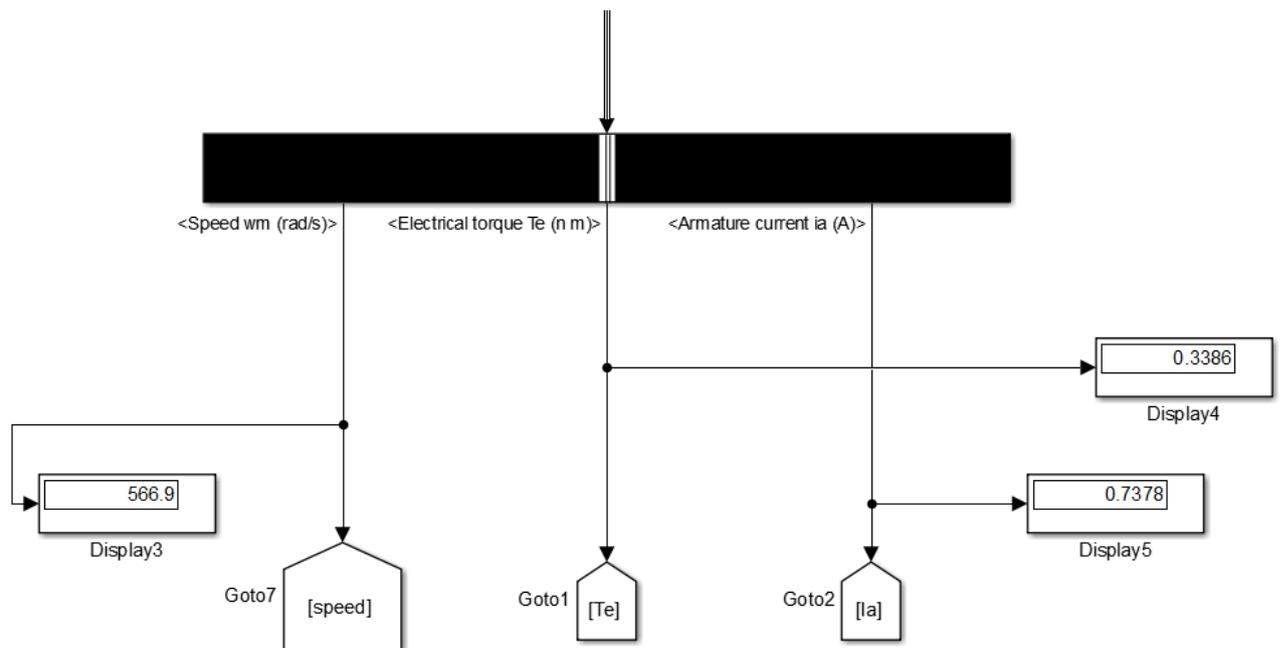


Figure 3.8 Valeur finale de la simulation (performance maximale)

Dans ce premier scénario nous avons obtenu les résultats de performance maximale du système.

Comme il est montré dans la figure 3.8.

Vitesse de rotation du moteur : 566.9 rad/s

Couple électromagnétique : 0.3386 N m

Courant d'induit: 0.7378 A

On remarque que notre moteur demande un courant de démarrage important, ce qui caractérise la machine à courant continu, le fait que ce moteur demande cette puissance l'énergie délivrer par le panneau sera utilisé totalement dans cette phase et le courant ce rétablie légèrement au cour de temps.

La période de récupération du courant et de 0.4 s. ce qui acceptable.

Le moteur est donc s'établie dans son rendement maximale.

Ce scénario est utilisé pour comparer le rendement du système en changeons les valeurs des conditions externe et aussi le couple résistant qui est dans notre cas le nombre de voyageurs.

• Scénario 2 :

Dans ce scénario on va utiliser le « signal builder », qui va nous permettre de visualisé tous les changements du r » résultats finale a cour de 10s.

En gardant le couple résistant $T_r=0.1$ Nm.

Les valeurs entrées dans le « signal builder » sont choisie comme suite :

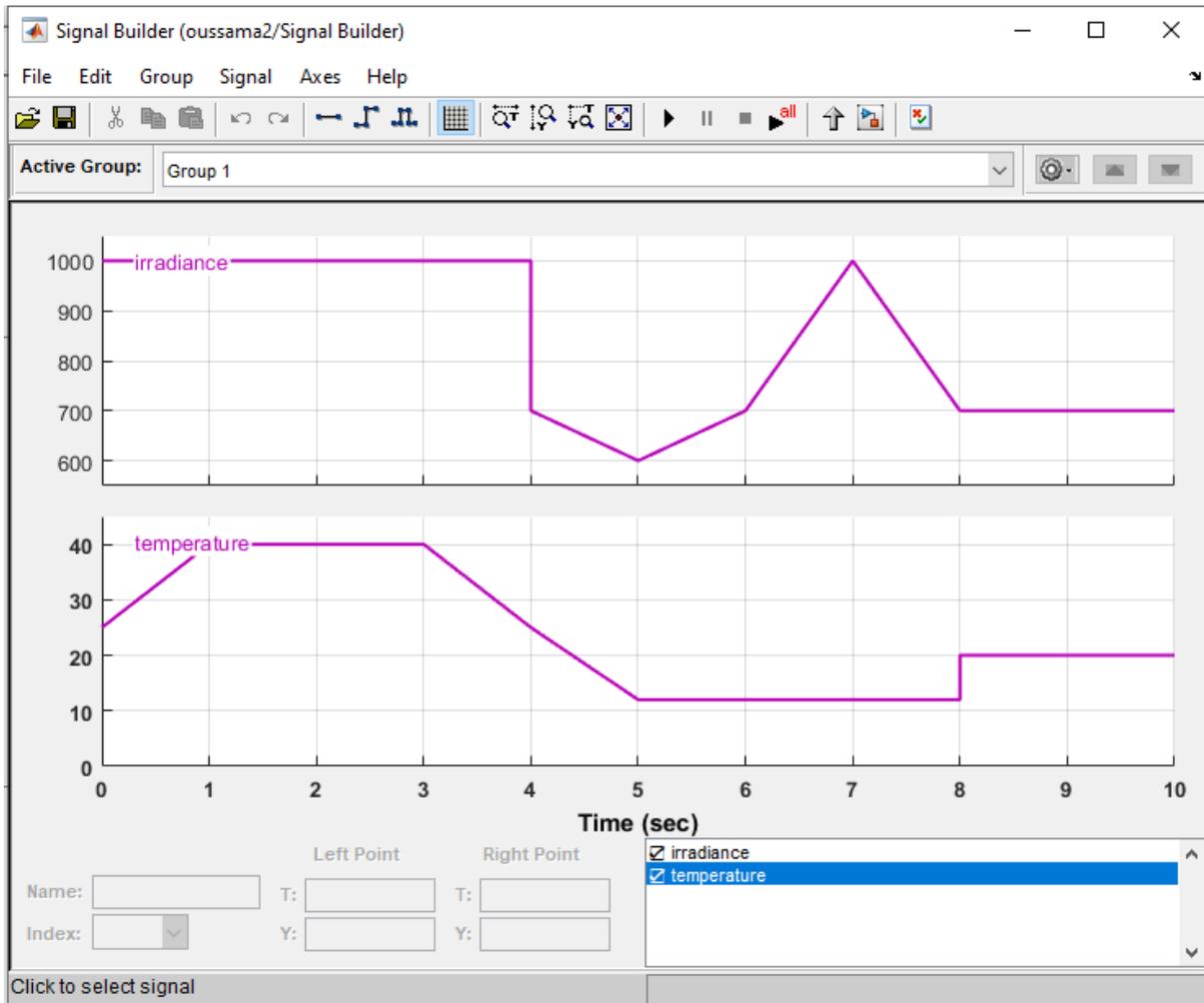


Figure 3.9 Le bloc du « signal builder »

Au début de la simulation, on fixe la valeur des deux variables aux conditions standard.

1S-3S : une augmentation de température externe à 35°.en gardant l’irradiation a 1000 SI.

4S-5S : réduction de température et d’irradiation.

5S-7S : récupération d’irradiation

8S : récupération de température et d’irradiation.

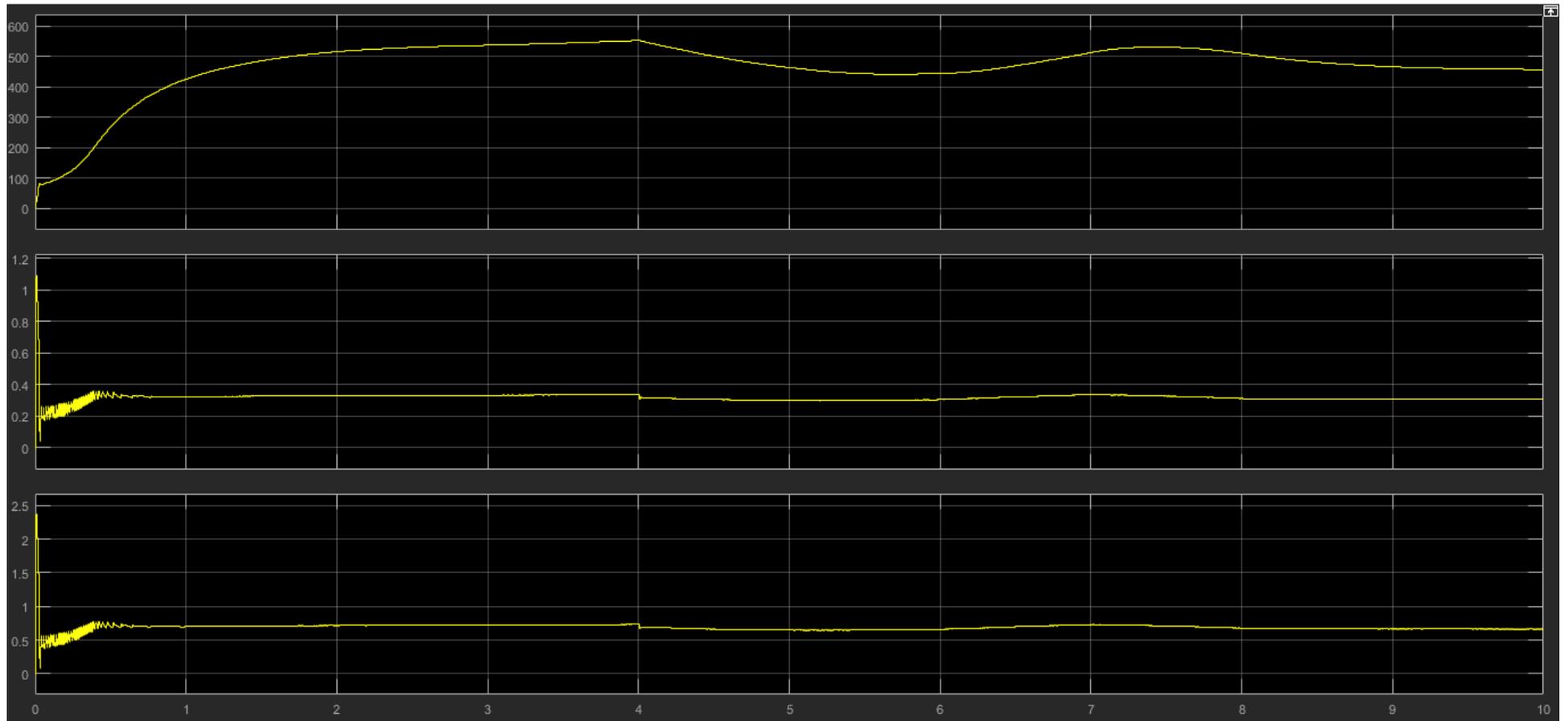


Figure 3.10 résultats de la simulation cas numéro 2

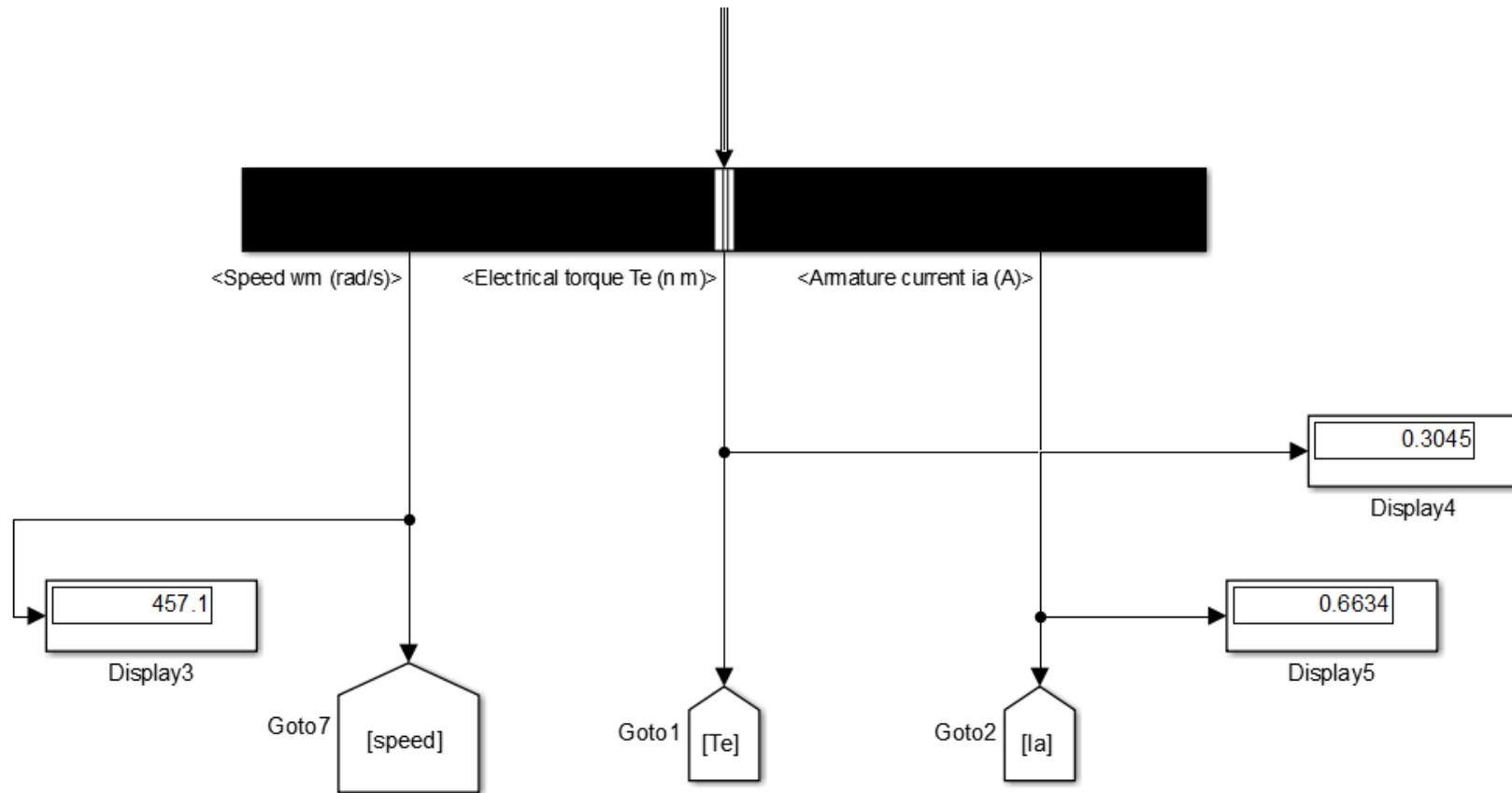


Figure 3.11 Valeur finale de la simulation (performance variant)

Interprétation des résultats :

L'augmentation de température n'as pas une grande influence sur le rendement du système, la vitesse de rotation du moteur continue a augmenté légèrement jusqu'à atteindre son vitesse maximale.

Par contre la réduction de la température et l'irradiation dans le cas d'un climat nuageux par exemple une réduction de vitesse de rotation du moteur brutale est remarqué ce qui influe le rendement du système d'une façon remarquable.

D'après ces résultats et malgré le bon fonctionnement du moteur une réduction d'un des deux facteurs. Causera un grand problème pour le voyageur et surtout dans une grande période du temps.

Une réduction du courant d'induit brutale du moteur confirme que le rendement du système et vraiment perturbé au cours du temps. Ce qui n'est pas acceptable pour une voiture a utilisation urbain.

Ces effets vont éventuellement influencer le bon fonctionnement de la voiture.

Une note très important dans ce cas, on a considéré qu'il y a un seul voyageur dans la voiture qui est le chauffeur.

Le poids de la voiture aura une grande influence sur le résultat du rendement de la voiture. Ce qu'on va voir dans le scénario suivant.

- **Scénario 3 :**

Dans ce scénario **nous avons** considéré que les variables extérieures sont aux conditions standards
En variant le couple résistant $Tr=1$ Nm.

Considérant que la voiture contient maintenant 5 voyageurs. On verra l'influence du poids sur le rendement finale du système.

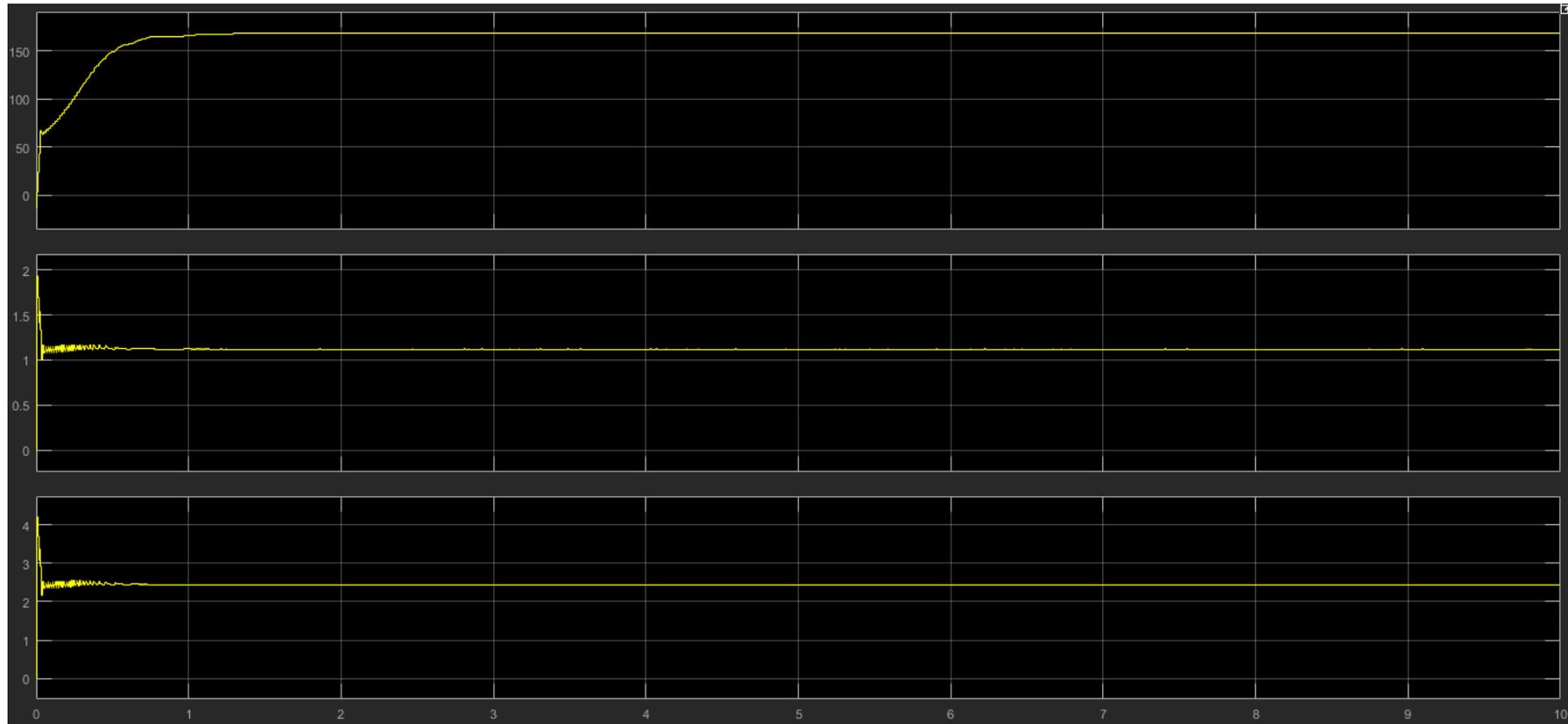


Figure 3.12 Résultats de la simulation cas numéro 3

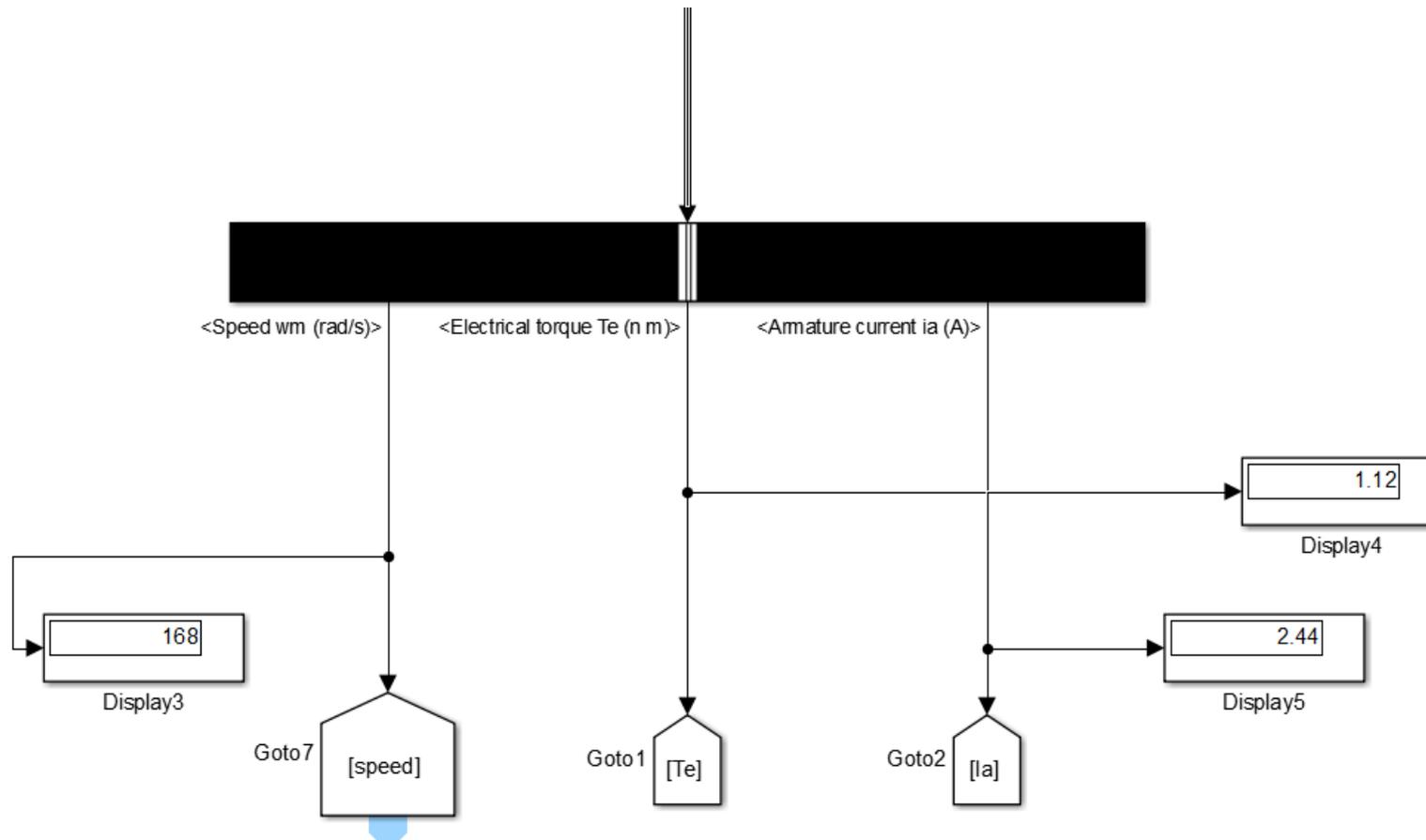


Figure 3.13 Valeur finale de la simulation (poids variant)

Interprétation des résultats :

A la fin de la simulation dans ce scénario nous avons remarqué une **réduction** très importante **du** rendement de **la** voiture. La voiture dans ce cas est presque non fonctionnelle. Et tout cela on considérant que cette voiture est remplie de 5 voyageurs, ce qui **est** normale comme condition urbain.

Cette simulation nous a confirmé que l'utilisation **du** panneau solaire n'est plus une solution pour l'utilisation urbaine des voitures.

Une note très important dans tous les scénarios précédant, **nous n'avons** pas utilisé une batterie pour voir l'influence **des** panneaux solaires dans notre système.

En plus, puissance **du** moteur réel est plus importante que la puissance générer par les panneaux.

4. Conclusion:

La puissance dépend des conditions environnementales telles que l'augmentation de l'éclairément et la diminution de la température. La puissance est maximale lorsque la température **est** minimale et l'éclairément **est maximal**.

Pour un dimensionnement équilibré d'une voiture qui utilise les panneaux solaires comme source d'énergie on aura besoin d'un grand nombre de panneaux, ce qui est impossible pratiquement.

L'utilisation des batteries dans ce cas est pratique si on change l'idée générale. Les panneaux **peuvent êtres** utiliser comme source d'énergie aux stations fixes. Ce qui est le cas d'un véhicule électrique.

5. Conclusion générale :

Dans ce mémoire nous avons conclu que l'utilisation des panneaux solaire dans un véhicule n'est pas pratique.

Cette topologie est utilisé dans le cas d'un seul voyageur seulement, en effet ce problème à forcer les entreprises de changé la topologie vers une voiture hybride électrique –thermique.

Malheureusement les résultats obtenue **ont** montré que malgré tout essai d'arrête d'émission totale du CO₂. Le résultat n'est pas satisfaisant.

L'utilisation des panneaux solaires est pratiquement utile dans le cas d'une station d'énergie électrique.

Notre simulation était une démonstration à petite échelle du dimensionnement réel du moteur électrique utilisé maintenant dans les voitures courantes, vu la grande différence de la puissance des moteurs.

L'obligation de dimensionné ce moteur pour être compatible avec l'énergie délivré par les panneaux nous a limité, vu que les dimensions **du** panneau reste un problème majeur dans cette topologie.

Par contre, l'utilisation des panneaux dans les voitures hybride est liée à l'alimentation des petits dispositifs seulement.

L'ensemble des travaux de la littérature qui discute cette topologie mènent aux mêmes résultats obtenus par notre expérience, malgré que ces ressources sont très limité dans ce domaine.

Bibliographies

- [1] CHAN (C. C.). – “The state of the art of electric and hybrid vehicles”. – Proc. of the IEEE. – February 2002, vol. 90, no. 2, p. 247 – 275.
- [2] JOSHI (R. P.), DESHMUKH (A. P.). – “Hybrid electric vehicles: the next generation automobile revolution”. – 2006 IEEE Conference on Electric & Hybrid Vehicles (ICEHV). – December 2006.
- [3] DEGOBERT (P.). – Pollution atmosphérique : Réduction des émissions dues au moteur. – Techniques de l’Ingénieur. – mai 1994, vol. BL1, n° B2710, p. 1-16.
- [4] Les Dossiers du CCFA. – « Gaz carbonique et effet de serre. L’automobile citoyenne ». – référence de mai 2007. – disponible sur Internet .
- [5] DEGOBERT (P.). – Automobile et pollution. – Paris (France) : Technip, 1992. – Deuxième partie, Caractérisation de la pollution. – 544 p., ISBN : 2710806282.
- [6] Energy Information Administration (EIA). – “International energy annual 2004”. – U.S. department of energy, Washington, released: June 2006. – reference of May 2007. – available from internet .
- [7] Les Dossiers du CCFA. – « Des progrès pour l’environnement. L’automobile citoyenne ». – référence de mai 2007. – disponible sur Internet .
- [8] DUPRAZ (P.). – Modélisation et commande avancées d’un moteur diesel à injection directe. – Thèse de doctorat en Automatique : Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG, France). – décembre 1998, 117 p.
- [9] BENSÂÏD (B.), GRUSON (J. F.). – « Moteurs/carburants : quelles évolutions sur le long terme ». – Colloque International Panorama 2004 : Combustibles fossiles, enjeux techniques et pratiques à l’horizon 2030-2050. – Paris et Lyon (France), janvier/février 2004. – référence de mai 2007. – disponible sur Internet .
- [10] WOUK (V.). – “Hybrid electric vehicles”. – Scientific American Magazine. – October 1997, p. 70-74.
- [11] SMOKERS (R. T. M.), DIJKHUIZEN (A. J. J.), WINKEL (R. G.). – “Worldwide developments and activities in the field of hybrid road-vehicle technology”. – IEA Implementing Agreement for Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes, Annex VII: Hybrid Vehicles, Overview Report, 2000. – reference of May 2007. – available from internet .
- [12] SCORDIA (J.). – Approche systématique de l’optimisation du dimensionnement et de l’élaboration de lois de gestion d’énergie de véhicules hybrides. – Thèse de doctorat en Génie Électrique : Université Henri Poincaré (France). – novembre 2004, 232 p.
- [13] SMOKERS (R. T. M.), DIJKHUIZEN (A. J. J.), WINKEL (R. G.). – “Worldwide developments and activities in the field of hybrid road-vehicle technology”. – IEA Implementing Agreement for

Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes, Annex VII: Hybrid Vehicles, Overview Report, 2000. – reference of May 2007. – available from internet .

[14] Panorama énergies-climat. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015 ed. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Panorama_energie_climat_2015_complet_mis_a_jour_le_26_aout_2015.

[15] Chiffres clés du climat : France et Monde. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015 ed. http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/leadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Reperes/2015/reperes-chiffres-cles-climat-ed-2016.pdf.

[16] Climat, Air et Énergie. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 2015 ed. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe-climat-energie-web.pdf>.

[17] R. Boughriet, Éclairage public : quelles solutions pour réduire la facture énergétique et la pollution lumineuse ?, Sep 2009. http://www.actu-environnement.com/ae/news/etde_solutions_eclairage_public_pollution_lumineuse_energie_8182.php4 [Consulté : 2016-11-13].

[18] J. Craven, E. Derevyanko, M. Gstrein, and B. Teufel, science of taxation on supply and demand in tomorrow's crowd energy paradigm, *Journal of Electronic Science and Technology*, vol. 3, p. 007, 2015.

[19] Alternative Fuels Data Center : U.S. HEV Sales by Model and U.S. Plug-in Electric Vehicle Sales by Model - U.S. Department of energy, Jan 2016. <http://www.afdc.energy.gov/data/> [Consulté : 2017-02-26].

[20] D. Block, J. Harrison, P. Brooker, F. Center, and M. D. Dunn, *Electric vehicle sales for 2014 and future projections*, Florida Solar Energy Center, 2015.

[21] O. Daniélo, Better Place va-t-elle ressusciter ? | *Techniques de l'ingénieur*, Jun 2013. <http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/better-place-va-t-elle-ressusciter-10225/> [Consulté : 2016-11-12].

[22] F. Roy, *Energetic optimization of hybrid electric powertrains*. Theses, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, June 2015.

[23] N. Sammes, *Fuel cell technology : reaching towards commercialization*. Springer Science & Business Media, 2006.

[24] F. Odeim, J. Roes, L. Wulbeck, and A. Heinzl, Power management optimization of fuel cell/battery hybrid vehicles with experimental validation, *Journal of Power Sources*, vol. 252, no. 0, pp. 333 --343, 2014.

[25] J. Alves, P. Baptista, G. Goncalves, and G. Duarte, Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles : Application to battery electric vehicles, *Energy Conversion and Management*, vol. 124, pp. 116--129, 2016.

- [26] P. Haessig, Sizing and control of an energy storage system to mitigate wind power uncertainty. Theses, École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, July 2014.
- [27] C.-C. Lin, H. Peng, J. Grizzle, and J.-M. Kang, Power management strategy for a parallel hybrid electric truck, Control Systems Technology, IEEE Transactions on, vol. 11, pp. 839--849, Nov 2003.
- [28] B. Sampathnarayanan, Analysis and design of stable and optimal energy management strategies for hybrid electric vehicles. PhD thesis, The Ohio State University, 2013.
- [29] G. Colin, Y. Chamaillard, A. Charlet, and D. Nelson-Gruel, Towards a friendly energy management strategy for hybrid electric vehicles with respect to pollution, battery and drivability, Energies, vol. 7, no. 9, pp. 6013–6030, 2014.
- [30] mon-panneau-solaire; <https://mon-panneau-solaire.info/actus/voiture-hybride-solaire/>
- [31] J.Royer, T.Djiako, E.Schiller et B.Sadasy«Le pompage photovoltaïque: manuel decours à l'intention desingénieurset des techniciens»sous la direction de ARIC SCHILLER,université d'OTTAWA,1998.
- [32] A. B.Learreta, «Réalisation de techniques MPPT numériques » rapport de stage projet defin d'études ingénieur techniques industrielles,2006.
- [33] R.Maouedj«Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur lessites de Tlemcen et de Bouzareah» mémoire de magister université abou bekr Belkaid,Tlemcen, Algérie,2005.
- [34] <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/caracteristiques-des-panneaux-photovoltaiques/performance-des-modules-photovoltaiques/#vieillissement-et-defauts-des-modules>

Résumé

Ce travail s'articule autour L'épuisement, le coût accru et la localisation des combustibles fossiles, d'une part, et les problèmes environnementaux causés par les émissions de CO2 dans l'atmosphère, d'autre part, obligent de nombreux constructeurs automobiles à développer des programmes de recherche importants dans la conception de véhicules électriques et hybrides électriques

Plus spécifiquement, cette mémoire a porté sur la conception des sources d'énergie, la modélisation énergétique et le véhicule fonctionnel et enfin la mise en œuvre et la caractérisation expérimentale du véhicule.

Dans cette mémoire le travail présenté sera basé totalement sur les données théoriques collecté, ces données sont très limitées à cause de manque des ressources sur ce domaine.

Abstract

This work focuses on the depletion, increased cost and location of fossil fuels, on the one hand, and the environmental problems caused by CO2 emissions into the atmosphere, on the other hand, are forcing many automakers to develop major research programs in the design of electric and hybrid electric vehicles.

More specifically, this thesis focused on the design of energy sources, energy modeling and the functional vehicle and finally the implementation and experimental characterization of the vehicle.

In this paper the work presented will be based entirely on the theoretical data collected, these data are very limited due to lack of resources in this domain.

ملخص

يركز هذا العمل على المشاكل البيئية التي تسببها انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، من ناحية أخرى ، تجبر العديد من صانعي السيارات على تطوير برامج بحث رئيسية في تصميم السيارات الكهربائية والهجينة وبشكل أكثر تحديدًا ، ركزت هذه الأطروحة على تصميم مصادر الطاقة ونمذجة الطاقة والمركبة الوظيفية وأخيرًا التنفيذ والتوصيف التجريبي للسيارة الهجينة. هذا العمل هو عبارة عن دراسة مبنية على معطيات نظرية. تم جمعها. هذه المعطيات كانت قليلة جدا في ظل الظروف الراهنة.

