

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 d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : LAZREG MOHAMED OUSSAMA

Thème

**ETUDE D'UN VEHICULE HYBRIDE
PHOTOVOLTAÏQUE _BIODIESEL.**

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

Mme. BENDIMERED Naouel	Maître assistante A	ESSA. Tlemcen	Présidente
Mme. FARADJI Djamila 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

Introduction générale.....	01
Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes électriques hybrides	
1.1 Introduction	03
1.2 Classification	04
1.2.1. Le régime du fonctionnement	04
1.2.2. La structure du système hybride.....	04
1.3 Véhicule hybride	05
1.3.1 Définition générale du véhicule hybride et type d'hybridation.....	05
1.4 Éléments constituant un véhicule hybride	09
1.4.1 Les différentes architectures de la chaîne de traction des véhicules hybrides.....	11
1.5 Synthèse sur les architectures des véhicules hybrides.....	15
1.6 Principaux modes de fonctionnement	15
1.6.1 Le mode thermique.....	15
1.6.2 Le mode électrique pur ou tout électrique.....	15
1.6.3 Le mode hybride.....	15
1.7 Conclusion	16
Chapitre 2 : Dimensionnement et gestion d'énergie de la voiture hybride	
2.1 Introduction	18
2.2 Batterie	18
2.2.1 Définition.....	18
2.2.3 Fonctionnement	19
2.2.4 Caractéristiques des batteries.....	19
2.2.5 Les différents types de batteries.....	21
2.3 Principaux modes de fonctionnement.....	27
2.3.1 Le mode thermique.....	31
2.3.2 Le mode électrique pur ou tout électrique	46
2.3.3 Le mode hybride	53
2.4- refroidissement	54
2.4.1 Fonction du circuit de refroidissement	54
2.4.2 Les différents circuits de refroidissement	55
2.5 Rendement de moteur	57
2.6 Généralité sur les system photovoltaïque	59
2.6.1 Introduction	59
2.6.2 Synthèse des architectures de systèmes photovoltaïques	59

2.6.3 Méthode de dimensionnement des panneaux ..	59
2.7 Conclusion ..	61
Chapitre 3 simulations et interprétation des résultats	
3.1 Introduction ..	64
3.2 outil de simulation (MATLAB/ SIMULINK) ..	64
3.2.1 Introduction à MATLAB	64
3.2.2 Introduction à SIMULINK ..	64
3.3 Mise en place les modules dans SIMULINK ..	65
3.4 Scenarios ..	72
3.5 Résultats et simulation ..	75
3.6 Conclusion ..	105
Conclusion général.....	107

Liste des figures et tableaux :

Figure 1.1 : Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien	3
Figure 1.2 : Classification des systèmes hybrides	5
Figure 1.3 : Schéma de principe d'une voiture hybride	10
Figure 1.4.1 : Circuit du système hybride série	11
Figure 1.4.2: Circuit du système hybride série	12
Figure 1.5.1 : Circuit du système hybride parallèle	13
Figure 1.5.2 : Circuit du système hybride parallèle	13
Figure 1.6.1 : Circuit du système hybride série/parallèle	14
Tableau 1.1: Comparaison des trois architectures des véhicules hybrides.	15
Figure 2.1 : Les différents types des batteries	18
Figure 2.2 Principe d'un accumulateur électrochimique.	19
Figure 2.3 Capacité de la batterie	20
Figure 2.4 Fonctionnement de système électrochimique de la batterie plomb acide	22
Figure 2.5 Composition des batteries plomb ouvertes	23
Figure 2.6 Composition des batteries plomb fermées	24
Figure 2.7 Exemple de batteries Nickel Cadmium « SAFT » monobloc 6 V 100 Ah	25
Figure 2.8 Batteries Li-ions	26
Figure 2.9 Principe de fonctionnement d'un accumulateur Li-ions	27
Figure 2.10 : Composants clés d'une voiture électrique hybride	28
Figure 2.11 : Composants d'une voiture électrique hybride	29
Figure 2.12 : Composants clés d'une voiture électrique hybride Figure 2.13 Composants clés d'une voiture électrique hybride.	29
Figure 2.14 Composants clés d'une voiture électrique hybride.	30

Figure 2.15 Décomposition des 4 temps.	32
Tableau 2.1 Tableau d'explication de mode thermique pur	32
Figure 2.16 La Mancelle à vapeur de 1878	35
Figure 2.17 Schéma de principe d'un vérin simple effet	35
Figure 2.18 Schéma de principe d'un vérin double effet	36
Figure 2.19 Fonctionnement d'un moteur 2 temps	41
Figure 2.20 Coupe et légendes d'un cylindre de moteur à explosion 4 temps	42
Figure 2.21 : Le principe des 4 temps du moteur à explosion	44
Tableau 2.1 Tableau d'explication de mode électrique pur	46
Figure 2.22 Schéma explicatif des mécanismes de moteur électrique.	48
Figure 2.23 Vue éclatée d'un servomoteur AXEM série F	49
Figure 2.24 Les parties constituant le moteur Asynchrones	50
Figure 2.25 Les parties constituant le moteur synchrones	52
Tableau 2.2 Tableau d'explication de mode hybride	54
Figure 2.26 Le refroidissement par eau	55
Figure 2.27 Le refroidissement Par thermosiphon accéléré par pompe	56
Figure 2.28 Le radiateur de refroidissement	57
Tableau 4.1 Tableau comparatif des pertes d'énergie (Sans prise en compte du rendement moteur)	58
Figure 3.1 Circuit du système hybride série	66
Figure 3.2 Circuit du système hybride série	66
Figure 3.3 Schéma de simulation du moteur thermique	67
Figure 3.4 Schéma de simulation du véhicule	68
Figure 3.5 Schéma de simulation du moteur thermique	69

Figure 3.6 Schéma de simulation du moteur électrique	70
Figure 3.7 Schéma de simulation de la génératrice	71
Figure 3.8 Schéma de simulation interne de véhicule (partie mécanique)	71
Figure 3.9 les trois cas d'étude	72
Figure 3.10 Schéma de simulation des variable Cr et RPM0	73
Figure 3.11 Schéma de simulation de variateur d'accélération	74
Figure 3.9 graphe de puissance de voiture hybride scénario	76
Figure 3.10 Graphe des pertes totale scénario 1	78
Figure 3.11 Graphe de vitesse du véhicule scénario 1	79
Figure 3.13 Graphe des pertes totales scénario 1 (phase 1)	80
Figure 3.14 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 1)	81
Figure 3.15 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 2)	83
Figure 3.16 Graphe des pertes totales scénario 1 (phase 2)	84
Figure 3.17 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 2)	85
Figure 3.18 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 3) 87	87
Figure 3.16 Graphe des pertes totales scénario 1 (phase 3) Figure 3.20 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 3)	88
Figure 3.21 graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 4)	91
Figure 3.21 graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 4)	92
Figure 3.23 graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 4)	93
Figure 3.24 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 2	96
Figure 3.25 Graphe de la vitesse de véhicule scénario 2	97
Figure 3.26 Graphe des pertes totales scénario 2	98

Figure 3.27 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 3	101
Figure 3.28 Graphe de la vitesse de véhicule scénario 3	102
Figure 3.29 Graphe des pertes totales scénario 3	103

Remerciements

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

Nos sincères remerciements **Vont** à madame KHERBOUCHE Djamila **MAITRE DE CONFERENCES à ESSA Tlemcen**, l'encadrante de ce projet, qui a bien voulu nous **dirigé**. 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 leur exprimer ma gratitude avec exactitude. Leur présence à mes côtés a toujours été une source **de soutien** pour faire face à des obstacles divers. 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

L'énergie est le **facteur** le plus important de **la** production dans toutes les économies. Elle joue un rôle essentiel pour les ménages en assurant la cuisson des aliments, ainsi que le chauffage et le refroidissement. En outre, elle offre un éventail de services qui facilitent la vie des personnes et les libèrent de certaines tâches pénibles et répétitives. Au niveau macroéconomique, les analystes ont évoqué le découplage de la croissance économique et de la consommation énergétique en raison des préoccupations environnementales liées à la consommation d'énergie et à l'adéquation des ressources énergétiques. Si la notion de « découplage » de la consommation énergétique et de la croissance économique a vu le jour, c'est uniquement à cause du lien étroit (ou du moins perçu comme tel) entre ces deux aspects. Du point de vue de la production, on pense souvent que les différents secteurs présentent des rendements d'échelle constants, un doublement de la productivité entraînant un doublement de tous les intrants. À l'échelon macroéconomique, ce raisonnement mène à la conclusion que tous les secteurs se développent au même rythme que l'économie générale et que le secteur de l'énergie devrait donc se comporter de la même manière. Cette théorie va à l'encontre de ce que l'on observe dans la plus grande partie du monde, en particulier dans les pays développés, où la consommation énergétique par unité de PIB affiche une baisse constante d'au moins 1 % par an. De plus, le coût réel de l'énergie baisse depuis des décennies, voire un siècle. La substitution induite par les prix ne peut donc pas expliquer le ralentissement de la croissance de ce marché au contraire, s'il s'agissait du principal facteur d'influence sur notre consommation, on pourrait s'attendre à ce que le secteur de l'énergie se développe plus rapidement que l'économie dans son ensemble. [1]

La croissance des transports est fortement liée au développement économique de nos sociétés, aujourd'hui aussi bien que par le passé. En effet, les progrès techniques réalisés dans le domaine des transports ont permis aux personnes et aux entreprises de se déplacer et d'acheminer des marchandises toujours plus loin et plus rapidement, accroissant ainsi leur rayon d'action et leur influence. Si le secteur a connu de nombreuses et profondes évolutions, une véritable révolution a eu lieu au XXème siècle avec la généralisation du moteur à explosion, utilisant des combustibles fossiles relativement disponibles et simples à l'usage. [2]

Ainsi, malgré la baisse, certes modérée, des émissions dans les pays de l'OCDE, pays émettant le plus de gaz à effet de serre en lien avec les transports, la contribution du secteur aux émissions mondiales de GES1 a augmenté de 18 % sur la période 2000-2010, pour atteindre 7 GtCO₂eq en 2010. Un grand nombre de mesures ambitieuses ont d'ailleurs été prises depuis plus de 10 ans pour réduire les émissions de l'ensemble des transports. [2]

En contrepartie, l'hybridation électrique du véhicule implique aujourd'hui un surcoût important qui devra être rentabilisé par le conducteur grâce à la réduction de la consommation et à plus long terme par le bénéfice de fonctionnalités supplémentaires. Ce surcoût sera d'autant plus impactant que le degré d'électrification du véhicule et les fonctionnalités apportées par l'hybridation seront importants. [3]

Ce travail est composé de trois parties. L'objectif de la première partie est **de présenter des définitions des différentes** caractéristiques du système électrique hybride. Une définition

générale du véhicule hybride sera d'abord donnée et sera accompagnée d'une brève description des différents types d'hybridation. Ce chapitre est finalisé par une explication du choix des architectures et des fonctionnalités des véhicules hybrides que nous étudierons dans cette mémoire.

La deuxième partie aborde les principaux composants du groupe motopropulseur du véhicule électrique hybride. L'objectif ici est de produire un état de l'art des technologies utilisées aujourd'hui dans l'électrification du véhicule pour chacun des composants du groupe motopropulseur (moteur thermique, batterie, machine électrique, électronique de puissance, transmission). Sur la base de divers critères tels que le coût, la maturité de la technologie, son adéquation avec l'architecture du véhicule, une technologie sera alors sélectionnée pour chaque composant afin d'être utilisée dans la mémoire ultérieure.

La troisième partie traite la simulation d'un véhicule hybride est une modélisation de système **en** utilisant différents sous-systèmes (ou modèles de composants) et dans laquelle chaque composant peut avoir un degré de modélisation différent en fonction des phénomènes physiques à prendre en compte. Dans ce chapitre, nous présenterons tout d'abord l'outil de simulation de système choisi pour modéliser l'architecture des véhicules et l'interaction entre les composants.

Dans ce même chapitre on parlera de la caractérisation expérimentale du véhicule hybride. Les différentes opérations thermiques, électriques et hybrides sont testées lors de la simulation avec logiciel MATLAB.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les systèmes électriques hybrides

CHAPITRE 1 : Généralités sur les systèmes électriques hybrides

1.1 Introduction

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit (Fig.1.1).



Figure 1.1 : Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.

A : Panneau Photovoltaïque

A : Parafoudre B : Éolienne m : Moniteur de batterie R : Chargeur de batterie

S : Sectionneur

1 : Disjoncteur de protection

2 : Régulateur charge/décharge

3 : Disjoncteur CC

4 : Batterie

5 : Onduleur

6 : Coffret de branchement électrique

7 : Charge électrique.

1.2 Classification :

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Dans la suite sont présentées les classifications les plus répandues. [4]

1.2.1. Le régime du fonctionnement

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi connectés réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc. [4]

1.2.2. La structure du système hybride

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système. Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière. Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc ... [4]

La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc. Une généralisation de la classification présentée est illustrée sur la Figure 1.2. [4]

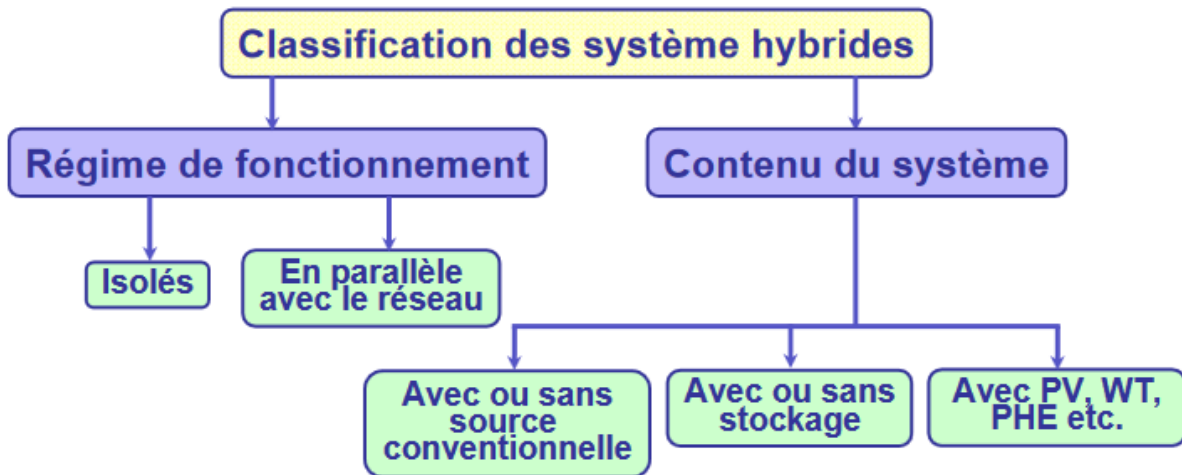


Figure 1.2 : Classification des systèmes hybrides

1.3 Véhicule hybride :

1.3.1 Définition générale du véhicule hybride et type d'hybridation

Un véhicule hybride est un véhicule qui utilise au moins deux sources d'énergie différentes pour se déplacer. En principe, une voiture hybride est une voiture qui utilise du combustible et de l'électricité pour se déplacer au moyen de deux moteurs : l'un thermique, l'autre électrique. [5]

D'un certain point de vue, les voitures à hydrogène peuvent être considérées comme des véhicules hybrides. Elles utilisent l'hydrogène de leur pile à combustible comme source d'énergie chimique pour alimenter une batterie et un moteur électrique. [5]

Différentes formes d'hybridation peuvent ainsi être différenciées selon la nature de la seconde source d'énergie venant assister le vecteur carburant, des VE et des VEH disponibles sur le marché actuel, ainsi que des différentes architectures de VEH et de leurs avantages et inconvénients respectifs. Le terme "prolongateur d'autonomie" est expliqué et des études de faisabilité de différents prolongateurs d'autonomie ont été réalisées afin de trouver un prolongateur d'autonomie approprié pour transformer un véhicule électrique existant en un véhicule électrique à autonomie prolongée. [5]

On distingue plusieurs degrés d'hybridation en fonction de l'importance du système électrique dans la locomotion du véhicule.

Du plus faible degré d'hybridation au plus important, on parle de :

1.3.1.1 Microhybride Start et Stop :

Définition et Principe du fonctionnement :

Le système Stop & Start représente le plus faible degré d'hybridation d'un véhicule. On parle alors de micro hybride. Il combine en effet le moteur thermique conventionnel avec un alterno-démarrreur électrique piloté par de l'électronique embarquée. [5]

Lors d'un arrêt à un feu tricolore ou dans un embouteillage, le système vérifie si les conditions propices à un arrêt du moteur et à son redémarrage électrique sont rassemblées :

Moteur au ralenti (vitesse inférieure à 6 km/h) ;

Roues à l'arrêt ;

Batterie suffisamment chargée ;

Absence de services annexes en fonctionnement (chauffage, climatisation, dégivrage...). [5]

Dans ce cas, l'alterno-démarrreur arrête le moteur. Celui-ci cesse alors de consommer du carburant, de polluer et de faire du bruit.

Lorsque l'automobiliste souhaite avancer de nouveau, il presse la pédale d'embrayage. Le système déclenche alors l'alterno-démarrreur qui démarre électriquement le moteur thermique en réduisant fortement sa consommation, ses émissions polluantes et le bruit engendré.

- Les avantages du Stop & Start pour l'environnement

En milieu urbain où les arrêts courts sont fréquents (feu rouge, embouteillage, camion de livraison...), le système Start & Stop peut produire des résultats significatifs. Selon les constructeurs automobiles, les gains peuvent atteindre 5 à 15 % de réduction de consommation et d'émissions de CO₂ en cycle urbain normalisé. [5]

1.3.1.2 Semi-hybrides:

Définition et Principe du fonctionnement

Les machines semi-hybrides sont des variantes basées sur le principe Start & Stop, qui utilisent aussi l'électricité pour faire fonctionner d'autres systèmes. Les dispositifs d'éclairage et de bord, entre autres, profitent ainsi de l'électricité stockée dans la pile du véhicule, qui est elle-même rechargée par le moteur thermique et les phases de freinage. [5]

Le système semi-hybride se différencie d'un simple Start & Stop par l'assistance du moteur thermique par un moteur électrique. Celui-ci fournit une puissance additionnelle pendant les phases de démarrage, d'accélération et de rétablissement.

Les véhicules équipés de systèmes semi-hybrides "48 volts" sont de plus en plus appréciés par les consommateurs en raison de leur prix plus attractif que celui des véhicules électriques. Proposant les avantages d'un moteur à combustion interne, d'une certaine autonomie et d'une propulsion électrique à la fois, ils représentent le premier pas vers l'électrification des automobiles.

Les véhicules équipés de systèmes semi-hybrides ont un degré d'hybridation qui va au-delà du simple système d'arrêt-démarrage, mais ils ne peuvent cependant pas être exploités en mode totalement électrique. La batterie est rechargée via l'alternateur couplé au moteur thermique et le moteur électrique opère de la même manière qu'un générateur lors du freinage générateur.

Le moteur électrique permet de démarrer le véhicule, mais aussi d'assister le moteur thermique lorsque ce dernier a besoin d'un gain de puissance lors de l'accélération ou de la reprise.

L'énergie produite et accumulée par le moteur hybride permet également de faire fonctionner plusieurs systèmes (éclairage, appareils de bord, etc.). [6]

1.3.1.3 Full hybride :

Les voitures hybrides intégrales sont les plus célèbres, avec la Toyota Prius comme symbole. Ces véhicules sont équipés de deux moteurs mixtes, thermiques et électriques. L'électricité est générée par le moteur thermique, mais aussi par le freinage par récupération : lorsque le véhicule freine, les roues entraînent le moteur électrique qui fonctionne comme un générateur. L'énergie obtenue est stockée dans une batterie. [7]

1.3.1.4 Hybride rechargeable :

Les hybrides rechargeables sont une version du modèle hybride complet. Leur particularité est de permettre de recharger la batterie du véhicule à l'arrêt à l'aide d'une source d'énergie. Ce type de voiture est donc capable de fonctionner en mode tout électrique indépendamment du moteur thermique, au moins sur de petites distances.

1.3.1.5 Les avantages :

Le grand avantage des voitures hybrides réside dans leur consommation, qui est beaucoup plus économique que celle des véhicules équipés d'un moteur à essence ou diesel. À basse vitesse, une voiture hybride ne consomme que de l'électricité. À plus grande vitesse, elle consomme également de l'essence. Lorsque vous roulez à l'essence, le moteur électrique se recharge, ce qui vous permet de réduire les émissions de CO₂ et la consommation de carburant.

- Pas besoin de recharger la batterie Contrairement à la croyance populaire, un véhicule hybride n'a pas besoin d'être branché sur une prise de courant pour recharger sa batterie. Ainsi, elle ne bouleverse pas les habitudes du conducteur puisque tout est identique à une voiture classique à essence ou diesel. La batterie est autonome, elle gère automatiquement les phases d'assistance au moteur et de régénération d'énergie.
 - Respect des vignettes Certificat qualité de l'air Avec un véhicule hybride, vous n'avez pas à vous soucier des autocollants Crit'Air. Ces derniers bénéficient de la meilleure catégorie, c'est-à-dire que vous pouvez rouler partout .même pendant les pics de pollution.
- _Véhicule hybride : une faible consommation de carburant Grâce à ses deux moteurs, le véhicule hybride consomme moins qu'un véhicule à moteur thermique classique. Cette différence est notoire lors des accélérations où le moteur électrique épaulé le moteur à essence. Vous serez également surtout plus économe en ville, où les arrêts, démarrages, et circulations à faible allure sont omniprésents, car toutes ses phases font uniquement appel

au moteur électrique. Si la grande majorité de vos trajets sont en ville, alors l'hybride vous permettra de nettement moins consommer. [5]

L'hybride est plus écologique Grâce au moteur électrique qui permet une consommation de carburant réduit, conduire un véhicule hybride, c'est donc aussi émettre moins de CO₂. Les systèmes hybrides font de plus en plus parler d'eux, en effet ils se répandent petit à petit sur le marché commercial. Nous trouvons certes de nombreux avantages, mais quelques points restent tout de même à améliorer. Les avantages sont divers. On trouve le point le plus important, qui est l'économie de carburant, ce qui nous mène aux faibles émissions en ce qui concerne la pollution, mais on trouve aussi comme point positif une conduite agréable et performante. On se demande, de nos jours, de combien de réserve de pétrole dispose-t-on ? La seule réponse à donner est qu'il faut gérer la consommation de carburant. Les systèmes hybrides jouent un rôle primordial dans cette perspective. En effet, cette technologie combine intelligemment les moteurs électrique et thermique. [5]

On a alors une consommation de carburant faible. Prenons un exemple : une voiture hybride X aurait la puissance d'un calibre supérieur tout en consommant comme une cylindrée de taille inférieure ! Le conducteur peut aussi gérer sa propre consommation grâce à la combinaison des moteurs (conduite basse vitesse usage du moteur électrique, donc pas de pollution). Les hybrides appartiennent à la catégorie la plus basse des machines polluantes. On a donc affaire à un système propre, qui pourrait résoudre de nombreux problèmes comme la pollution. Les émissions de CO₂ diminuent fortement avec une telle technologie, ainsi que les autres substances contenues dans les gaz d'échappement. La combustion est elle aussi plus efficace et des éléments purifient ces gaz d'échappement. Les systèmes hybrides ont une très bonne autonomie. Les batteries se rechargent lors de l'utilisation du moteur thermique. En effet, lorsque la voiture fonctionne sur moteur à essence, ce dernier produit de l'énergie qui passe ensuite dans la batterie principale par le biais d'un générateur. Le système de freinage veille aussi à la recharge car une partie de l'énergie cinétique est transformée en énergie électrique. La conduite est agréable avec une accélération linéaire et puissante. On assiste aussi à une réduction du bruit, qui en fait des voitures quasi silencieuses. Il ne faut pas non plus oublier la souplesse au démarrage grâce à l'utilisation du moteur électrique. Pour finir, le crédit d'impôt pour l'achat d'un véhicule propre va augmenter, tandis que les propriétaires d'automobiles très polluantes paieront leur carte grise plus cher. Le point majeur des inconvénients, ou plutôt point à améliorer, est le prix d'un véhicule hybride ! Celui-ci reste bien élevé comparé aux automobiles "classiques". Cependant on pourrait assimiler cette dépense à un effort financier qui sera compensé par l'économie en consommation de carburant. L'utilisation de pièces supplémentaires, comme la batterie hybride, en font une voiture plus lourde. Hors ville, le moteur électrique est peu ou pas utilisé. Enfin, le bruit quasi-silencieux, émis par un véhicule hybride, peut s'avérer dangereux pour les piétons qui n'entendraient pas le véhicule arriver. [3]

Véhicule hybride : un confort d'utilisation supérieur !

L'un des avantages du véhicule hybride est son confort d'utilisation. A basse vitesse en ville, ou en décélération, vous bénéficierez d'un silence total dans le véhicule puisque le moteur thermique ne tourne pas. Vous produisez donc moins de nuisance sonore dans votre quartier,

et pouvez profiter d'un grand calme à bord. Sachez aussi que toutes les hybrides du marché n'ont pas de pédale d'embrayage et débarrassent le conducteur du passage de vitesses pour une conduite plus fluide. [3]

1.3.1.5 Les inconvénients :

L'inconvénient numéro un d'une voiture hybride : sa faible autonomie en tout électrique, de quelques kilomètres seulement selon votre utilisation. L'autre inconvénient, c'est aussi son surcoût à l'achat, même si la différence entre thermique traditionnelle et hybride classique tend à se réduire.

Les balbutiements des véhicules hybrides impliquent quelques nuances dans le joli tableau. En effet, il reste encore quelques améliorations indispensables pour en faire un véhicule sans aucune faille. Voici les inconvénients des véhicules hybrides :

- Une autonomie réduite : elle est plutôt recommandée à la conduite en ville. Les longs trajets ne sont pas recommandés avec un moteur électrique. L'autonomie d'une voiture électrique ne va que rarement au-delà des 200 km et parfois moins.
- Recharger son véhicule peut être fastidieux : pour faire fonctionner votre véhicule, il faudra penser à le recharger. Pour cela, il faut trouver des bornes de recharge et elles sont encore rares. C'est particulièrement vrai sur certains territoires ruraux, où il est même compliqué de trouver une borne de rechargement. L'État doit en installer un plus grand nombre, mais cela va encore s'étaler sur une dizaine d'années.
- La surchauffe lors du chargement : c'est le cas si vous décidez de charger votre véhicule sur une prise de votre logement. Il faut impérativement prévoir l'installation d'un système adéquat pour réaliser le chargement.
- Le temps de chargement de la batterie : pour que la batterie atteigne son potentiel maximal, il faut parfois prévoir un délai pouvant atteindre 8 heures.
- La batterie doit souvent être achetée en plus du véhicule : c'est la dernière habitude des fabricants de voitures ! Il faut acheter la batterie en supplément. Il est possible de l'acheter ou de la louer.
- Il faut être plus attentif : lorsque vous conduisez, vous devez être attentif pour les piétons et les cyclistes. En effet, le véhicule hybride étant tellement peu bruyant qu'il peut surprendre. Il faut donc être à l'affût pour être prêt à réagir à certains comportements de surprise. Il faut du temps pour que les différents utilisateurs puissent s'accoutumer à ce véhicule si discret. [3]

1.4 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. [8]

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. [8]

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.

Composants :

1. Moteur à combustion interne (MCI)
2. Embrayage
3. Moteur électrique
4. batterie d'accumulateurs ou de super condensateurs
5. Boîte de vitesse [8]

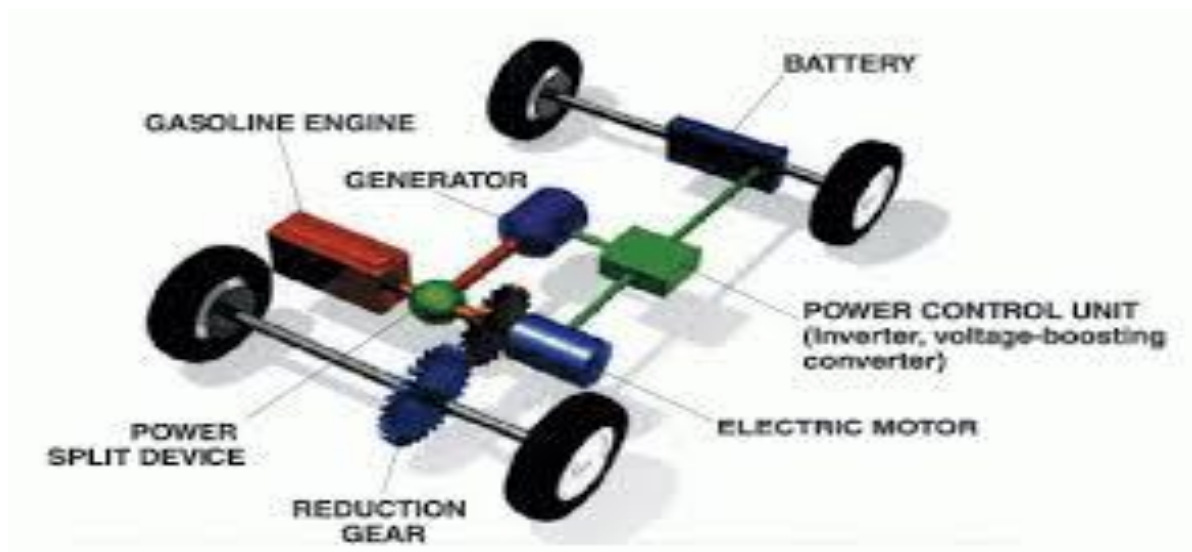


Figure 1.3 : Schéma de principe d'une voiture hybride

1.4.1 Les différentes architectures de la chaîne de traction des véhicules hybrides

Un véhicule hybride, est la combinaison d'une motorisation électrique avec une motorisation thermique, assurant la propulsion du véhicule. Par ce biais, nous pouvons assurer la baisse de pollution en ville ainsi que la puissance et l'endurance du véhicule sur route. [5]

1.4.1.1 Les hybrides à moteurs en série

Le système Hybride série permet au moteur électrique de diriger seul la rotation des roues en utilisant la puissance générée par le moteur thermique. Un Hybride série, est composé d'un moteur électrique, d'un moteur thermique, d'un générateur, d'une batterie et d'un inverseur. Lors des faibles vitesses, le moteur thermique est utilisé par intermittence pour alimenter soit le moteur électrique, soit pour recharger la batterie. Le tout électrique, est utilisé en ville, sur route le moteur thermique assure la recharge de la batterie ainsi que l'alimentation du moteur électrique. Le nom série vient du fait que le moteur thermique, est directement lié en série au moteur électrique. [9]

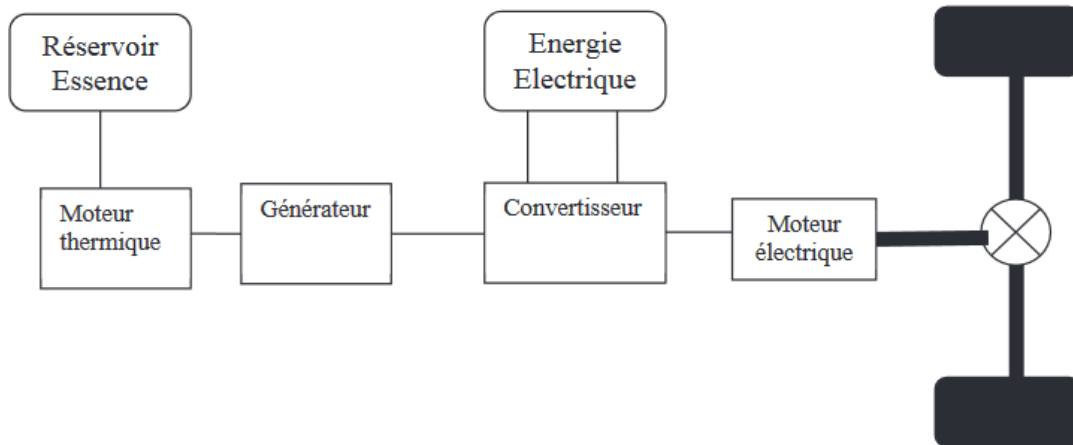


Figure 1.4.1 : Circuit du système hybride série

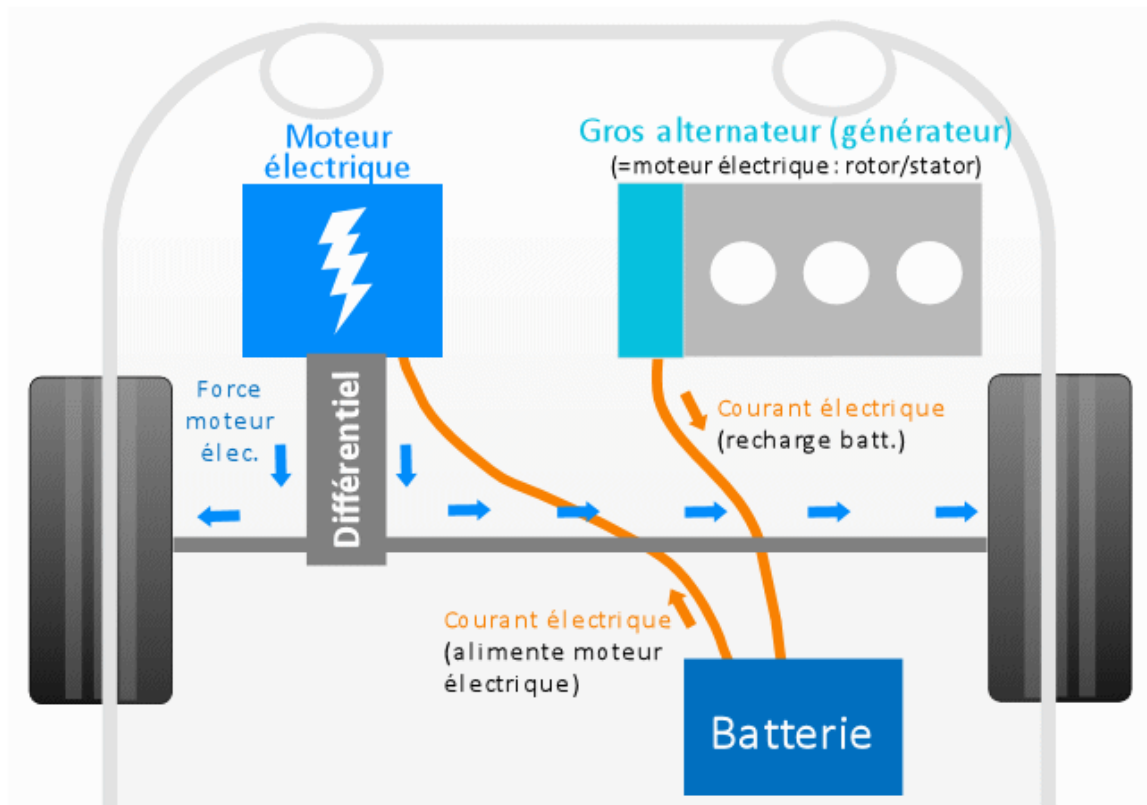


Figure 1.4.2: Circuit du système hybride série

1.4.1.2 Les hybrides à moteurs en parallèle

Ici, les moteurs électrique et thermique assurent tous les deux la rotation des roues, par contre, c'est le moteur électrique qui recharge la batterie. Un hybride parallèle se compose d'un moteur thermique, un moteur électrique, une batterie, un inverseur, et d'une transmission. Le moteur électrique, est alimenté cette fois par la batterie et non par le moteur thermique, il fonctionne également en tant que générateur pour recharger la batterie. L'inconvénient est qu'il ne peut produire de l'électricité durant la conduite. Encore une fois le moteur électrique fonctionne lors des conduites en ville et le moteur thermique lors des plus fortes demandes en puissance soit sur la route. Le nom parallèle vient du fait que le courant est parallèle. [9] [10]

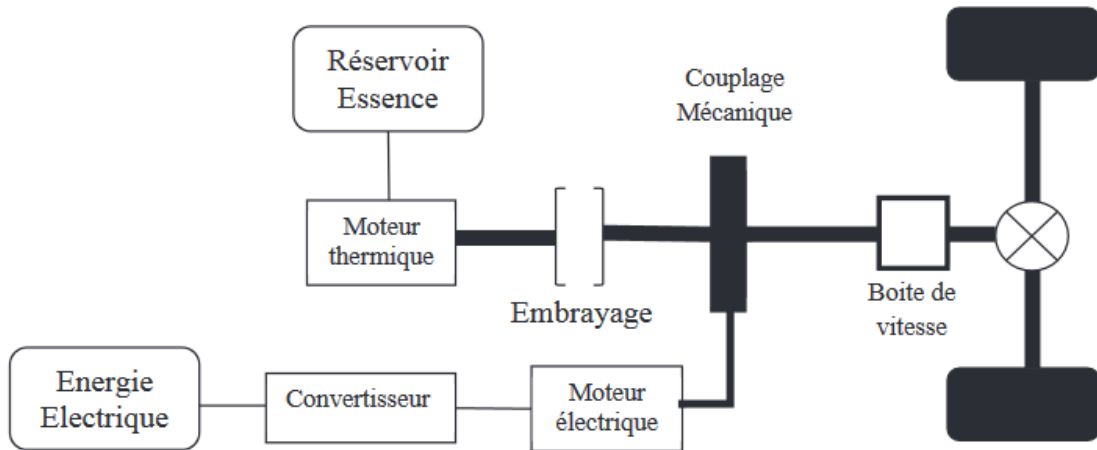


Figure 1.5.1 : Circuit du système hybride parallèle

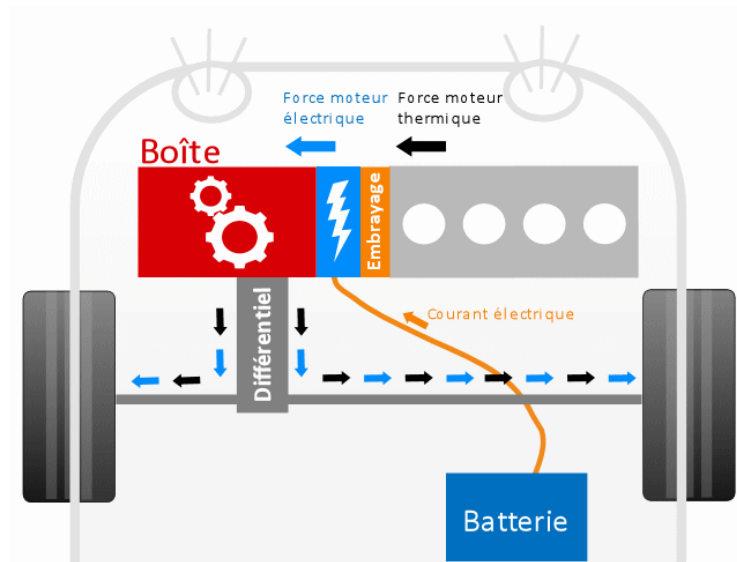


Figure 1.5.2 : Circuit du système hybride parallèle

1.4.1.3 Les hybrides compound ou dual

Le système série/parallèle est la combinaison du moteur électrique et thermique permettant la rotation des roues en rendant de l'électricité à la recharge de la batterie par l'intermédiaire du générateur. Ce système a l'avantage de pouvoir sélectionner les moteurs soit électrique soit thermique ainsi qu'une recharge permanente des batteries. Il est composé d'un moteur électrique, d'un moteur thermique, un générateur, un répartiteur d'énergie, d'un module de commande l'alimentation (inverseur/convertisseur). Le répartiteur, permet de faire fonctionner le moteur électrique ainsi que de produire de l'électricité pour recharger les batteries, ceci tout en essayant d'obtenir le meilleur rendement possible en fonction des conduites (ville, route...) [5, 10]

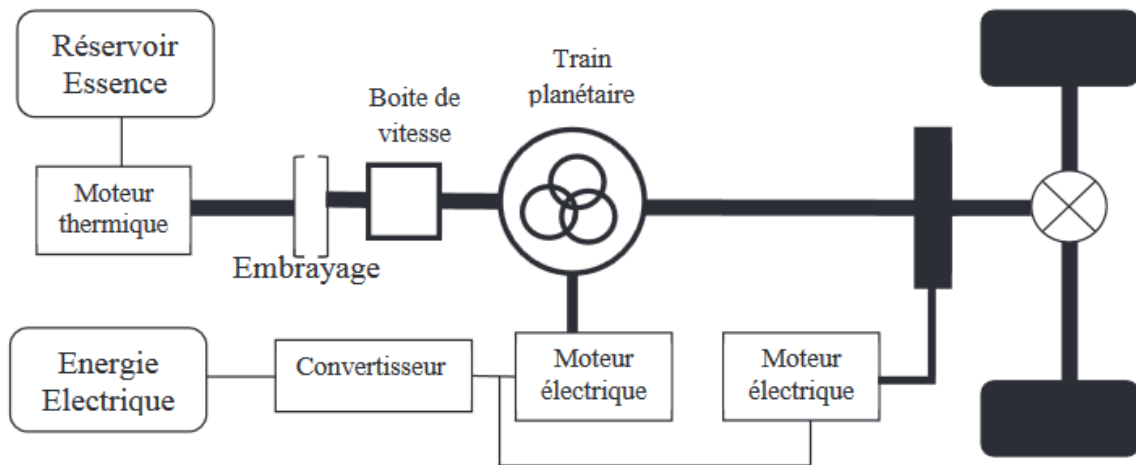


Figure 1.6.1 : Circuit du système hybride série/parallèle

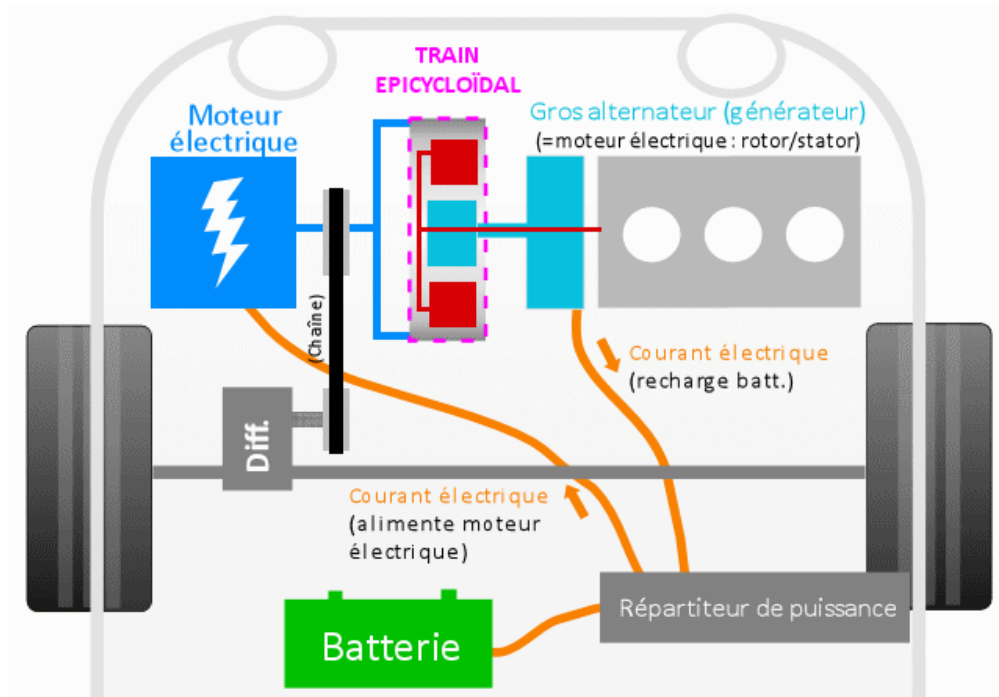


Figure 1.6.2 : Circuit du système hybride série/parallèle

1.5 Synthèse sur les architectures des véhicules hybrides

Le tableau ci-après récapitule les trois structures des véhicules hybrides, leurs avantages et leurs inconvénients.

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

Tableau 1.1: Comparaison des trois architectures des véhicules hybrides.

1.6 Principaux modes de fonctionnement :

1.6.1 Le mode thermique

Ce mode correspond à une propulsion intégralement apportée par le moteur à explosion. Les performances en matière de consommation et de pollution sont alors proches de celles d'un véhicule traditionnel. [10]

1.6.2 Le mode électrique pur ou tout électrique

Ce régime équivaut à une propulsion entièrement assurée par le moteur électrique. On dit alors que le véhicule est ZEV (Zero Emission Vehicle) et que ses caractéristiques en termes de dynamisme et d'agrément de conduite sont similaires à celles d'un véhicule électrique. Ce mode aboutit, à plus ou moins long terme, à la décharge des batteries. [10]

1.6.3 Le mode hybride

Ce mode correspond à la propulsion assurée par les deux moteurs en même temps. Plusieurs scénarios sont possibles. En traction, l'énergie nécessaire pour faire avancer le véhicule peut être fournie soit par les deux moteurs, soit par le moteur thermique seul. Le moteur électrique

est alors utilisé pour recharger les batteries pendant la conduite. Lors du freinage, le moteur électrique récupère une partie de l'énergie cinétique du véhicule ainsi qu'un complément délivré par le moteur thermique (Lors de la phase de freinage, une partie de l'énergie dissipée par le moteur thermique peut être récupérée si cela est techniquement possible). [10]

1.7 Conclusion

Après une brève introduction sur le véhicule hybride, incluant une description des différents types de véhicules et les types d'hybridation, ainsi que les éléments constituant un véhicule hybride de point de vue conception.

Nous avons également précisé les modes de fonctionnement du véhicule hybride (thermique, électrique et hybride).

Le deuxième chapitre traitera principalement le dimensionnement des dispositifs de stockage de l'énergie électrique, la modélisation du véhicule d'un point de vue énergétique et enfin, la définition de la gestion énergétique du véhicule.

Bien entendu, l'objectif principal sera un véhicule fonctionnel dans une simulation en MATLAB.

Chapitre 2 : Dimensionnement et gestion d'énergie de la voiture hybride

Chapitre 2 : Dimensionnement et gestion d'énergie de la voiture hybride

2.1 Introduction

Ce chapitre aborde les principaux composants du groupe motopropulseur du véhicule électrique hybride. L'objectif ici est de produire un état de l'art des technologies utilisées aujourd'hui dans l'électrification du véhicule pour chacun des composants du groupe motopropulseur (moteur thermique, batterie, machine électrique, électronique de puissance, transmission). Sur la base de divers critères tels que le coût, la maturité de la technologie, son adéquation avec l'architecture du véhicule, une technologie sera alors sélectionnée pour chaque composant afin d'être utilisée dans la mémoire ultérieure.

2.2 Batterie

2.2.1 Définition

Les batteries sont des accumulateurs électrochimiques. Elles sont capables de convertir de l'énergie électrique en un processus chimique réversible. Les piles ne sont pas des accumulateurs électrochimiques, car elles ne sont pas rechargeables. Leur fonction au sein d'un système technique est stockée de l'énergie électrique pour la restituer ultérieurement. On les retrouve dans les appareils autonomes ou embarqués qui sont de plus en plus nombreux au quotidien : appareils photo, téléphones portables, lecteurs MP3, jouets, jeux électroniques, télécommandes, petit électroménagers, outillages portatifs, véhicules automobiles...

Les batteries se composent généralement de plastique et de papier (boîtier) ainsi que de différents types de métaux (lithium, nickel, cadmium, manganèse, plomb...). Les matériaux et composés utilisés sont différents selon le type de batteries.



Figure 2.1 : Les différents types des batteries

2.2.3 Fonctionnement :

Le principe de fonctionnement est basé sur la propriété qu'ont certains couples chimiques d'accumuler une certaine quantité d'électricité en modifiant leur structure moléculaire, et ceci de manière réversible (charge/décharge). On appelle batterie un ensemble d'accumulateurs électrique reliés entre eux, en série ou en parallèle selon la capacité ou la tension désirée. Pour une batterie, on parle souvent d'éléments ou de cellules. [11]

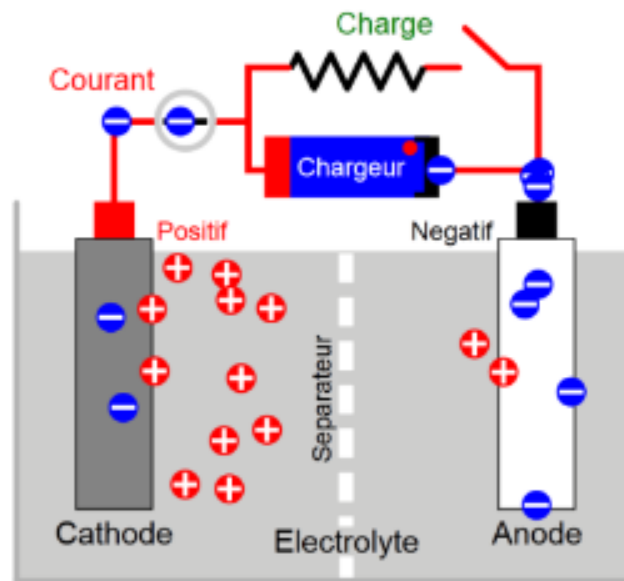


Figure 2.2 Principe d'un accumulateur électrochimique.

2.2.4 Caractéristiques des batteries

Un accumulateur, quelle que soit la technologie utilisée, est pour l'essentiel défini par les paramètres suivant :

- La densité d'énergie massique (ou énergie spécifique), en Wh/kg correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de masse d'accumulateur ;
- La densité d'énergie volumique, en Wh/l correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de volume d'accumulateur
- La densité de puissance massique, en W/kg, représente la puissance que peut délivrer l'unité de masse d'accumulateur ;
- Le nombre de cycles (un cycle correspond à une charge et une décharge), caractérise la durée de vie de l'accumulateur, c'est-à-dire le nombre de fois où il peut restituer le même niveau d'énergie après chaque nouvelle recharge
- La tension nominale dépend du nombre d'éléments
- La capacité de stockage, notée Q, représente la quantité d'énergie disponible (à ne pas confondre avec la capacité électrique) elle s'exprime en Ah
- Le courant maximal qu'elle peut fournir pendant quelques instants, ou courant de crête en ampères. [3]

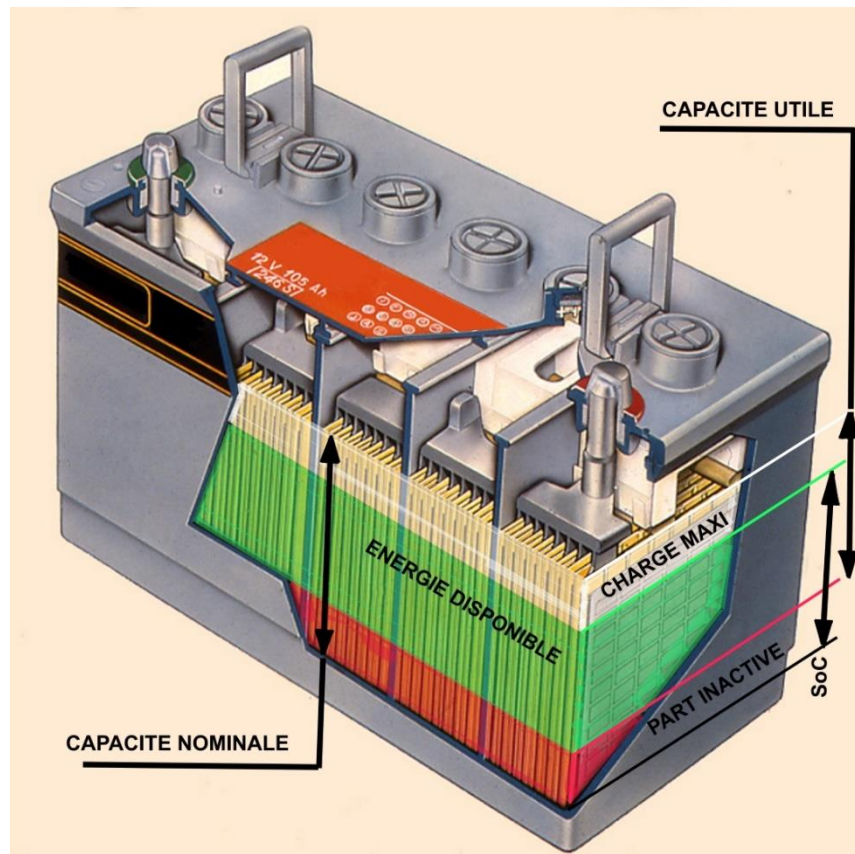


Figure 2.3 Capacité de la batterie

Pour toutes les batteries, quel que soit le type de fabrication, elles ont deux caractéristiques communes :

Leur tension, exprimée en Volts (V) : dans le photovoltaïque, elle est généralement de 12 V pour les petites batteries rechargeables qui ont une durée de vie d'environ 5 ans. Pour les éléments plus importants avec des tensions de 12, 24 ou 48 V, on utilise des éléments séparés de 2 V, prévus pour être assemblés en série, et qui ont une durée de vie d'environ 10 ans.

Leur capacité en Ampères heures (Ah) : Pour l'augmenter, on doit brancher plusieurs batteries en parallèle.

En multipliant la tension par la capacité, on obtient la quantité d'électricité emmagasinée, en kWh.

Par exemple, une batterie de 12 V – 100 Ah, contient théoriquement $12 \times 100 = 1\,200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ kWh}$.

En réalité, on ne peut utiliser qu'une partie de cette énergie accumulée :

La décharge ne doit pas dépasser 10 à 15 % de sa capacité sous peine de dégradation rapide.

Le courant de décharge ne doit pas dépasser le dixième de sa capacité. Pour une batterie de 100 Ah, c'est un courant de 10 A, donc une consommation de $12 \text{ (V)} \times 10 \text{ (A)} = 120 \text{ W}$. Si l'on « tire plus », la capacité réelle est inférieure. [12]

2.2.5 Les différents types de batteries

Parmi les nombreuses technologies d'accumulateurs électrochimiques, nous ne nous intéresserons ici qu'aux technologies actuellement les plus employées dans l'électrification des véhicules. Nous aborderons donc, dans cette partie, les accumulateurs de type Plomb, Ni-MH et Li-ion.

2.2.5.1 Batteries au plomb

Une fois n'est pas coutume c'est le français Gaston Planté qui a inventé en 1859 le premier système d'accumulateur rechargeable au plomb.

On y trouve deux sortes :

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

Les batteries au plomb fermées avec un électrolyte gélifié. Elles ont l'avantage d'être sans entretien, facilement manipulable (pas de fuite) avec une stabilité parfaitement contrôlée par le fabricant. Elles ont les inconvénients d'être plus chères et d'avoir une durée de vie plus courte. Elles fournissent en général environ 400 cycles à 80 % de décharge.

Un élément de batterie plomb acide est un système électrochimique réversible clos (à l'inverse d'une pile) dans lequel baignent deux électrodes séparées dans un liquide électrolytique. [13]

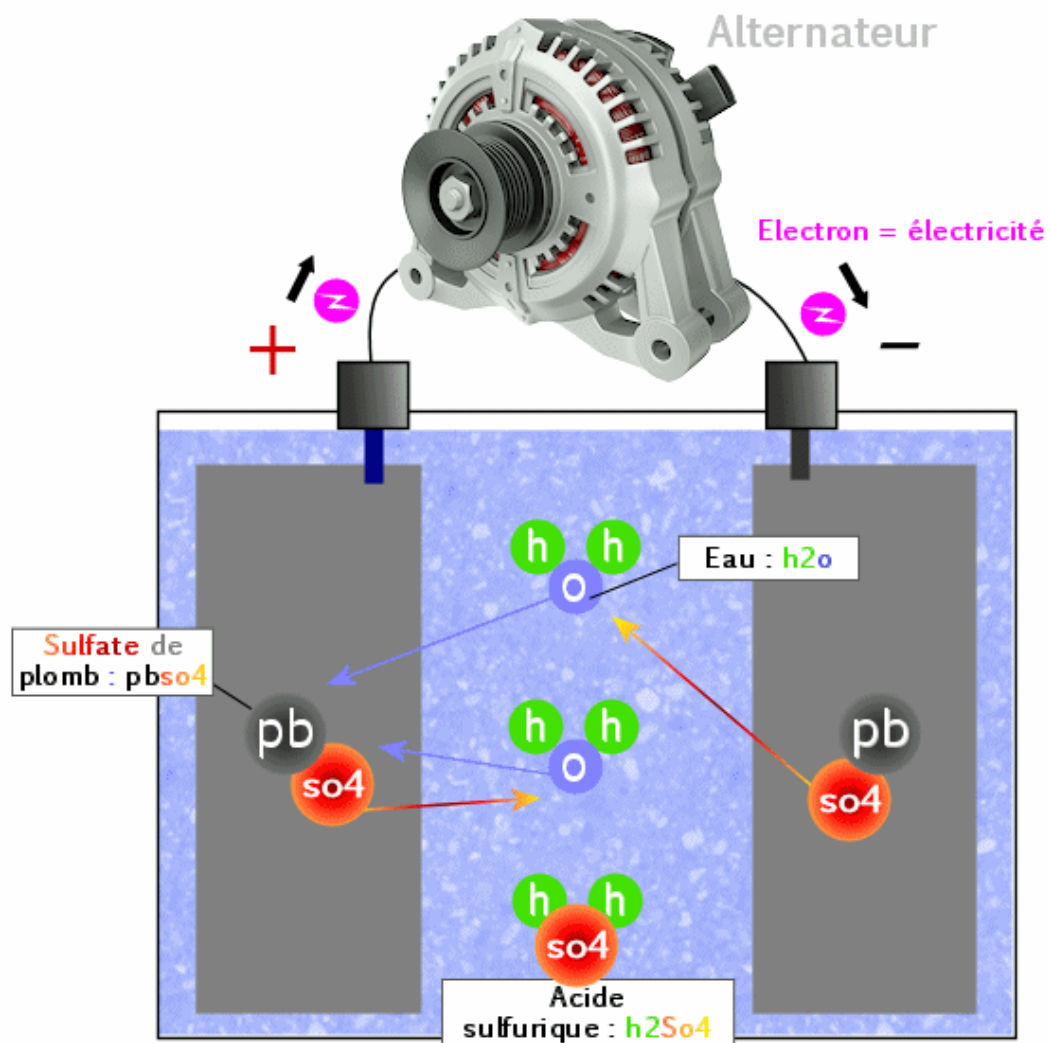


Figure 2.4 Fonctionnement de système électrochimique de la batterie plomb acide

Chaque élément comprend au moins deux plaques en plomb et oxyde de plomb (en réalité en alliage) constituant les pôles positifs et négatifs.

Le couple oxydo-réducteur électrode/électrolyte génère un flux d'électron à travers le séparateur créant un courant continu entre les pôles de chaque élément. En pratique élément fournit une tension de 2,1 V.

Pour atteindre les tensions nécessaires, les batteries 12 V contiennent 6 éléments de 2,1 V, les 24 V 12 et les 48 V 24.

Les plaques sont plus ou moins épaisses permettant ainsi de garantir un nombre de cycles plus ou moins important [13]

2.2.5.1.1 Les batteries plomb ouvertes

Dans ces batteries, les fortes températures engendrées lors de la charge évaporent en partie l'électrolyte mettant la batterie en danger (c'est la raison pour laquelle il est conseillé de toujours surveiller la température des batteries -les chargeurs disposent maintenant bien souvent d'une sonde de température permettant d'adapter l'intensité de la charge-). Il est donc indispensable de contrôler et remettre à niveau l'électrolyte périodiquement. De plus, la présence de liquide à l'intérieur interdit la position couchée à ces batteries (elles ne sont pas étanches).

Ce type de batterie dispose du meilleur rendement capacité/poids/prix de toutes les batteries au plomb. En effet, les plaques de plomb sont fines et de grande surface. [13]

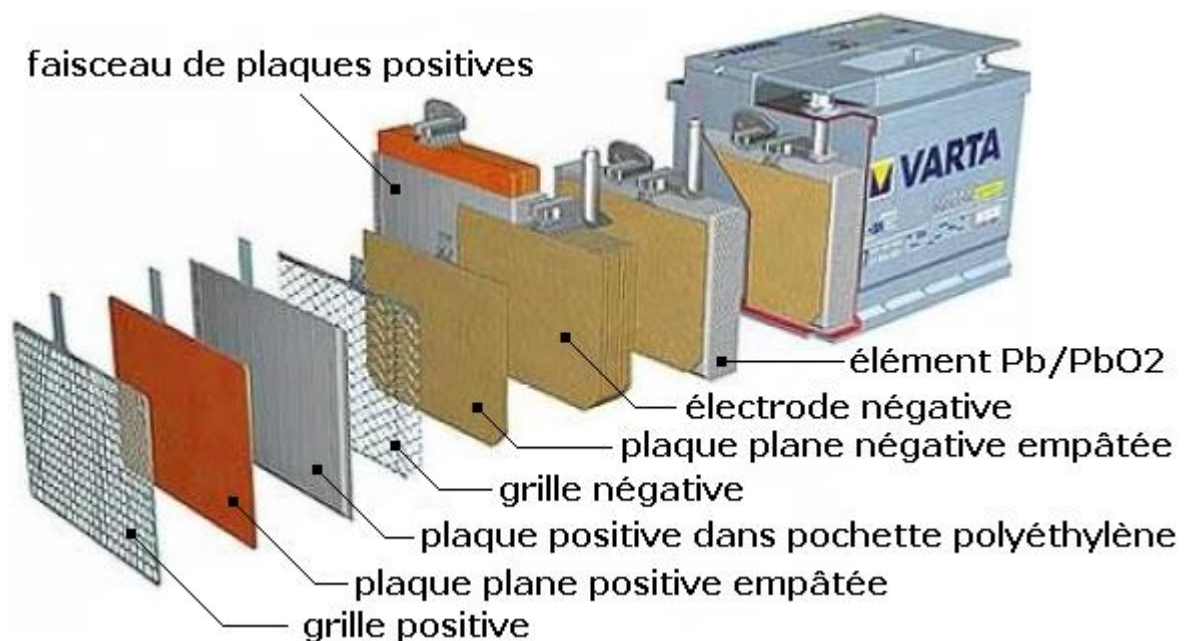


Figure 2.5 Composition des batteries plomb ouvertes

Le principal avantage de ces batteries est de pouvoir fournir une forte intensité sur une courte période, ce qui est par exemple idéal pour actionner un démarreur de moteur thermique. En revanche, la faible épaisseur des plaques de plomb les rendent impropres aux longues décharges prolongées (utilisation batterie de service déconseillée).

2.2.5.1.2 Les batteries plomb fermées

Les batteries plomb fermées sont munies de plaques fines dans l'alliage desquelles l'antimoine a été remplacé par du calcium le tout baignant dans une solution électrolytique d'acide sulfurique et d'eau.

La présence de calcium apporte l'avantage de (presque) supprimer la consommation d'eau rendant inutile la présence de bouchons de remplissage. Elles ne sont pas réellement étanches comme les batteries Gel, mais le demeurent sous 55° d'inclinaison.

Elles sont dites "sans entretien" car il n'est pas nécessaire de faire l'appoint d'électrolyte au long de la durée de vie de ces batteries. C'est un euphémisme, car c'est justement le manque d'électrolyte qui va abrégé leur durée de vie...

Le faible poids de l'alliage plomb calcium autorise l'emploi de bandes perforées d'où l'appellation parfois rencontrée de "batteries à plaques perforées". [13]

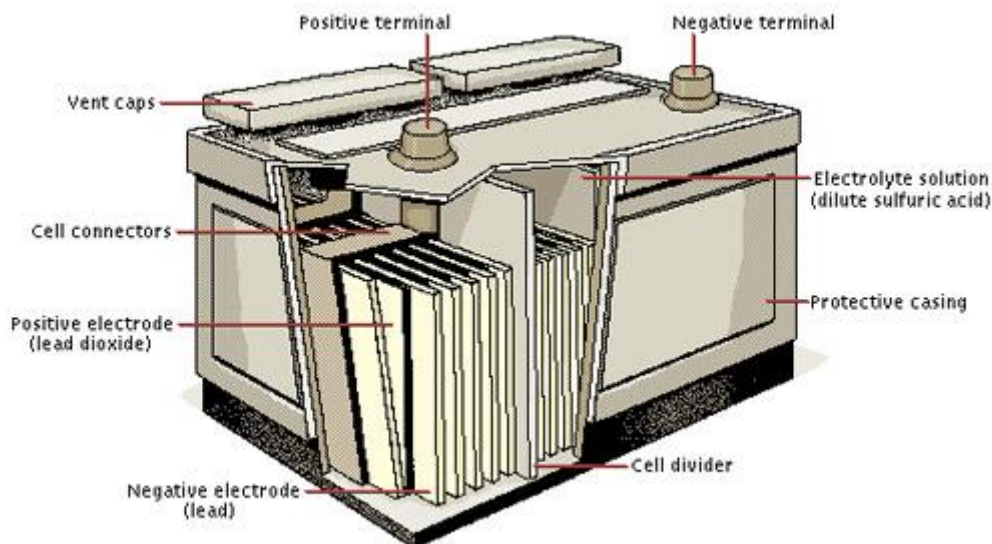


Figure 2.6 Composition des batteries plomb fermées

Elles sont assez légères et font de bonnes batteries de démarrage mais ne supportent pas les décharges profondes qui les détruisent assez rapidement. Leur usage est déconseillé en servitude. [13]

2.2.5.1.3 Les batteries Gel

Dans ces batteries, l'électrolyte est stocké sous forme de gel de silice. Les plaques sont épaisses, en plomb et en oxyde de plomb, éventuellement tubulaires pour les modèles OPZV. Leur conception les rend totalement étanches et sans entretien. Elles peuvent être stockées et utilisées couchées.

Elles appartiennent à la famille des batteries VRLA (valve regulated lead acid) car sont équipées d'une valve pour compenser le très faible dégazage que produit leur fonctionnement. [13]

2.2.5.2 Batteries au nickel

On y trouve les batteries NiMH (nickel métal hydrure) qui ont quasiment remplacé les NiCd (nickel cadmium) qui posaient des problèmes de recyclage du cadmium.

Les NiMH ont une grande densité énergétique et peuvent être complètement déchargée sans porter préjudice à leur durée de vie.

Elles ont l'inconvénient d'être de faible capacité, ce qui en fait des accumulateurs plutôt destinés à alimenter des appareils portables où l'autonomie dépasse rarement quelques heures.

Elles fournissent en général entre 500 et 700 cycles à 80 % de décharge. [13] [14]

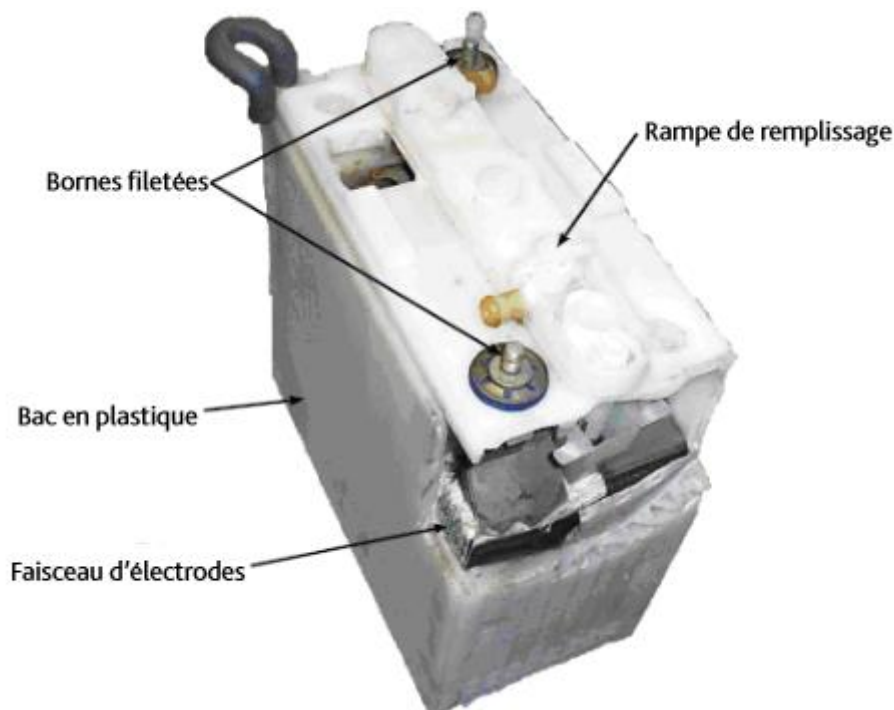


Figure 2.7 Exemple de batteries Nickel Cadmium « SAFT » monobloc 6 V 100 Ah

Composition :

Électrode positive : hydroxyde de nickel (état déchargé).

Électrode négative : oxyde de cadmium.

Électrolyte : solution concentrée de potasse (KOH).

Séparateur : matériau non tissé synthétique.

Il est indispensable de refroidir cette batterie pour garantir sa longévité. Des capteurs de température sont implantés sur quelques accumulateurs, et un circuit de liquide de refroidissement est inséré dans les parois des accumulateurs.

2.2.5.3 Batteries au Lithium

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

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

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

Cette technologie très jeune, est tout de même prometteuse et en développement constant.

Les accumulateurs lithium offrent aujourd'hui les plus importantes densités d'énergies massiques et volumiques (environ 160 Wh/kg et 400 Wh/l). Ils sont aussi les plus délicats dans leur utilisation et un BMS (Battery Management System) est indispensable pour s'assurer de la meilleure longévité. Ils n'ont aucun effet mémoire.

La tension d'un accumulateur lithium varie entre 3,0 V et 3,7 V en fonction de sa technologie de fabrication et elle reste stable en charge comme en décharge.

Le recyclage de ces batteries n'est pas d'actualité, mais les entreprises spécialisées, déjà citées, affirment qu'elles seront opérationnelles lorsque les véhicules arriveront en fin de vie. [15] [14]



Figure 2.8 Batteries Li-ions

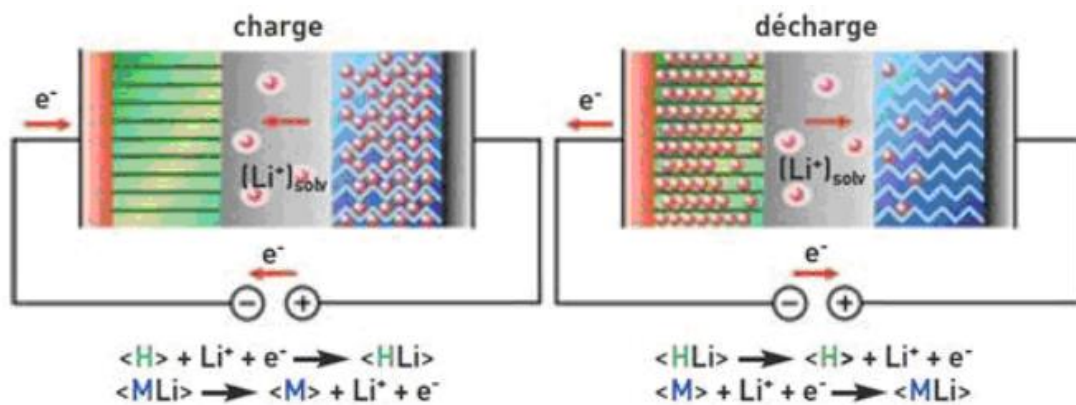


Figure 2.9 Principe de fonctionnement d'un accumulateur Li-ions

Lors de la décharge, le lithium relâché par l'électrode négative (graphite déposé sur feuillard de cuivre) migre sous forme ionique Li^+ à travers l'électrolyte et vient s'intercaler dans le réseau cristallin du matériau actif de l'électrode positive (oxyde de lithium manganèse ou cobalt déposé sur un feuillard d'aluminium). Le passage de chaque ion Li^+ dans le circuit interne de l'accumulateur est exactement compensé par le passage d'un électron dans le circuit externe, générant ainsi un courant électrique. La charge inverse le processus. Le sens de déplacement des électrons, à l'extérieur de la batterie, et le sens des ions lithium Li^+ , dans l'électrolyte, sont inversés. [15]

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

Pour le photovoltaïque, la batterie au plomb restera un composant incontournable pour encore des décennies. [14]

2.3 Principaux modes de fonctionnement

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]

Hybrid Electric Vehicle

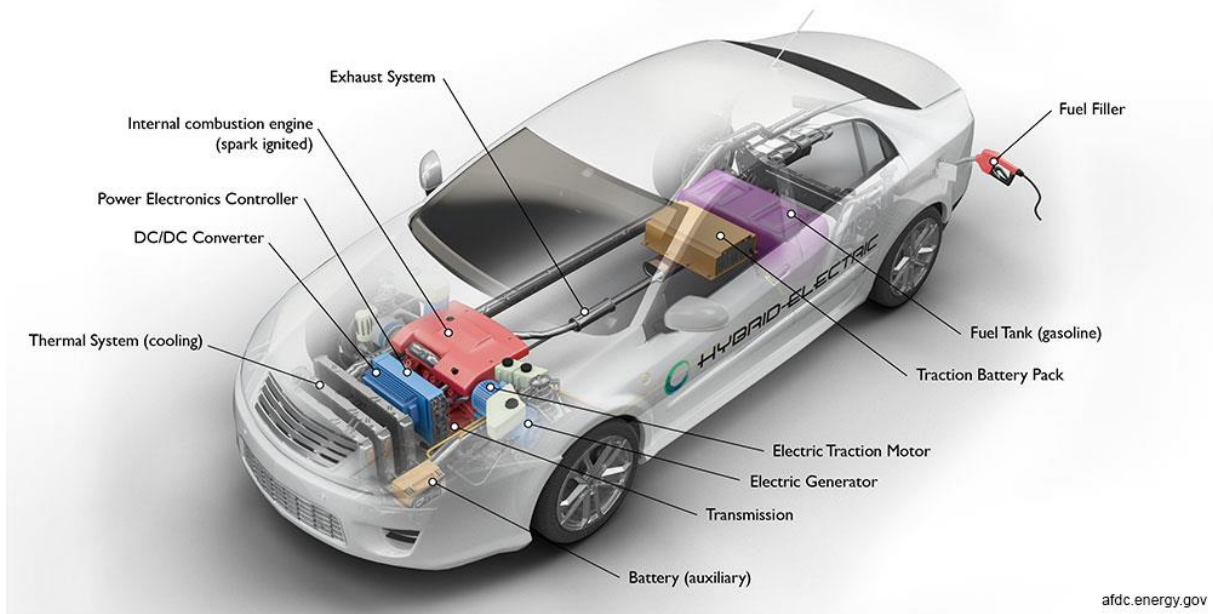


Figure 2.10 : Composants clés d'une voiture électrique hybride

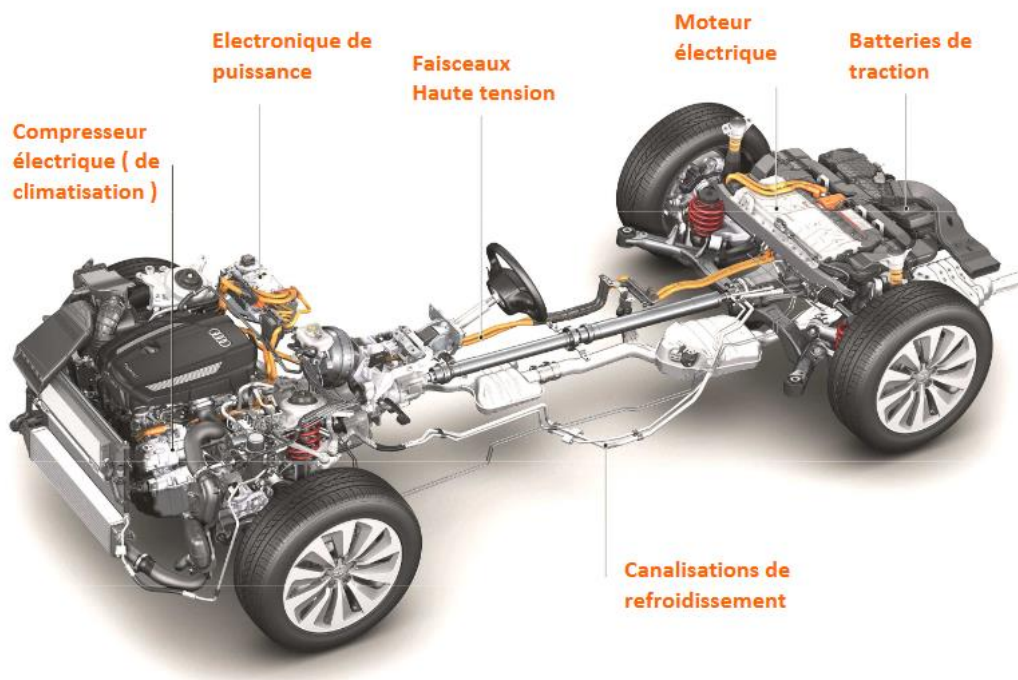


Figure 2.11 : Composants d'une voiture électrique hybride

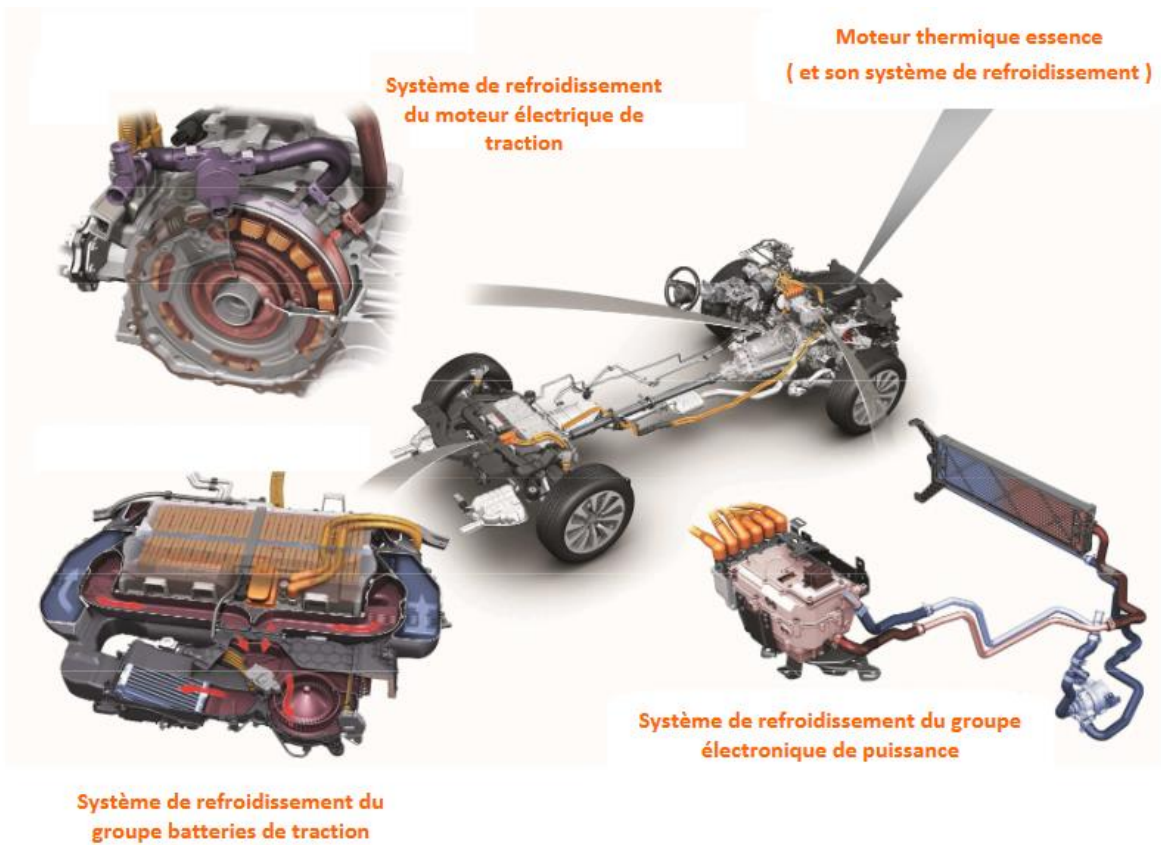


Figure 2.12 : Composants clés d'une voiture électrique hybride



Figure 2.13 Composants clés d'une voiture électrique hybride.



Figure 2.14 Composants clés d'une voiture électrique hybride.

- 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)
- 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. [16]
 - 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. [16]

2.3.1 Le 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.
4. La deuxième soupape va s'ouvrir, permettant l'échappement des gaz, repoussés par le retour du piston. Un nouveau cycle peut commencer. [17]

Décomposition des 4 temps

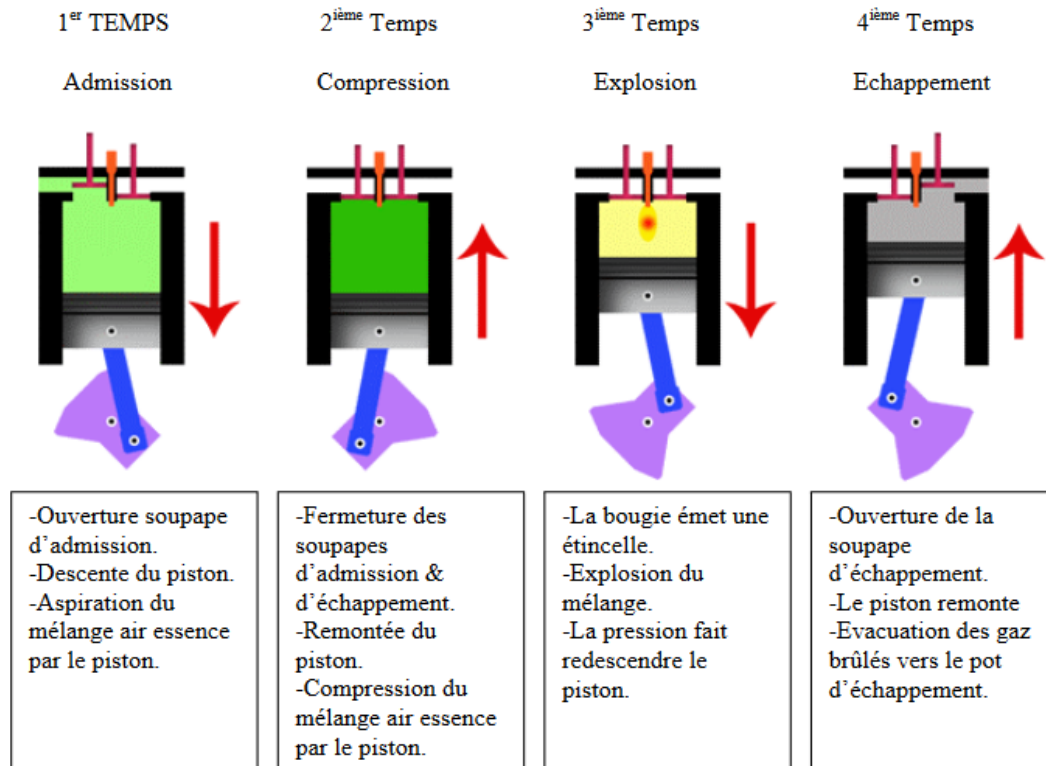


Figure 2.15 Décomposition des 4 temps.

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.

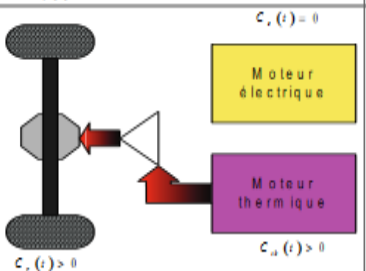
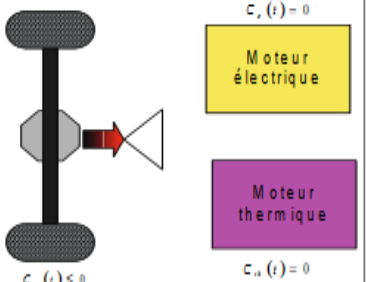
Mode thermique pur	<p>Traction du véhicule : $C_r(t) \geq 0$</p> 	<p><u>Traction en mode thermique pur :</u> Le moteur thermique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule.</p>
	<p>Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$</p> 	<p><u>Freinage en mode thermique pur :</u> Le moteur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

Tableau 2.1 Tableau d'explication de mode thermique pur

2.3.1.1 Les cycles du moteur thermique :

Les moteurs thermiques (moteur à combustion interne) sont les transformateurs qui convertissent l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique. Deux types de moteur thermique sont utilisés dans les chaînes de traction automobile. Ils sont caractérisés par leur cycle de fonctionnement :

- Le cycle Otto: allumage par étincelle et combustion à volume constant. Il est alimenté par de l'essence ou du gaz naturel.
- Le cycle Diesel: allumage par compression enflammée et combustion à pression constante. Il est alimenté par du gasoil (diesel).

Les deux types d'allumage sont utilisés mais le cycle diesel a un meilleur rendement. Leur différence est due au cycle thermodynamique. Dans le cycle Otto, la combustion se produit à volume constant, alors que dans le cycle Diesel, la combustion se produit à pression constante. Le rendement des moteurs thermiques dépend de la perte d'énergie en raison du frottement, du refroidissement, les pertes pour amener le carburant vers le moteur, de l'isolation thermique et des pertes thermiques. Le rendement moyen (rapport entre la puissance mécanique fournie par le moteur et la puissance du carburant consommé calculé à partir de la valeur calorifique) des moteurs thermiques en cycle Otto est de 25% et en cycle Diesel de 30% pour le point de fonctionnement optimal. Cependant, comme le point de fonctionnement courant du véhicule se situe rarement au point de fonctionnement optimal, il s'ensuit que le rendement des moteurs thermiques est inférieur aux valeurs données ci-dessus. En plus, dans les véhicules automobiles, le groupe de traction thermique contient le moteur thermique avec une boîte de vitesse (qui diminue le rendement) pour s'approcher d'un fonctionnement au plus proche de la zone optimale du moteur thermique pour une vitesse donnée. [17]

Pour les véhicules hybrides, les constructeurs d'automobiles utilisent le moteur thermique au cycle Otto afin de profiter de leur zone de fonctionnement optimal qui est plus adapté pour les VEHs (utiliser le moteur électrique pour les besoins élevés de couple et utiliser le moteur thermique avec sa boîte de vitesse pour les besoins de vitesses élevées). [17]

2.3.1.2 Les types de moteurs

Le principe général du moteur thermique est simple, il s'agit d'exploiter l'énergie produite par la combustion d'un mélange comburant/carburant dans une chambre fermée. En brûlant il y a une dilatation importante des gaz que l'on exploite (dépend du taux de compression moteur, lui-même lié à la segmentation, soupapes etc.). La pression induite par la combustion pousse alors le piston vers le bas qui est lui-même relié aux roues (pas directement évidemment ...). Le tout se produit dans un cycle en boucle qui dépend du type de moteur. [18]

2.3.1.2.1 Moteurs à vapeur

2.3.1.2.1.1 Historique

En 1769, l'idée de Ferdinand Verbiest est reprise par le français Joseph Cugnot qui présente son « fardier à vapeur », comme il le nomme, et qui est un chariot propulsé par une chaudière à vapeur. Développé pour le milieu militaire, cet engin autopropulsé est destiné à déplacer de lourds canons. Il atteint une vitesse d'environ 4 km/h, pour une autonomie moyenne de 15 minutes. Le fardier ne possède ni direction, ni frein.

Les progrès réalisés dans le domaine des machines à vapeur incitent certains à se pencher de nouveaux sur les véhicules à vapeur. C'est en Angleterre, pionnière dans le développement des chemins de fer, que l'automobile à vapeur prend son essor. Néanmoins, le décret de 1839 limitant la vitesse à 10 km/h aux diligences à vapeur, ainsi que le « Locomotive Act » imposant aux véhicules automobiles d'être précédés d'un homme à pied agitant un drapeau rouge, mettent un terme à son développement. [18]

C'est donc en France que l'automobile à vapeur reprend son cours. Parmi les plus fameuses adaptations de la propulsion à vapeur, il convient de signaler celles d'Amédée Bollée qui commercialise en 1873 la première véritable automobile à vapeur, un véhicule appelée L'Obéissante, qui pouvait transporter douze personnes, et dont la vitesse de pointe était de 40 km/h. Cependant, étant donné que les commandes sont faibles, Bollée est vite en proie à des difficultés financières, si bien qu'il abandonne le projet.. Bollée conçoit ensuite, en 1876, un omnibus à vapeur dont les quatre roues sont motrices et directrices, puis en 1878 une voiture appelée La Mancelle plus légère (2,7 tonnes) que son premier modèle, et qui dépasse facilement les 40 km/h. [18]

En 1881, le modèle La Rapide de six places pouvant atteindre 63 km/h est présenté. D'autres modèles suivront, mais la propulsion à vapeur s'avère une impasse en matière de rapport poids/performances. [18]

L'Exposition universelle de 1889 est l'occasion de présenter le premier véhicule à vapeur, à mi-chemin entre l'automobile et le tricycle, développé par Serpollet Peugeot. Mais malgré l'ensemble de ces prototypes, l'automobile n'est pas encore réellement lancée, et il faut attendre les années 1860 pour voir une innovation bouleverser le cours de l'histoire de l'automobile : le moteur à explosion. [18]



Figure 2.16 La Mancelle à vapeur de 1878

2.3.1.2.1.2 Principe de fonctionnement de moteurs à vapeur

Il existe beaucoup de moteurs à vapeur (d'eau essentiellement). On distingue ceux qui fonctionnent par un mouvement type bielle-manivelle : les pistons, de ceux en fonctionnement rotatif : les turbines. Les systèmes à piston ne sont plus guère en usage tandis que les turbines à vapeurs sont encore fortement utilisées pour produire de l'électricité dans les centrales nucléaires ou au charbon par exemple. [19]

- Dans les systèmes bielles-manivelles, certains systèmes permettent de transmettre une poussée à chaque mouvement de la bielle, que ce soit dans un sens ou dans l'autre, c'est le « double effet ». Autre vision : systèmes avec deux poussées par tour de manivelles ! Le terme de poussée étant pris dans le sens « poussée sur le piston ». [19]

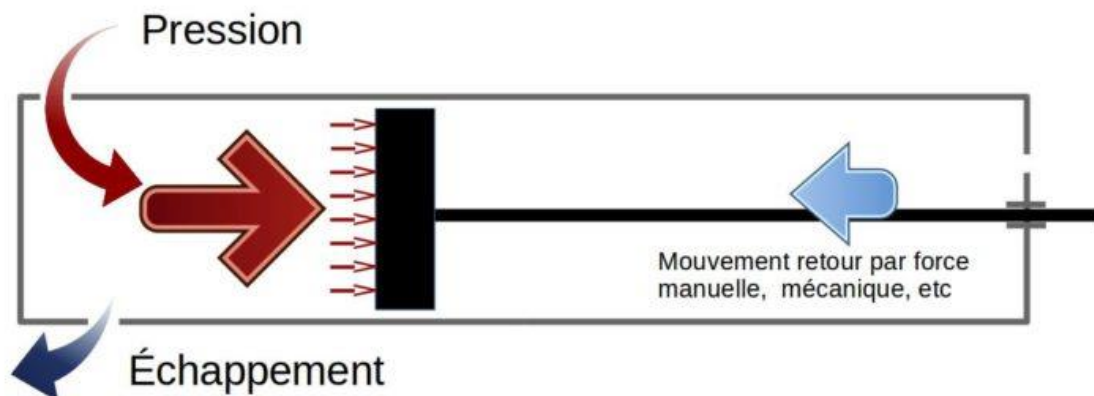


Figure 2.17 Schéma de principe d'un vérin simple effet

- Les pistons à double effets peuvent être alimentés par un système fixe ou un système mobile. Dans le cas des systèmes fixes, le piston oscillant, comme présenté ci-dessous, est une solution simple mécaniquement (moins de pièces en mouvement). Le principal inconvénient de ces systèmes est leur manque de souplesse (marche arrière très difficile par exemple) et la difficulté d'optimiser la marche du système afin d'en tirer le maximum. Exemple de fonctionnement avec la machine à vapeur BH-1, le piston est à double effet car le piston « pousse et tire » la bielle. Rouge = pression, bleu = échappement. [19]

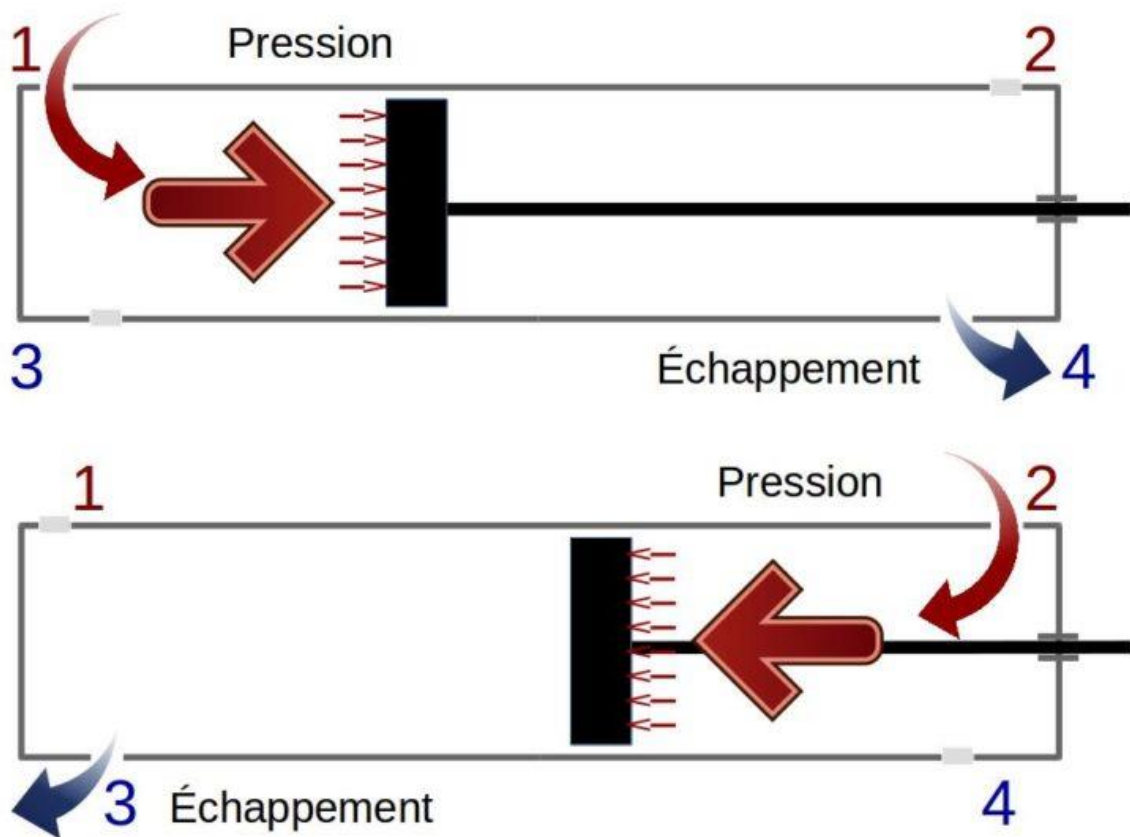


Figure 2.18 Schéma de principe d'un vérin double effet

- Premier temps, poussée : ouverture 1 + 4 et fermeture 2 + 3
- Deuxième temps, tirage : fermeture 1 + 4 et ouverture 2 + 3

2.3.1.2.2 Les moteurs à explosion

2.3.1.2.2.1 Historique

En 1680, le physicien allemand Christian Huygens dessine, mais ne construit pas, ce qui semble être un moteur à combustion interne alimenté par de la poudre à canon. Selon le principe développé par l'allemand Otto Von Guericke, Huygens utilise l'explosion produite par la poudre pour faire le vide partiel dans un cylindre équipé d'un piston. La pression atmosphérique engendre le retour du piston dans sa position initiale, générant ainsi une force.

Un tel mécanisme fut mis au point dès 1690 par Denis Papin, qui utilisa la vapeur au sein d'une chaudière extérieure au moteur. Cependant, ce système se révéla instable : il était indispensable de décomposer le moteur en plusieurs éléments séparés, ce qui entraînait une perte de chaleur et donc une diminution du rendement. En 1859, Étienne Lenoir utilise du gaz de ville. Ainsi, il crée un système de combustion intégralement interne délivrant 3 chevaux. L'allumage du moteur à explosion doit être provoqué par une source d'énergie externe, telle qu'une bougie, ce qui permet une combustion très rapide. Un système combiné de deux pistons coulissants reliés à une bielle conduit à l'avancée du véhicule. En plus de ces deux pistons, deux soupapes sont fixées : une soupape d'admission, qui permet l'injection d'air et d'essence, et la soupape d'échappement qui permet au gaz d'être évacué. Cette progression se réalise en une boucle de quatre étapes successives, d'où le terme de moteur à quatre temps. [8]

2.3.1.2.2.2 Moteur à piston

2.3.1.2.2.2.1 Types de moteur

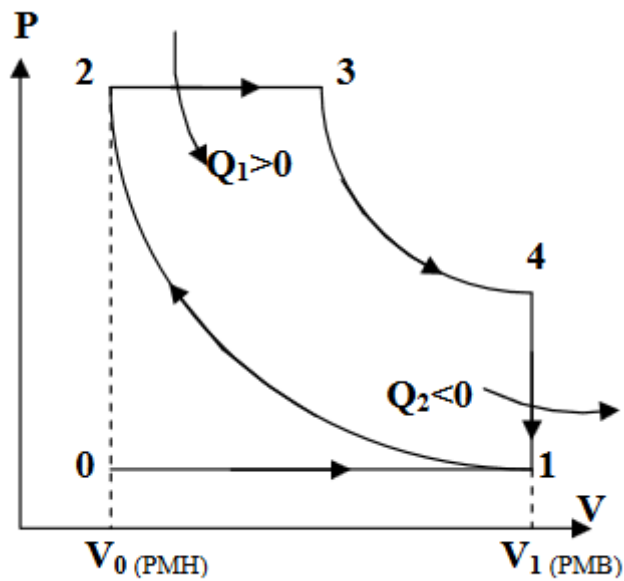
Les moteurs à piston sont ceux qui sont le plus largement utilisés aujourd'hui pour mouvoir les automobiles, et on distingue plusieurs types de moteurs selon le carburant qui est utilisé :

- les moteurs diesel qui fonctionnent avec du gasoil,
- les moteurs à essence, qui peuvent être eux même séparés en deux technologies : les moteurs « deux temps », et les moteurs « quatre temps »,
- les moteurs utilisant le GPL (Gaz de Propane Liquéfié),
- les moteurs utilisant l'E 85 (mélange d'alcool et d'essence),
- les moteurs utilisant d'autres biocarburants. [8]

2.3.1.2.2.1.2 Moteurs diesel

Dans les moteurs à allumage par compression, le carburant est du gazole. On l'injecte sous pression dans la chambre de combustion contenant de l'air, préalablement comprimé et chaud, au contact duquel il s'enflamme spontanément. Ces moteurs sont appelés moteur Diesel. [20]

- Cycle diesel pur (combustion à pression constante)



- 0 -> 1: Admission de l'air.
- 1 -> 2: Compression adiabatique de l'air.
- 2 -> 3: Combustion isobare, apport de chaleur.

$$\begin{cases} \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = \varepsilon^\gamma \\ \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \varepsilon^{\gamma-1} \end{cases}$$

$$Q_1 = (m_a + m_c) C_p (T_3 - T_2) = m_c \cdot P_{ci}$$

- 0 -> 4 Détente adiabatique des gaz.

$$\begin{cases} \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^\gamma = \varepsilon'^\gamma \\ \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma-1} = \varepsilon'^{\gamma-1} \end{cases}$$

- 4 -> 1: Echappement des gaz brûlés. La chaleur dégagée est:

$$Q_2 = (m_a + m_c) C_v (T_1 - T_4)$$

• Rendement théorique du cycle diesel:

$$\eta_{th} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{(ma + mc)Cv(T_1 - T_4)}{(ma + mc)Cp(T_3 - T_2)} \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

L'équation d'état des gaz parfait :

P.V = m.r.T T= VP/mr d'où:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{P_4 V_4 - P_1 V_1}{P_3 V_3 - P_2 V_2}$$

Avec P2=P3 (isobare) et V1=V4 (isochore)

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{V_1}{P_2} \frac{(P_4 - P_1)}{(V_3 - V_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\left(\frac{P_4}{P_2} - \frac{P_1}{P_2} \right)}{\frac{V_3}{V_1} - \frac{V_2}{V_1}}$$

Or, on sait que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{P_4}{P_2} = \frac{P_4}{P_3} = \frac{1}{\epsilon'^{\gamma}} \\ \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{\epsilon^{\gamma}} \\ \frac{V_3}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} = \frac{1}{\epsilon'} \\ \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{\epsilon} \end{array} \right. \Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\left[\left(\frac{1}{\epsilon'} \right)^{\gamma} - \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{\gamma} \right]}{\frac{1}{\epsilon'} - \frac{1}{\epsilon}} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{\gamma} \left[\left(\frac{\epsilon'}{\epsilon} \right)^{\gamma} - 1 \right]}{\left(\frac{1}{\epsilon} \right) \left[\left(\frac{\epsilon'}{\epsilon} \right) - 1 \right]}$$

$$\left. \begin{array}{l} \eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\epsilon}{\epsilon^{\gamma}} \frac{\left[\left(\frac{\epsilon'}{\epsilon} \right)^{\gamma} - 1 \right]}{\left[\left(\frac{\epsilon'}{\epsilon} \right) - 1 \right]} \\ \left. \begin{array}{l} \epsilon = \frac{V_1}{V_2} \\ \epsilon' = \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_3} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\epsilon}{\epsilon'} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{V_3}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} = \delta$$

Finalement on obtient :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\delta^\gamma - 1}{\delta - 1}$$

- Le rendement de ce moteur dépend du rapport volumétrique de compression ε et du rapport δ qui caractérise la durée de l'injection ou de la combustion. [20]

2.3.1.2.2.1.3 Moteurs deux temps

Un moteur deux temps comporte quatre éléments :

Le cylindre : Pour un moteur deux temps, il possède trois ouvertures. Une lumière d'échappement en communication avec l'atmosphère, une lumière de transfert reliant le carter au cylindre, et une lumière en communication avec le carburateur qui effectue le mélange carburant, air.

Le piston : Il coulisse à l'intérieur du cylindre. Pour les moteurs deux temps, le piston possède un bossage jouant le rôle de déflecteur qui assure un meilleur balayage des gaz brûlés par les gaz frais.

La bielle : Elle assure la liaison entre le piston (pied de bielle) et le vilebrequin (tête de bielle),

Le vilebrequin : Il transforme le mouvement alternatif du piston en un mouvement de rotation. (Système bielle-manivelle). Son axe, supporté par des paliers, est l'axe moteur. Il comporte des masses d'équilibrage pour limiter les vibrations. [21]

- **Cycle de fonctionnement**

Le cycle d'un moteur thermique comporte l'admission, la compression, l'explosion et l'échappement. Dans le moteur deux temps ces quatre opérations en deux aller-retour du piston. [21]

- **Premier temps (course motrice)**

Ce temps inclus la détente, l'échappement et l'admission.

L'explosion se produit quand le piston atteint son point mort haut et le repousse vers le bas ce qui comprime le mélange admis pendant la course précédant puisque la lumière d'admission est fermée.

Le piston découvre la lumière d'échappement et celle qui fait communiquer le carter et la chambre de combustion. Le déflecteur du piston rejette le mélange froid vers le haut du cylindre ce qui contribue à chasser les gaz brûlés vers la lumière d'échappement.

A la fin du premier temps tous les gaz brûlés ont été expulsés et la chambre de combustion est pleine de mélange froid. [21]

- Second temps

Le piston remonte dans le cylindre et comprime le mélange dès que les lumières d'admission et de transfert sont fermés et crée une dépression dans le carter. Quand la lumière d'admission s'ouvre cette dépression favorise l'introduction dans le carter du mélange combustible.

La bougie produit une étincelle lorsque le piston atteint son point mort haut ou juste un peu avant afin de pouvoir brûler la totalité du mélange contenu dans la chambre de combustion (avance à l'allumage). [21]

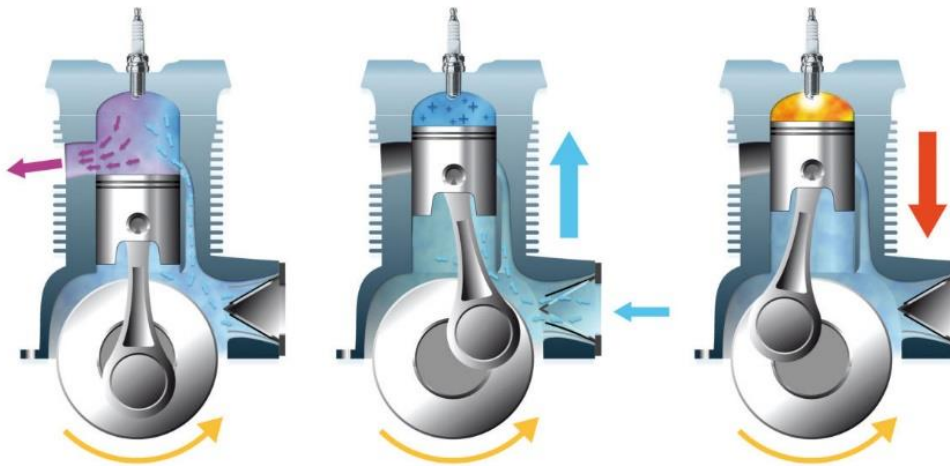


Figure 2.19 Fonctionnement d'un moteur 2 temps

- **Avantages du moteur deux temps**

Moteur simple avec peu de pièces mobiles : léger et coût modique

Fort rapport puissance cylindrée.

Fonctionne dans toutes les positions car la lubrification est assurée par de l'huile mélangée au carburant. [21]

- **Inconvénients**

Moteur assez polluant :

L'évacuation des gaz brûlés est incomplète et une partie des gaz frais s'échappe par la lumière d'échappement.

La fin de la détente est perdue à cause de la position de la lumière d'échappement,

Combustion de l'huile de lubrification dans la chambre.

La consommation de carburant plus grande à puissance égale que pour un moteur quatre temps.

Ce type de moteur n'est plus utilisé que pour des moteurs de faible puissance (cyclomoteur, scooter...) ou pour des utilisations où le moteur doit fonctionner dans toutes les positions (tronçonneuse, outils de jardinage...) [21]

2.3.1.2.2.1.4 Moteurs quatre temps

Le principe du moteur à explosion 4 temps est relativement simple : le mélange air-essence est fortement comprimé par le piston. Une étincelle fournie par une bougie permet de faire exploser le gaz comprimé qui repousse violemment le piston. Ce déplacement permet de faire tourner le vilebrequin qui, par un système mécanique compliqué, permettra de faire tourner les roues et donc d'avancer. Dans ce moteur à 4 temps, pour que la bielle tourne d'un tour, il faut deux montées et deux descentes du piston. [22]

- Pour comprendre le fonctionnement d'un moteur "4 temps" il faut connaître les pièces qui le composent.

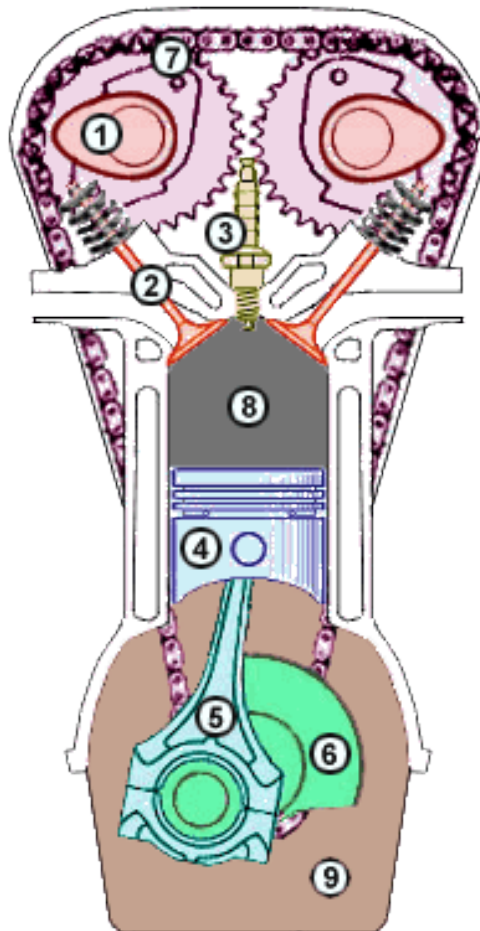


Figure 2.20 Coupe et légendes d'un cylindre de moteur à explosion 4 temps

1. CAME: (Rouge)

Monté sur un arbre, cette pièce non circulaire sert à transformer un mouvement rotatif en mouvement de poussé. [22]

2. SOUPAPE: (Orange)

Obturateur mobile maintenu en position fermée par un ressort. Elle s'ouvre momentanément sous la pression de la came. [22]

3. BOUGIE: (Jaune)

Elle fait jaillir une étincelle qui met le feu au mélange air/essence, créant une explosion. [22]

4. PISTON: (Bleu)

Pièce cylindrique mobile, qui sert à comprimer les gaz en vue d'une explosion, et qui après l'explosion transforme une énergie thermique en énergie mécanique. [22]

5. BIELLE: (Turquoise)

Tige rigide, articulée à ses deux extrémités. Elle transforme un mouvement linéaire en mouvement rotatif. [22]

6. VILEBREQUIN: (Vert)

Arbre articulé en plusieurs paliers excentrés. Transmet indirectement l'énergie mécanique à la boîte. [22]

7. DISTRIBUTION: (Violet)

Mécanisme de régulation d'entrée et de sortie des gaz à travers la chambre de combustion. Créant une parfaite coordination entre les arbres à came et le vilebrequin. [22]

8. CHAMBRE DE COMBUSTION: (Gris)

Chambre hermétique où est injecté le mélange air/essence pour y être comprimé, enflammé, et créer une énergie mécanique. [22]

9. LUBRIFICATION: (Marron)

Les pièces situées sous le piston baignent dans l'huile. Cette huile n'est jamais en contact avec le dessus du piston. Elle lubrifie: Vilebrequin, Bielle, Piston, et parfois c'est la même qui lubrifie la boîte de vitesse. (A la différence des 2 temps, où la boîte est séparée du moteur.) [22]

Mais voyons le principe des 4 temps du moteur à explosion par un schéma :

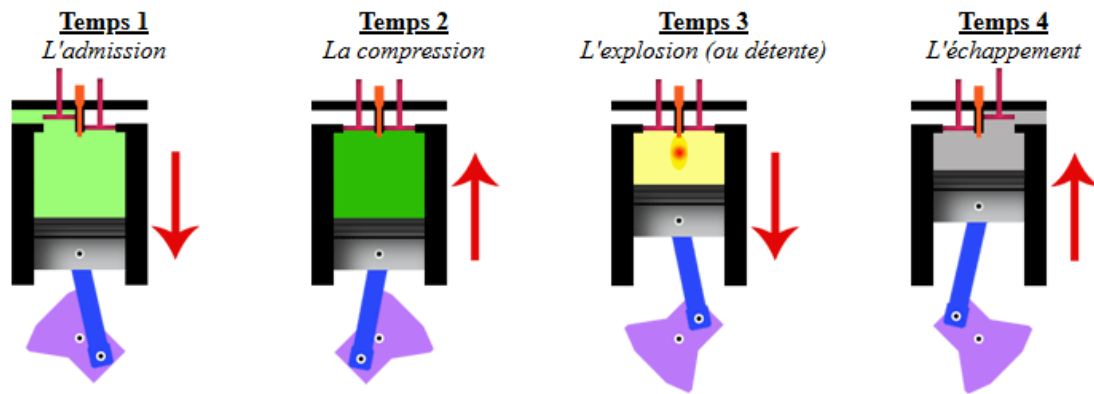


Figure 2.21 : le principe des 4 temps du moteur à explosion

Temps 1 : La soupape d'admission s'ouvre et le piston descend, aspirant le mélange air-essence.

Temps 2 : Les soupapes d'admission et d'échappement se ferment. Le piston remonte comprimant le mélange air-essence.

Temps 3 : Les deux soupapes fermées, la bougie émet une étincelle provoquant l'explosion du mélange air-essence. La pression fournie permet de faire redescendre le piston (temps moteur).

Temps 4 : La soupape d'échappement s'ouvre et le piston remonte permettant l'évacuation des gaz brûlés que l'on retrouvera à la sortie du pot d'échappement.

- Différences entre moteurs à 4 temps et moteurs à 2 temps :

4 temps :

- L'huile et l'essence ne se mélangent jamais. Le mélange air-essence est confiné à la partie haute du moteur tandis que l'huile reste dans la partie basse.
- Le piston doit faire deux tours au vilebrequin (720°) pour effectuer un cycle complet.

2 temps :

- Le piston fait faire un seul tour au vilebrequin (360°) pour effectuer un cycle complet.
- Il s'use beaucoup plus vite que le moteur à 4 temps, car sa lubrification est moins bonne. De plus, il a tendance à polluer beaucoup plus.

Le moteur 2 temps est beaucoup utilisé dans l'agriculture (tondeuse) et le matériel de travaux publics. [22]

2.3.1.2.3 Moteurs rotatifs

Le moteur rotatif n'utilise pas le système bielle-manivelle puisqu'il produit directement un mouvement rotatif. Dans ses versions thermiques à combustion interne, sa conception très particulière lui vaut parfois des problèmes majeurs. Le type Wankel est cela dit arrivé jusqu'à la commercialisation sur quelques rares modèles, sans réel succès.

Par extension, le moteur rotatif désigne cette évolution idéale du moteur thermique. Il s'agit pour résumer d'un moteur à combustion dont l'organe reprenant le rôle du piston effectue un mouvement de rotation. Par conception, son piston est donc lui-même directement rotatif.

Issu d'une cinématique mathématique précise, son mouvement fut d'abord circulaire uniforme avant d'adopter une géométrie non linéaire bien plus complexe. Ainsi donc, ce moteur rotatif n'a plus besoin du système bielle-manivelle. [23]

2.3.1.2.2.1.1 Moteur Wankel

Le moteur rotatif de type Wankel est le seul à avoir connu une carrière commerciale sur presque 50 ans.

Ce moteur à combustion interne utilise simultanément les 3 faces de son piston triangulaire rotatif pour accomplir ainsi les 4 temps :

- Premier temps : admission. L'air carburé, ou pur si injection directe, est aspiré par une ou des lumières périphériques percées à travers le stator et gérées par les trois arêtes du piston triangulaire. Il existe aussi une variante avec une admission latérale au travers de la flasque. Cette admission peut recevoir une suralimentation.
- Deuxième temps : compression-allumage. Grâce à sa rotation excentrée, la face du piston se rapproche de la chemise de la trochoïde du stator. Une fois la compression obtenue, la ou les bougies d'allumage enflamment la charge fraîche précédente.
- Troisième temps : détente. Comme toujours, les gaz chauds augmentent leur pression qui s'exerce sur l'une des 3 faces du piston triangulaire. Celui-ci est obligé de tourner sur l'axe fixe denté qui guide son mouvement particulier en transmettant sa puissance via un arbre de sortie excentrique.
- Quatrième temps : échappement. Toujours comme un 2 temps sans soupapes, la même face du piston chasse les gaz brûlés devenus inutiles via la lumière d'échappement. Et le cycle recommence.

Ainsi, l'élément jouant le rôle du piston ne ressemble plus du tout à la pièce classique et prend souvent le nom de rotor. Ici, de forme plutôt triangulaire, il tourne de façon excentrée à l'intérieur d'une chemise en forme de cacahuète, appelée épi trochoïde. [24]

2.3.1.3 Bilan des pertes dans le moteur thermique

Dans le cas du moteur thermique il est commun de considérer les pertes dans chacune des phases permettant de réaliser le processus complet de conversion de la puissance théorique du carburant jusqu'à la puissance mécanique effective, on parle alors de la cascade de rendement. Le rendement de combustion correspond au rapport entre la puissance théorique du carburant calculée grâce au PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) et la puissance effectivement générée lors de la combustion, le rendement de combustion est l'image de l'énergie perdue lors de la combustion incomplète du carburant. Le rendement thermodynamique traduit quant à lui le travail théoriquement récupérable grâce à un cycle thermodynamique idéal. Le rendement de forme représente les pertes dues à l'utilisation, non pas d'un cycle thermodynamique idéal, mais d'un cycle réel

(libération d'énergie non instantanée lors de la combustion, pertes thermiques aux parois, remplissage et vidage non instantané). Pour finir, le rendement mécanique traduit les pertes liées aux frottements au sein du moteur (contact segment/chemise, paliers, distribution) et à la puissance utilisée pour alimenter les auxiliaires du moteur thermique (pompe à huile, pompe à eau).

Le rendement global des moteurs thermiques actuels peut atteindre entre 35 et 40% (rendement maximal). [3]

2.3.2 Le 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.

Mode électrique pur	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<p>$c_e(t) < 0$</p> <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>$c_e(t) \geq 0$</p> <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 2.1 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 : [17]

- 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).

On a donc eu l'idée de faire bouger un aimant à côté d'un fil de métal et on s'est aperçu que cela produisait du courant (qui va dans le sens du mouvement de l'aimant. Ce dernier entraîne les électrons à la surface des atomes). On a donc rapidement fait des montages circulaires plus intelligents : on met un aimant rotatif au milieu d'une bobine de cuivre (on peut aussi faire l'inverse, le cuivre au milieu et les aimants en périphérie. Et c'est d'ailleurs ce que l'on voit sur les moteurs électriques) ce qui produit de l'électricité en continue quand on le fait tourner (l'aimant). On a donc ici découvert en premier lieu le côté réversible du moteur électrique. Car ici on arrive à produire de l'électricité consécutif à un mouvement mais pas un mouvement à partir de l'électricité (ce que l'on recherche pour notre voiture électrique ici).

On a alors tout simplement essayé de faire l'inverse : Dans notre système d'aimant rotatif on a injecté de l'électricité dans la bobine. Et là miracle, l'aimant s'est mis à tourner

C'est donc le côté très intéressant du moteur électrique, il sait faire deux choses à la fois : créer un mouvement quand il reçoit de l'électricité ou créer de l'électricité si on le met en mouvement. [25]

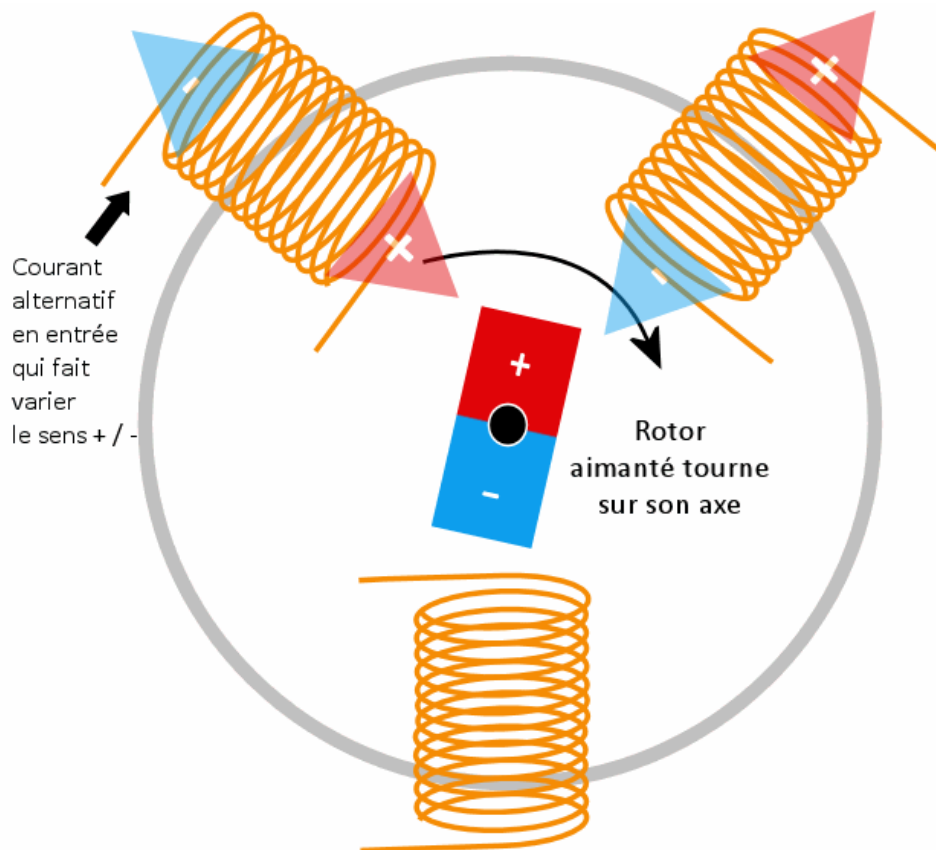


Figure 2.22 Schéma explicatif des mécanismes de moteur électrique.

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. [25]

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. [25]

2.3.2.1 Machines à courant continu

Dans l'organisation d'une machine à courant continu, on peut distinguer les principaux éléments suivants :

- les pôles inducteurs avec leurs enroulements ou leurs aimants, placés généralement sur le stator (partie fixe)
- l'induit, dont les différentes voies d'enroulements sont connectées au collecteur, l'ensemble étant généralement placé sur le rotor (partie tournante)
- les enroulements de compensation de la réaction magnétique d'induit
- les enroulements de commutation des voies d'enroulement-les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles.

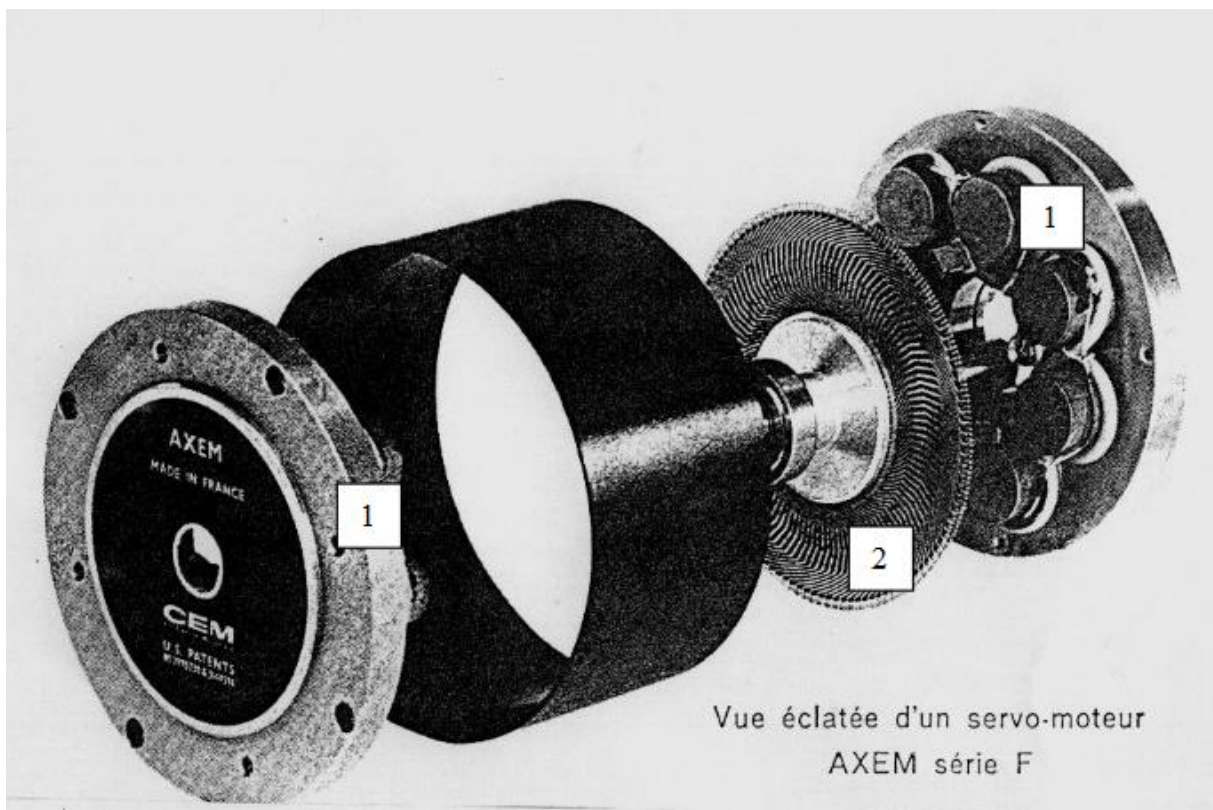


Figure 2.23 vue éclatée d'un servomoteur AXEM série F

Ces moteurs, excités au moyen d'aimants permanents (1), sont caractérisés par un rotor plat réalisé sous forme d'un circuit imprimé (2) représentant l'enroulement d'induit. On peut remarquer, en blanc autour des aimants, les enroulements de magnétisation permettant de les polariser une fois montés (Ne jamais ouvrir une machine de ce type, au risque de devoir recommencer cette opération nécessitant un fort courant!). Les balais frottent directement sur le disque. La gamme de puissance de ce type de machines s'étend de 10 à 5000 W environ pour des vitesses comprises entre 2000 et 6000 tr/min. Du fait de leur très faible inertie, ces moteurs s'utilisent pour des entraînements où une mise en vitesse très rapide est nécessaire. [26]

2.3.2.2 Machines asynchrones

Le terme de machine asynchrone "MAS" regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre mécanique est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. En fait, le fonctionnement moteur de cette machine correspond au cas où elle transformerait l'énergie électrique qu'elle absorbe en énergie mécanique rotationnelle. L'opération inverse correspond au fonctionnement générateur. Entre autres, nous pouvons distinguer deux principaux types de MAS: -Les machines à induction où une des armatures (le rotor en général) n'est pas alimentée. Les courants qui y circulent sont induits par l'autre armature. -Les machines à collecteur (à double alimentation) où l'armature tournante est reliée au réseau par un collecteur. Ceci permet d'apporter ou de prélever de la puissance du rotor sans imposer la fréquence des courants dans celui-ci. Bien que la MAS fut

Pendant très longtemps destinée principalement au fonctionnement moteur. Le développement de l'électronique de puissance a permis de montrer les performances très intéressantes de cette machine lorsqu'elle opère en génératrice. [27]

La MAS à induction, fait appel à un principe simple de champs tournant qui lui permet un fonctionnement sans contacts électriques glissants. Ceci conduit à une machine très robuste, à l'entretien aisé, qui convient aujourd'hui très bien dans les applications en vitesse variable. Dans ce programme, on se limite à étudier la machine à induction en fonctionnement moteur. Ce dernier est composé d'une partie fixe dite "stator" et une partie tournante dite "rotor".

L'enroulement rotorique est balayé par le champ tournant créé par l'enroulement triphasé du stator. Ils sont donc le siège d'une f.é.m. Induite laquelle donne naissance à des courants rotoriques induits dans la mesure où ces enroulements sont fermés sur eux-mêmes. D'après la loi de Lenz, ces courants s'opposent à la cause qui les a données naissance. En effet, plus le rotor accélère, plus sa vitesse relative par rapport au champ tournant devient réduite. S'ils tournent tous les deux à la même vitesse, il y a une immobilité relative de l'enroulement rotorique par rapport au champ, donc il n'y aura plus de courants induits, donc plus de couple d'entraînement. On aura donc toujours un écart entre la vitesse du champ tournant et celle du rotor. Cet écart rapporté à la vitesse synchrone est dit le glissement. [28]

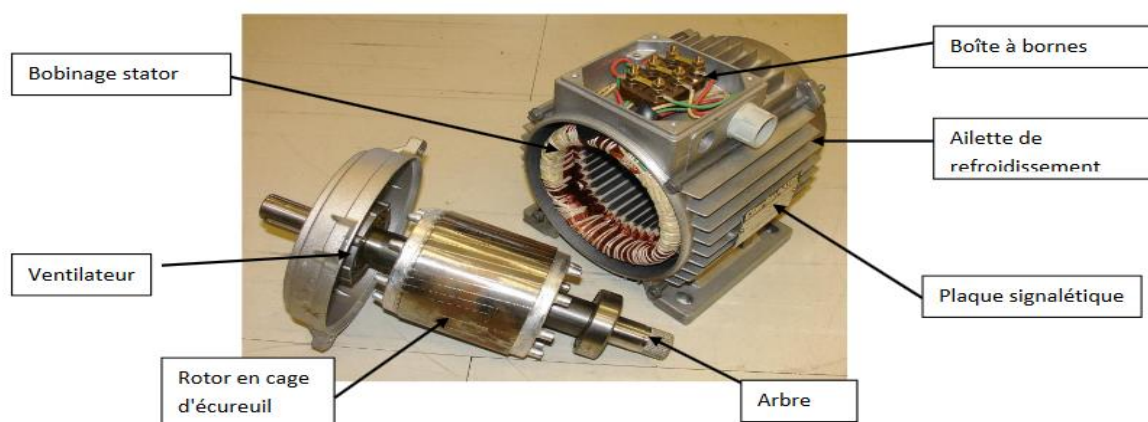


Figure 2.24 Les parties constituant le moteur Asynchrone

2.3.2.3 Machines synchrones

La machine synchrone est une machine réversible de conversion électromécanique. Elle est principalement utilisée dans le domaine de production d'énergie électrique à partir d'énergie mécanique où elle porte le nom d'alternateur lorsque sa vitesse est fixe (exemple de centrale thermique, hydraulique, nucléaire, etc.). Lorsque sa vitesse est variable (exemple de centrale éolienne), elle est dite génératrice synchrone. Elle est rarement utilisée dans le domaine de production d'énergie mécanique à partir d'énergie électrique où elle porte le nom de moteur synchrone car sa vitesse de rotation doit être proportionnelle à la fréquence d'alimentation. Mais avec le développement de l'électronique de puissance, elle vient à occuper de plus en plus une large place dans le domaine des entraînements réglés (exemple chaîne de traction des TGV en France). Notre étude de la MS est limitée aux cas des machines triphasées et une fréquence fixe des tensions et courants statoriques. [29]

- **Constitution**

Comme tout moteur, la machine synchrone est constituée d'une partie mobile: le rotor et d'une partie fixe : le stator.

Stator :

Le stator est habituellement l'induit (siège de la transformation de puissance). Le stator est constitué d'un bobinage triphasé généralement couplé en étoile, découpé en p paire de pôles. Les bobinages sont insérés dans des encoches au sein de culasse en ferrite.

Rotor :

De la même manière, l'inducteur est généralement le rotor. Suivant la technologie utilisée, le champ magnétique est créé par des bobinages ou des aimants permanents. (cf. diaporama durant le cours). Lorsque que l'inducteur est bobiné, il est nécessaire de conserver des balais afin de l'alimenter (mais cette fois sans commutation). seule la machine synchrone brushless (sans balai, donc à aimants permanents) est au programme. Cette structure réserve plusieurs avantages :

- Pas de pertes au rotor.
- Pas besoin de bobinage et de balais au rotor.
- Un rotor plus léger (car aimants plus légers que les bobinages) -> servomoteurs à faible inertie donc très réactifs.
- Pour les faibles dimensions, induction plus importante.

Autrefois, cette technologie ne permettait pas de réaliser des machines de très fortes dimensions (cout trop important) mais avec les progrès réalisés sur les aimants, on observe une montée en puissance de ces moteurs. Les aimants utilisés sont généralement soit des ferrites (faible induction mais bon marché) ou du Samarium cobalt (forte induction mais couteux). [28]

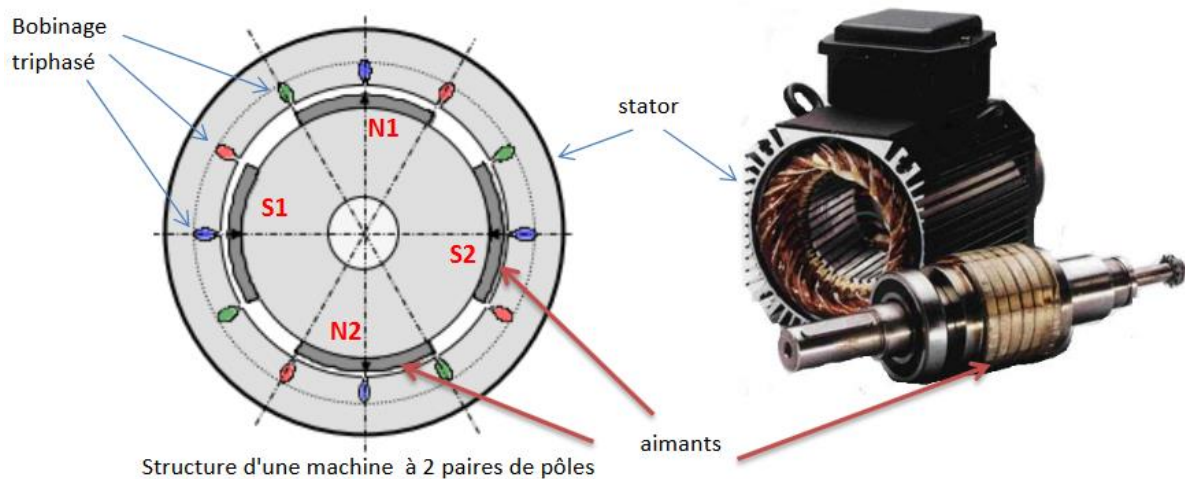
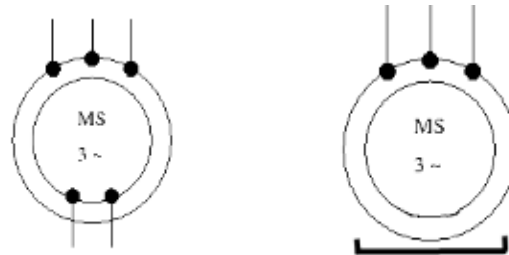


Figure 2.25 Les parties constituant le moteur synchrones

Symbole :



Caractéristique générale des machines synchrones :

Dans sa version à rotor bobiné, la machine synchrone triphasée est le convertisseur attiré pour la production d'électricité, ceci grâce à la possibilité de fournir de l'énergie réactive en modulant le courant d'excitation. Pour des puissances inférieure à environ 50 kW, les moteurs synchrones à aimants permanents présentes des avantages certains :

- Une inertie (ou poids) plus faible qu'avec un rotor bobiné. On a alors une puissance massique plus importante que les pour les autres moteurs électriques. Cela peut être intéressant lorsque le problème d'encombrement ou de poids est important (par exemple, la Toyota Prius est équipée d'un moteur synchrone à aimants permanents) ou lorsque l'on a besoin d'une dynamique importante (servomoteur en robotique)
- Un rendement amélioré grâce à l'absence de consommation dans le rotor
- Un entretien réduit dû à l'absence de balais.

Cependant, on observe quelques limitations :

- Cout plus élevé des aimants.
- Induction non réglable (difficulté de réglage à forte vitesse sans des pertes plus importantes)
- Risque de démagnétisation des aimants et tenue en température réduite.

La commande relativement complexe de ces moteurs qui était autrefois un frein, ne pose plus actuellement de problème grâce à l'augmentation des performances de l'électronique (de puissance et de contrôle). [28]

2.3.2.4 Réducteur

1- Définition

Le nom de réducteur est réservé à un mécanisme séparé s'intercalant entre un moteur et un récepteur. Lorsque le moteur est fixé sur le carter du réducteur, l'ensemble porte le nom de motoréducteur. . [30]

2- Fonction

Un réducteur sert à réduire la vitesse d'un moteur (hydraulique, pneumatique, thermique, électrique) avec transmission de la puissance motrice vers une machine réceptrice en absorbant le moins d'énergie. Il permet d'augmenter le couple moteur afin d'entraîner en rotation un organe récepteur sous l'effet d'un nouveau couple. [30]

Remarques

La fréquence de rotation du moteur électrique généralement utilisé est : $N_m = 1500 \text{ tr/min}$

La transmission de puissance se fait par engrenages

Les réducteurs réversibles peuvent être utilisés comme multiplicateur

3- Différents type des réducteurs :

- **Réducteur à un engrenage :**

Comprenant :

a) à roues cylindriques

b) à roues coniques

- **Réducteur à roue et vis sans fin**
- **Réducteur à train d'engrenages**

Comprenant :

a- les réducteurs à train simple

-> Trains à roues cylindriques

-> Trains à roues cylindriques et coniques

b- réducteur a train épicycloïdale. [30]

2.3.3 Le 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 : $C_r(t) \geq 0$		<u>Traction du véhicule en mode hybride :</u> Les deux moteurs participent à la propulsion du véhicule.
	Freinage du véhicule : $C_r(t) < 0$		<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.
	Traction du véhicule en mode hybride : 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.		

Tableau 2.2 Tableau d'explication de mode hybride

2.4 Refroidissement

2.4.1. Fonction du circuit de refroidissement

Le fonctionnement du moteur à combustion interne dégage de la chaleur.

Ceci est dû essentiellement à :

- La combustion des gaz dans le cylindre
- Aux frottements mécaniques des pièces

L'élévation de température du moteur a pour effet :

- De dilater les pièces
- De modifier les propriétés des matériaux
- D'altérer le lubrifiant
- De modifier les conditions de carburation [31]

Le circuit de refroidissement a généralement 3 fonctions :

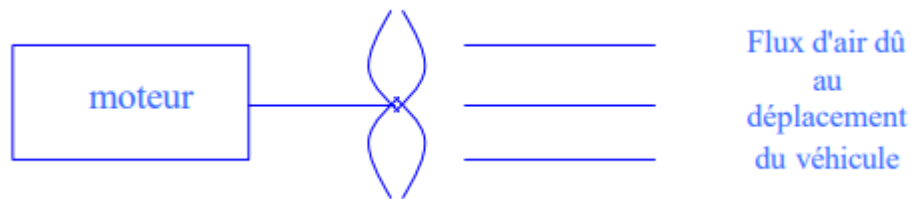
- Evacuer les calories
- Réguler la température de fonctionnement du moteur
- Assurer le chauffage de l'habitacle

Le circuit de refroidissement peut aussi être utilisé pour réchauffer le circuit de carburant.

2.4.2 Les différents circuits de refroidissement

Les moteurs sont en principe refroidis par air ou par liquide. La plupart des moteurs automobiles sont refroidis par liquide.

- **Le refroidissement par air**



Ce système nécessite des carénages, déflecteurs, volets, etc...

- **Le refroidissement par eau**

Un circuit de refroidissement liquide est plus compliqué, et donc plus onéreux qu'un circuit de refroidissement à air. Cependant, un circuit de refroidissement liquide présente de nombreux avantages. Un moteur ainsi refroidi est plus silencieux, car les chambres de combustion sont entourées par le liquide de refroidissement (eau plus divers additifs, par exemple antigel) qui fait office d'écran antibruit. [31]

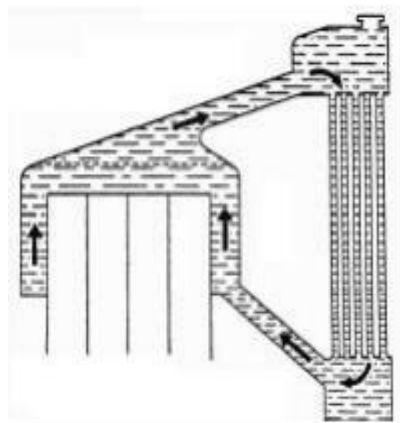


Figure 2.26 Le refroidissement par eau

- **Par thermosiphon**

L'eau s'échauffe au contact des cylindres puis circule vers le réservoir supérieur du radiateur. Cette eau chaude est remplacée par de l'eau froide de la partie inférieure du radiateur. Ce système n'existe plus seul mais se retrouve dans tous les circuits de refroidissement actuels. [31]

- Par thermosiphon accéléré par pompe

La pompe à eau peut être fixée sur la culasse ou le bloc moteur. Elle est située généralement à la sortie de l'eau froide

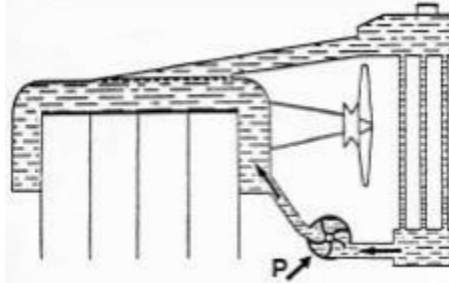


Figure 2.27 Le refroidissement Par thermosiphon accéléré par pompe

Les différents éléments

Un circuit de refroidissement liquide se compose de :

- passages d'eau, circuit bloc moteur et culasse
- une pompe à eau
- un thermostat (ou calorstat)
- le vase d'expansion et sa soupape de sécurité
- un radiateur de refroidissement
- un radiateur de chauffage
- un ventilateur de refroidissement
- durites en caoutchouc.

• le thermostat ou calorstat

Le rôle du thermostat est de permettre au liquide de refroidissement d'atteindre rapidement la température idéale pour le bon fonctionnement du moteur et de s'y maintenir. Le thermostat à cire utilise les propriétés de dilatation d'une matière composée de cire, de pétrole et de poudre de cuivre. Ces matériaux ont une bonne conductibilité thermique. Cette matière, enfermée dans une capsule augmente de volume en devenant pâteuse quand la température augmente. Elle se contracte en se solidifiant. [31]

• le radiateur de refroidissement

Le radiateur refroidit le liquide de refroidissement qui a été chauffé dans les passages d'eau du bloc moteur. Le radiateur se compose d'une boîte à eau supérieure, d'une boîte à eau inférieure, et entre ces deux boîtes à eau, d'un faisceau de tubes. Le liquide de refroidissement arrive dans la boîte à eau supérieure par la durite supérieure, cette boîte à eau supérieure comporte également un bouchon qui permet de faire l'appoint du liquide de refroidissement. Cette boîte à eau est également reliée, par une tuyauterie souple, à un vase d'expansion où le liquide de refroidissement en excédent est récupéré. La boîte à eau inférieure comporte une sortie et un bouchon de vidange. [31]

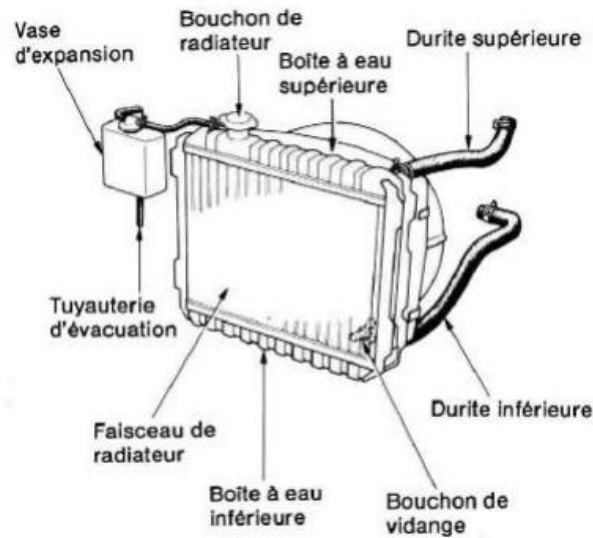
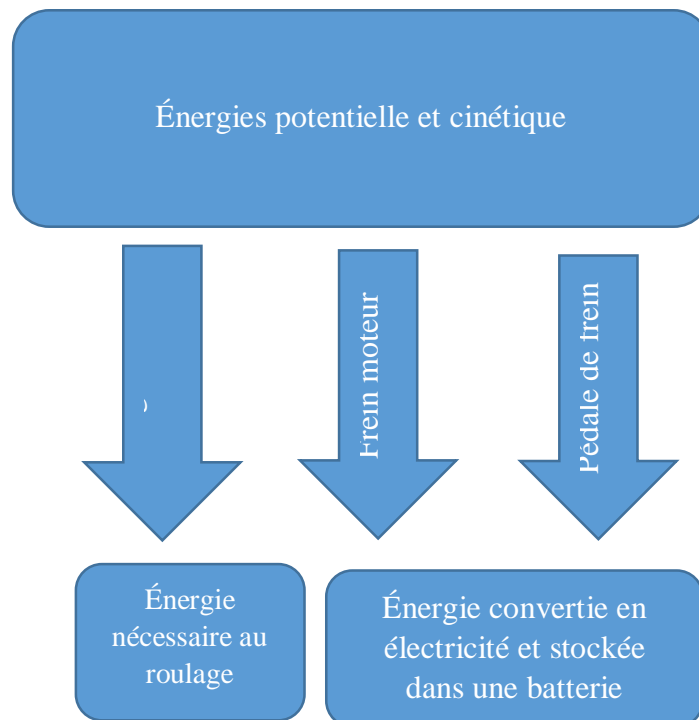


Figure 2.28 le radiateur de refroidissement

2.5 Rendement de moteur :

Le rendement énergétique d'un moteur est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie mécanique produite



Récupération des énergies potentielle et cinétique

(Véhicule électrique)

• Moteurs thermiques

Le rendement des moteurs thermiques dépend du type de moteurs, essence ou Diesel 3. Il reste faible.

Dans le meilleur des cas, 60 % du carburant va être perdu (principalement sous forme de chaleur). À faible charge, la perte peut avoisiner les 80 %... Le moteur n'est cependant utilisé à forte charge que lors des accélérations, permettant ainsi un agrément de conduite. Le plus souvent, le moteur est à faible charge avec un rendement médiocre. [32]

• Moteurs électriques

Le rendement des moteurs électriques synchrones est supérieur à 90 % sur plus de la moitié de leurs plages de régime 4. Le rendement global doit prendre en compte le rendement des organes composant la chaîne de traction, à savoir : le moteur, le convertisseur et la batterie. Chacun de ces organes a un rendement supérieur ou égal à 90 % : $\eta_{global} = \eta_{moteur} \times \eta_{convertisseur} \times \eta_{batterie}$

$$= 0,9 \times 0,9 \times 0,9 = 0,73$$

Rendement énergétique global = (énergie restituée / énergie absorbée) × 100

Soit un rendement global de plus de 73 %. [32]

Phase de fonctionnement	Comportement énergétique	
	avec moteur thermique	avec moteur électrique
Accélération	Le moteur fournit l'énergie mécanique qui est nécessaire au stockage de l'énergie cinétique et qui permet de vaincre les résistances à l'avancement	Idem au thermique
Vitesse stabilisée (déclivité nulle)	Le moteur fournit l'énergie mécanique nécessaire afin de vaincre les résistances à l'avancement	Idem au thermique
Légère déclivité (puissance nulle)	Le moteur tourne à couple nul et consomme environ 5 % de la consommation à puissance nominale	Le moteur électrique à puissance nulle ne consomme rien
Grande déclivité (frein moteur)	Le moteur n'est plus alimenté en carburant et offre un couple résistif qui transforme l'énergie potentielle en chaleur	Le moteur devient générateur, transforme l'énergie potentielle en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de maintenir la vitesse
Décélération (frein moteur)	Le moteur n'est plus alimenté en carburant et offre un couple résistif qui transforme l'énergie cinétique en chaleur	Le moteur devient générateur, transforme l'énergie cinétique en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de diminuer la vitesse
Freinage	L'énergie cinétique est transformée en chaleur par le système de freinage	La majeure partie de l'énergie cinétique est transformée en électricité, le reste est dissipé par les disques de frein. L'ensemble est piloté par un calculateur électronique
Arrêts momentanés (feux rouges...)	Le moteur tourne au ralenti et consomme environ 5 % de la consommation à puissance nominale	Le moteur électrique à l'arrêt ne consomme rien

■ Favorable ■ Perte d'énergie

Tableau 4.1 Tableau comparatif des pertes d'énergie (Sans prise en compte du rendement moteur)

2.6 Généralité sur les system photovoltaïque

2.6.1 Introduction

Dans cette partie on va discuter les différentes caractéristiques d'un système photovoltaïque et leur contribution dans les voitures hybride, vu le manque des données dans cette période on a pu pas avoir l'accès au plusieurs sources pour avoir les meilleures informations sur l'intégration des systèmes photovoltaïque dans la véhicule hybride.

D'autre part la cellule photovoltaïque ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs modules, ces derniers étant constitués de plusieurs cellules en série afin d'obtenir une tension souhaitée. [33]

2.6.2 Synthèse des architectures de systèmes photovoltaïques :

Un système photovoltaïque (PV) autonome est composé dans son ensemble d'un:

- générateur photovoltaïque (panneaux photovoltaïques)
- moyen de stockage : électrochimique (batteries) ou électrique (super capacités),
- convertisseur continu/continu (CC) permettant d'alimenter le bus continu et de poursuivre le point de puissance maximum,
- transformateur permettant d'élever la tension pour la conversion continu/ alternative, - convertisseur CC/CA permettant d'alimenter les charge s alternatives,
- module de contrôle pour la charge des batteries et l' acquisition des différentes grandeurs physiques du système. [33]

Dans les panneaux solaires, l'effet photovoltaïque consiste à transformer la lumière (issue des rayons solaires) en énergie électrique. Ce principe a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre Becquerel. Scientifiquement parlant ce phénomène a lieu lorsqu'un matériau semi-conducteur absorbe des photons, émis par la lumière, qui lui permettent de produire une tension électrique. Un panneau solaire est composé de plusieurs cellules photovoltaïques reliées entre elle en série ou en parallèle. [34]

2.6.3 Méthode de dimensionnement des panneaux :

La principale difficulté dans le dimensionnement d'un système à panneaux photovoltaïques réside dans l'évaluation de l'énergie réellement consommée par l'équipement d'usage.

Celle-ci dépend de l'utilisation qui va en être faite et n'est donc pas toujours facile à déterminer. Cette étape est importante car c'est le point de départ d'une étude de dimensionnement. Le dimensionnement d'un système photovoltaïque se fait en suivant une démarche par étapes que l'on peut résumer comme suit : [34]

- 1- Calcul de l'énergie consommée par jour (E_c) : Il s'agit de déterminer la quantité d'énergie consommée par l'équipement d'usage au cours d'une journée. Pour cela, deux paramètres sont importants, le nombre d'heures d'utilisation de l'équipement dans une journée et la puissance de fonctionnement de celui-ci en Watts (W). La formule reliant ces trois paramètres est donnée par: $E_c = NH_j \times P_f$ [34]

Avec :

- E_c : Énergie consommée par jour en Wh/j,
- NH_j : Nombre d'heures d'utilisation par jour,
- P_f : Puissance de fonctionnement du récepteur en W.

A titre d'exemple, l'énergie consommée par six lampes (12 V) de 12 Watts qui fonctionnent 7 heures par jour : $7 \times (6 \times 12) = 504$ Wh/j

- 2- Calcul de l'énergie à produire (E_p) :

Une fois que l'énergie à consommer est connue, il faut déterminer la quantité d'énergie que les modules photovoltaïques devront produire. De manière générale, l'énergie à produire doit être supérieure à l'énergie à consommer car il y a des pertes dues au rendement des différents équipements (modules, batteries, régulateur, onduleur). Ces pertes sont dues aussi à l'incertitude météorologique, à l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison et aux déperditions dans les câbles. Ces pertes sont intégrées dans le calcul grâce à un coefficient correcteur noté k . Pour le dimensionnement des modules photovoltaïques, le coefficient correcteur utilisé est $k=1,3$. Ce chiffre est particulièrement élevé car il prend aussi en compte la charge des batteries si l'appareil fonctionne toute la journée. Enfin, cette majoration garantit une certaine marge de sécurité. L'énergie à produire est exprimée donc par :

$$E_p = E_c \times k$$

Par exemple, l'énergie à produire pour les six lampes considérées dans l'exemple précédent est : $504 \times 1,65 = 832$ Wh/j. [34]

- 3- Calcul de la puissance crête (P_c) des modules à installer : C'est l'unité de référence qui permet de comparer les performances des cellules ou des modules. La puissance crête est la puissance maximale délivrée dans les conditions suivantes :

- a) Un ensoleillement permettant d'avoir $1000\text{W}/\text{m}^2$,
- b) Une température ambiante de $\approx 25^\circ\text{C}$,
- c) L'épaisseur de l'atmosphère doit être égale à 1,5.

La puissance crête des modules à installer pour un fonctionnement optimal dépend de l'énergie à produire mais aussi de l'ensoleillement moyen sur le site. Pour une ville comme Belfort (située à l'Est de la France), le nombre moyen d'heures de soleil par jour est de 5h/j. Formellement, cette puissance de crête est donnée par :

$$P_c = E_p / \text{Ensoleillement} \quad [34]$$

2.7 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre nous avons traité principalement le dimensionnement des dispositifs de stockage de l'énergie électrique (les batteries), la modélisation du véhicule d'un point de vue énergétique, de plus, nous avons abordé les différents types du mode d'hybridation et de moteurs utilisés dans les véhicules.

D'autre part nous avons abordé les principaux modes de fonctionnement d'un véhicule hybride pour mieux choisir le mode d'un point de vue puissance et efficacité.

Après nous avons vu que le refroidissement est une notion très importante dans le calcul du rendement finale de notre voiture.

Finalement nous avons effectué une estimation des panneaux solaires et de leurs puissances, dans cette partie conclue que l'utilisation des panneaux dans une voiture hybride n'est absolument pas pratique vu la puissance demandée des moteurs pour faire fonctionner notre véhicule.

Pour cela notre simulation est orientée vers le fonctionnement d'un véhicule hybride (électrique_ thermique).

L'objectif principal sera un véhicule fonctionnel dans une simulation en MATLAB.

Chapitre 3 Simulations et interprétation des résultats

Chapitre 3 Simulations et interprétation des résultats

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation d'une voiture hybride (électrique_ thermique),

Dans la simulation nous avons visé le fonctionnement en série pour avoir le meilleur rendement et optimiser les pertes au niveau du moteur thermique.

Les deux moteurs utilisés (électrique et thermique) sont choisis d'une façon à avoir un équilibre énergétique. Dans le cas du fonctionnement en série, le moteur thermique fonctionne comme un générateur qui alimente les batteries. Ce moteur est donc dans son fonctionnement nominal pour diminuer les pertes et les émissions de CO₂.

Dans l'autre cote, nous avons utilisé le moteur électrique comme moteur principal, ce dernier fait fonctionner la voiture, le principe de fonctionnement de ce moteur est de faire tourner l'arbre de traction qui tourne les roues, plus que ça nous avons ajouter une génératrice qui va elle-même aidée le moteur électrique a alimenté les batteries dans la phase de freinage, et dans la phase de roulement libre de la voiture.

3.2 Outils de simulation (MATLAB/ SIMULINK)

3.2.1 Introduction à MATLAB

- C'est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple
- Peut être considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques, grâce à ses fonctions spécialisées
- C'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, 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". Enfin, et ce n'est pas le moins important, 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 cette partie du chapitre nous avons précisé pour chaque partie de la simulation les composants utilisés ainsi que la mise ne relation entre eux.

Comme c'est déjà motionné dans l'introduction la configuration en série est utilisée.

Le système hybride en série permet au moteur électrique de diriger seul la rotation des roues en utilisant la puissance générée par le moteur thermique. Un Hybride série, est composé d'un moteur électrique, d'un moteur thermique, d'un générateur, d'une batterie et d'un inverseur. Lors des faibles vitesses, le moteur thermique est utilisé par intermittence pour alimenter soit le moteur électrique, soit pour recharger la batterie. Le tout électrique, est utilisé en ville, sur route le moteur thermique assure la recharge de la batterie ainsi que l'alimentation du moteur électrique. Le nom série vient du fait que le moteur thermique, est directement lié en série au moteur électrique.

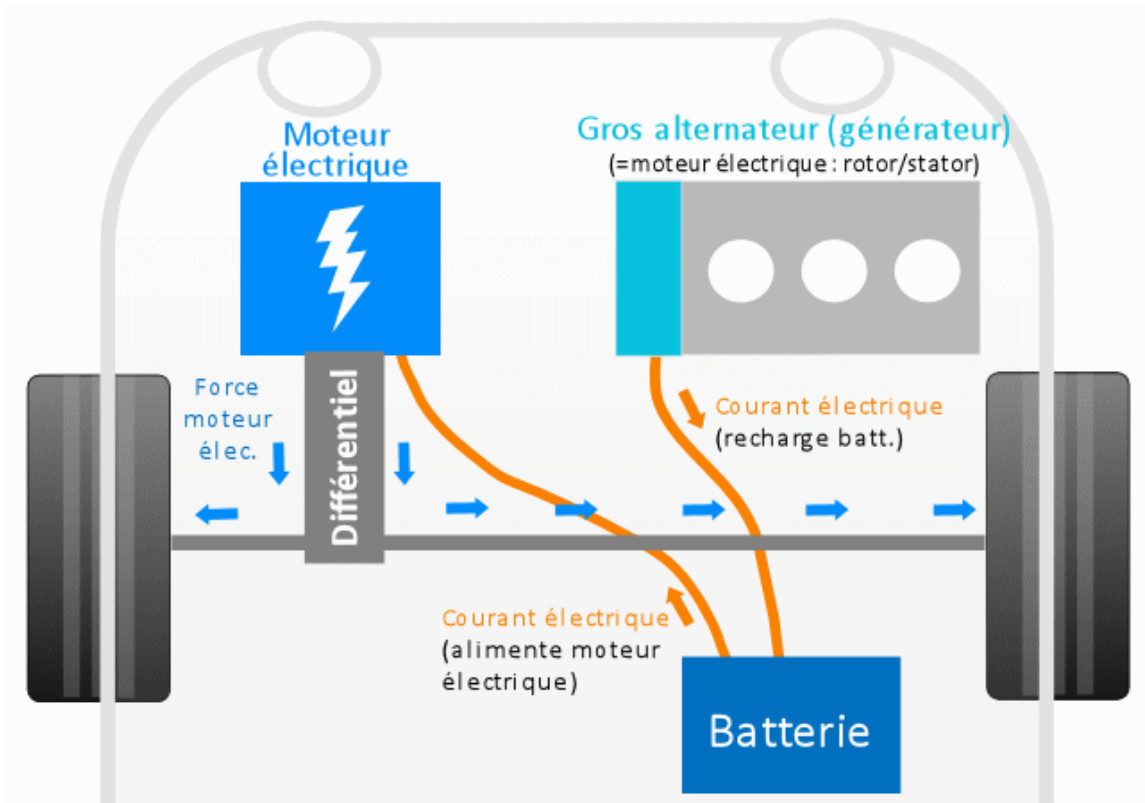


Figure 3.1 Circuit du système hybride série

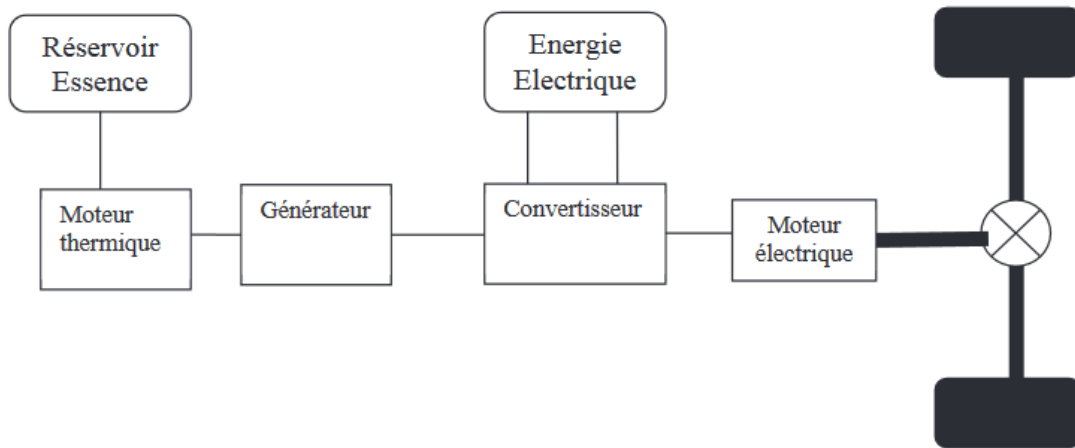


Figure 3.2 Circuit du système hybride série

Comme le schéma de fonctionnement en série indique le fonctionnement série fait la liaison entre les différentes composant de la chaine de traction qui sont les suivants :

Moteur thermique :

Nous avons choisi un moteur thermique à combustion interne, ce moteur est de type diesel pour simuler le moteur thermique qui utilise le biocarburant comme une source d'énergie.

La différence entre ces deux moteurs c'est premièrement le carburant utilisé.

Dans notre cas, le Simulink ne permet pas de choisir le type de carburant utilisé dans le moteur, mais **nous avons** pu régler ce problème en considérant que le carburant utilisé dans ce moteur est le biocarburant, dans cette partie de simulation le rôle du moteur thermique est d'alimenter les batteries en tournant sur son régime permanent, en utilisant cette méthode on va assurer que l'émission de CO₂ va être fixe et dans son plus bas niveau possible, vu que la vitesse du moteur thermique sera fixe au cours de la simulation.

D'après les recherches **que nous avons** déjà fait dans les chapitres précédents **nous avons** choisi la vitesse de rotor du moteur thermique $V = 2000$ tr/min pour la meilleure efficacité énergétique de moteur thermique.

Donc pour cela notre moteur va être considéré sous ces conditions comme moteur thermique à faible émission de CO₂.

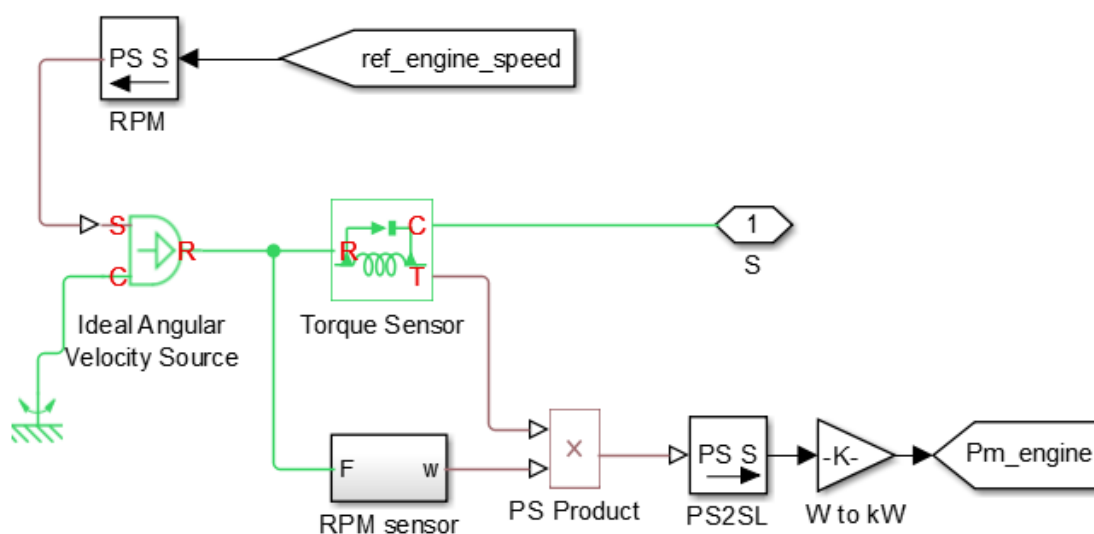


Figure 3.3 Schéma de simulation du moteur thermique

On observant le schéma de la figure 3.3, dans le moteur thermique on a concentré sur une entrée et une sortie, on fixe comme entrée du moteur la vitesse de rotation du moteur qui est $V = 2000$ tr/min et on récupère la puissance du moteur à la sortie du bloc de simulation pour pouvoir utiliser cette puissance dans l'interprétation des résultats.

Dans ce moteur, on a aussi introduit un détecteur de vitesse de rotation, la vitesse demandée pour charger les batteries est détectée à l'aide d'un (Rotational Motion Sensor R).

Dans le cas où les batteries ont besoin d'un plus d'énergie, le moteur va détecter la demande et fournir plus de puissance pour assurer le bon fonctionnement de circuit de recharge. Ceci est un cas particulier il est seulement fonctionnel dans la surcharge de demande de la puissance au niveau du véhicule.

Moteur électrique et génératrice

Dans la simulation nous avons monté le moteur et la génératrice en parallèle, qui sont tous les deux en série avec le moteur thermique, cette architecture permet au moteur électrique de tourner l'arbre en utilisant l'énergie fournie par les batteries qui est liée aussi en série avec les deux moteurs. Comme la figure suivante indique.

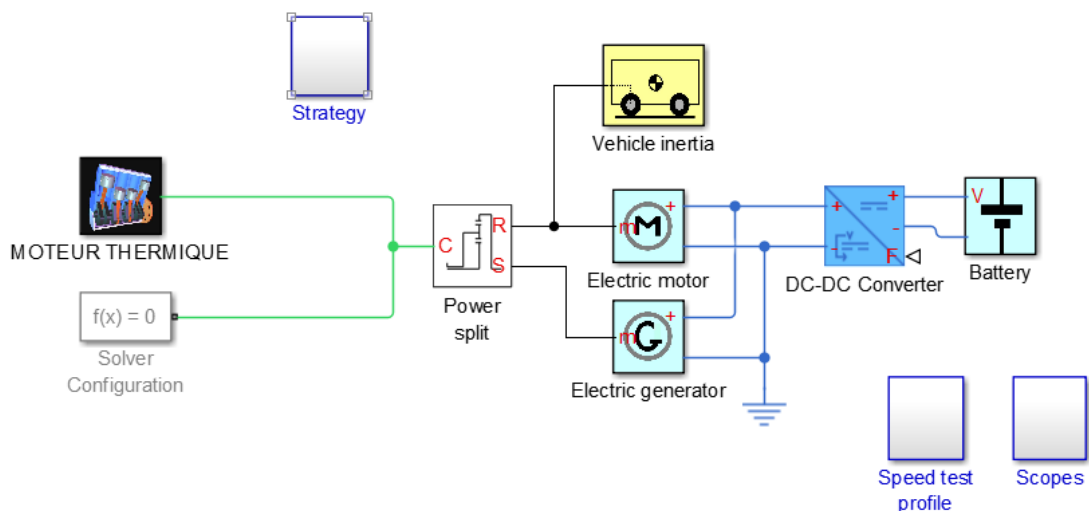
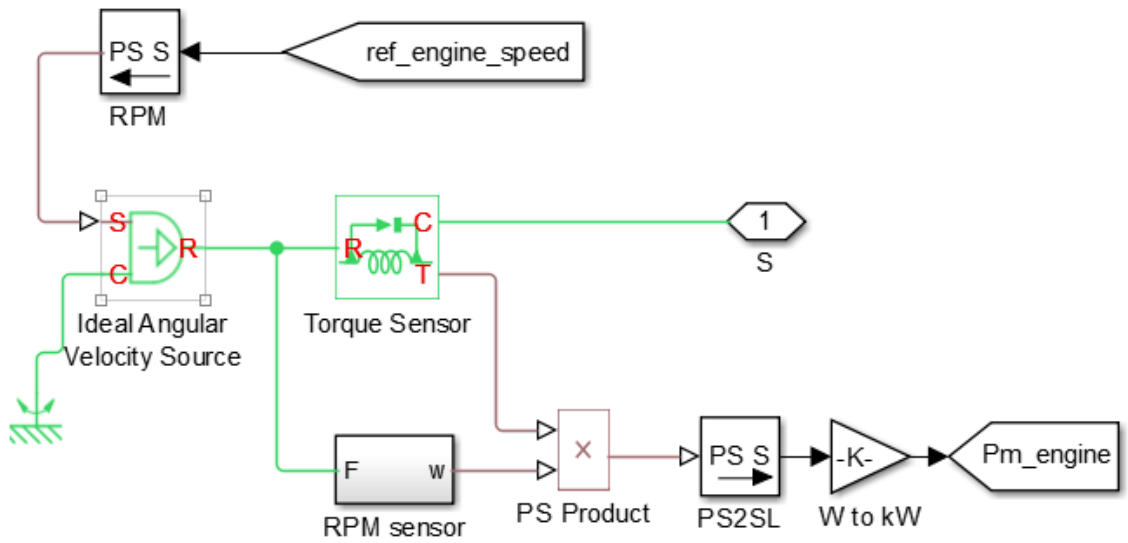


Figure 3.4 Schéma de simulation du véhicule

La génératrice fournit de l'électricité à la batterie via un convertisseur DC_DC,

Ces batteries stockent cette énergie pour assurer l'opération inverse qui est l'alimentation du moteur électrique, cette opération est effectuée à l'aide d'un servomoteur ; qui est lié à tous les dispositifs de l'architecture (moteur électrique, batterie, générateur et les composants mécaniques via des détecteurs).

Les architectures des composants sont liées de la façon suivante :



Le moteur est supposé fonctionner en mode à vitesse fixe, et il peut donc être représenté comme une source de vitesse angulaire constante. Le couple fourni par le moteur dépend du système de contrôle du couple du générateur

Figure 3.5 Schéma de simulation du moteur thermique

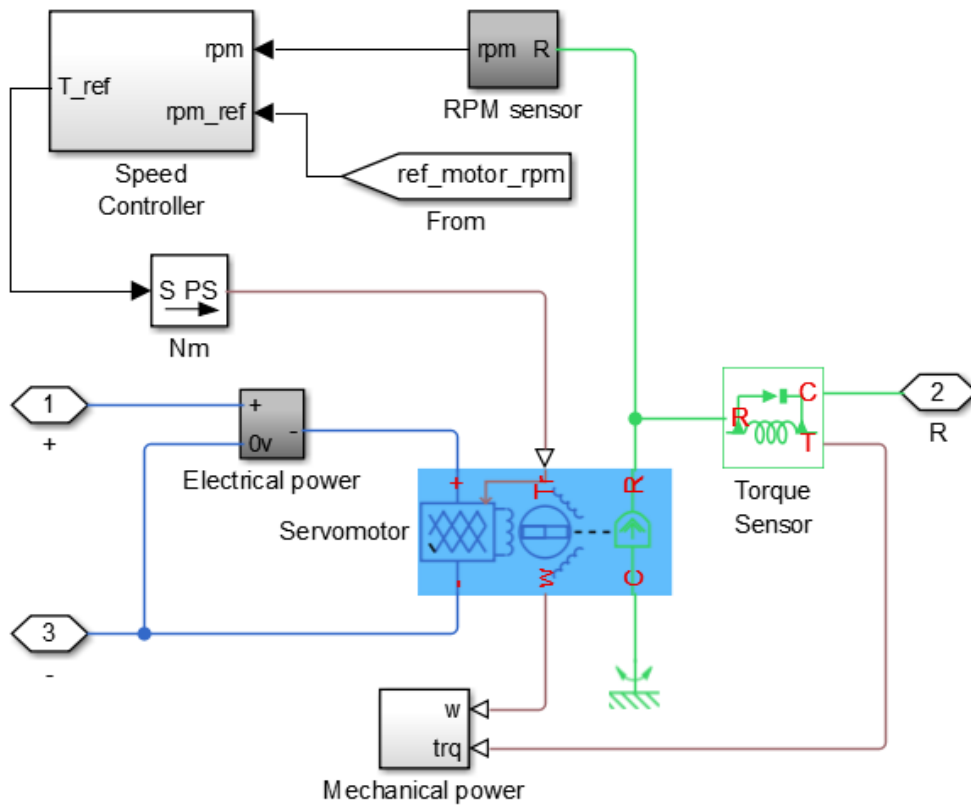


Figure 3.6 Schéma de simulation du moteur électrique

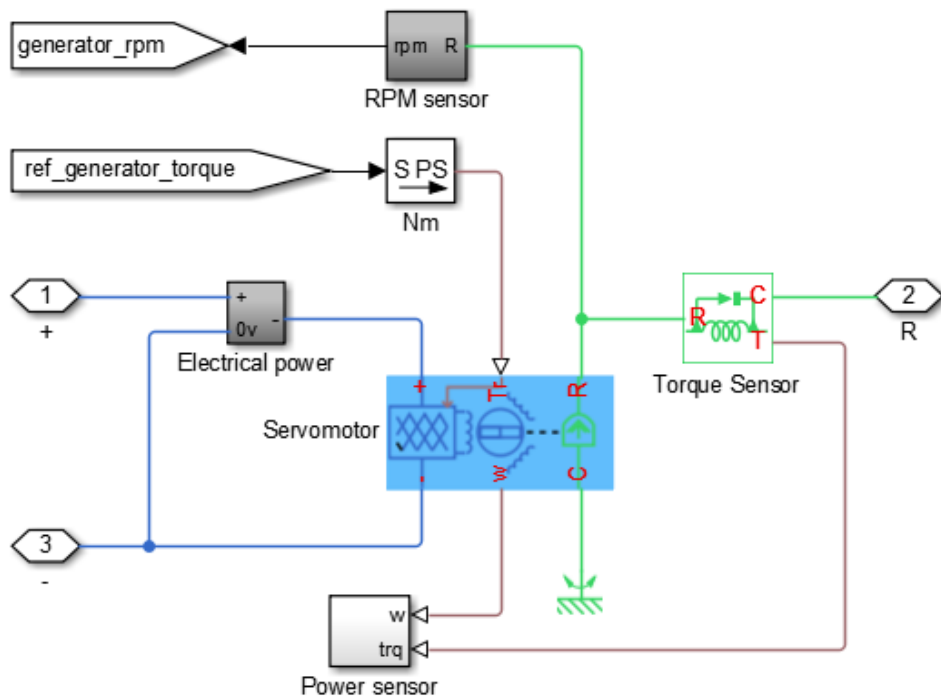


Figure 3.7 Schéma de simulation de la génératrice

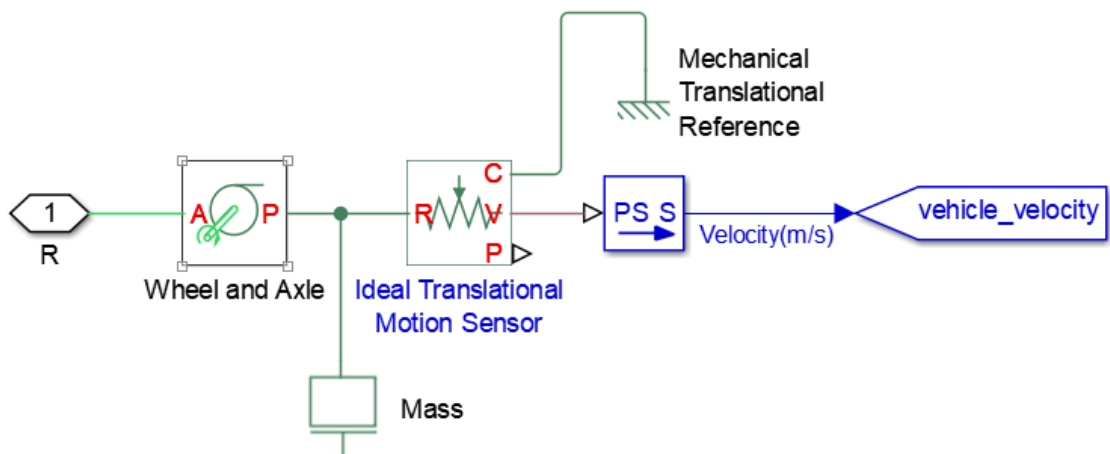


Figure 3.8 Schéma de simulation interne de véhicule (partie mécanique)

Dans notre cas on va fixer la masse dc voiture a $M=1200$ Kg.

3.4 Scénarios :

On s'attend à ce que les véhicules hybrides aient une consommation de carburant inférieure à celle de leur homologue conventionnel tout en conservant les mêmes performances. La principale différence concerne la gestion de deux sources d'énergie : si les stratégies de commande doivent aller dans le sens de la réduction de la consommation moyenne de carburant, il est nécessaire d'y intégrer la gestion de la deuxième source d'énergie.

L'autonomie du véhicule en mode électrique est très souvent petite devant celle en mode thermique. Dans ce cas, la gestion de la batterie peut revenir, par exemple, à maintenir l'état de charge dans des limites acceptables, i.e., l'état de charge doit rester assez bas pour pouvoir profiter du freinage récupératif sans surcharger la batterie et suffisamment haut pour assurer, à tout moment, une autonomie minimale en mode électrique pur.

On va étudier 3 scénarios :

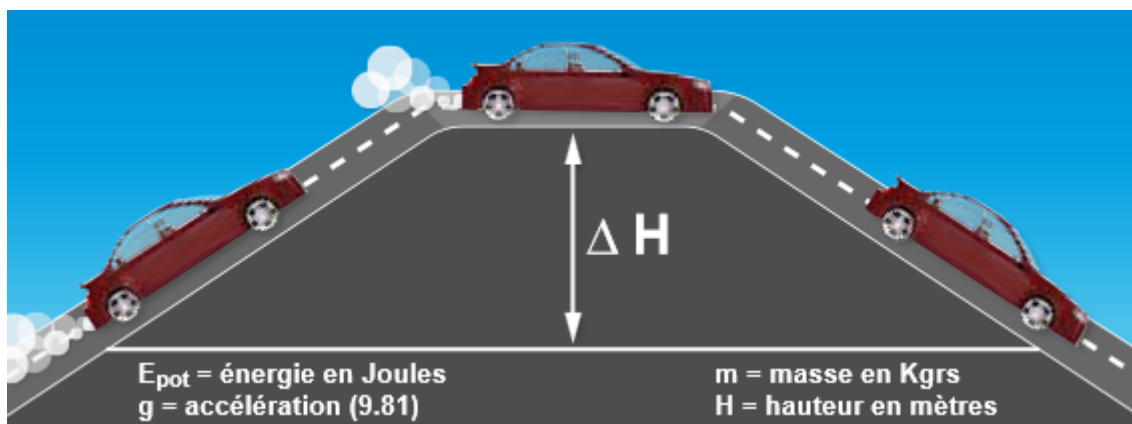


Figure 3.9 les trois cas d'étude

Scénario 1 : le véhicule durant l'ascension

Scénario 2 : le véhicule dans une route plate

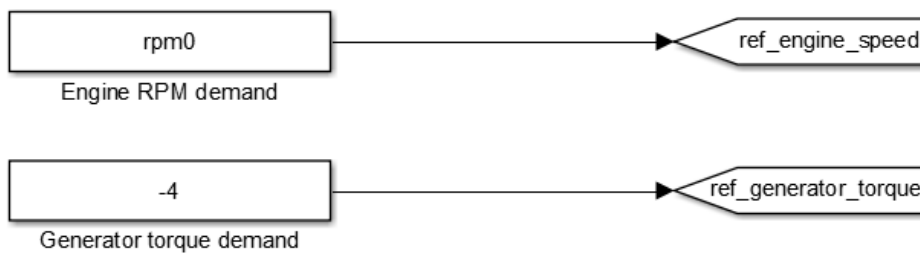
Scénario 3 : le véhicule durant la descente

La simulation prend une durée de 20 second, dans cette simulation on va se concentré sur les paramètres suivante :

Paramètres d'entrer :

RPM0 (moteur thermique) : la vitesse de rotation demandé par le moteur thermique. On a fixé ce paramètre comme constant à 2000 tr/min. la vitesse de rotation en régime permanent du moteur thermique pour alimenter les batteries.

Le seul cas ou ce constant change en variable c'est le couple résistance augmente énormément (cas ou le moteur électrique demande plus de puissance et la batterie ne peut fournie cette puissance).



La demande de couple du générateur a été fixée de telle sorte que lorsque le véhicule est en voyageant par contre, la batterie reçoit une petite charge actuel. La demande de régime moteur est de set à 2000 tr/min pour un bon rendement..

Figure 3.10 Schéma de simulation des variable Cr et RPM0

Couple résistant : on règle ce paramètre pour contrôle l'état du véhicule. Cela est définie en fonction de scénario étudié.

Pour la facilité d'étude on déclarer le couple comme un variable indépendant (sans unité). Ce variable va prendre les valeurs suivantes ;

Scénario 1 : le véhicule durant l'ascension $Cr = -4$

Scénario 2 : le véhicule dans une route plate $Cr = 0$

Scénario 3 : le véhicule durant la descente $Cr = 4$

Accélération de la voiture : durant la simulation et pendant les trois scénarios on va choisir 4 points de transaction de la voiture

0s-2s démarrage normale

2s-7s accélération de la voiture

7s arrête d'accélération

7s-12s fonctionnement régulier

12s-17s décélération de la vitesse

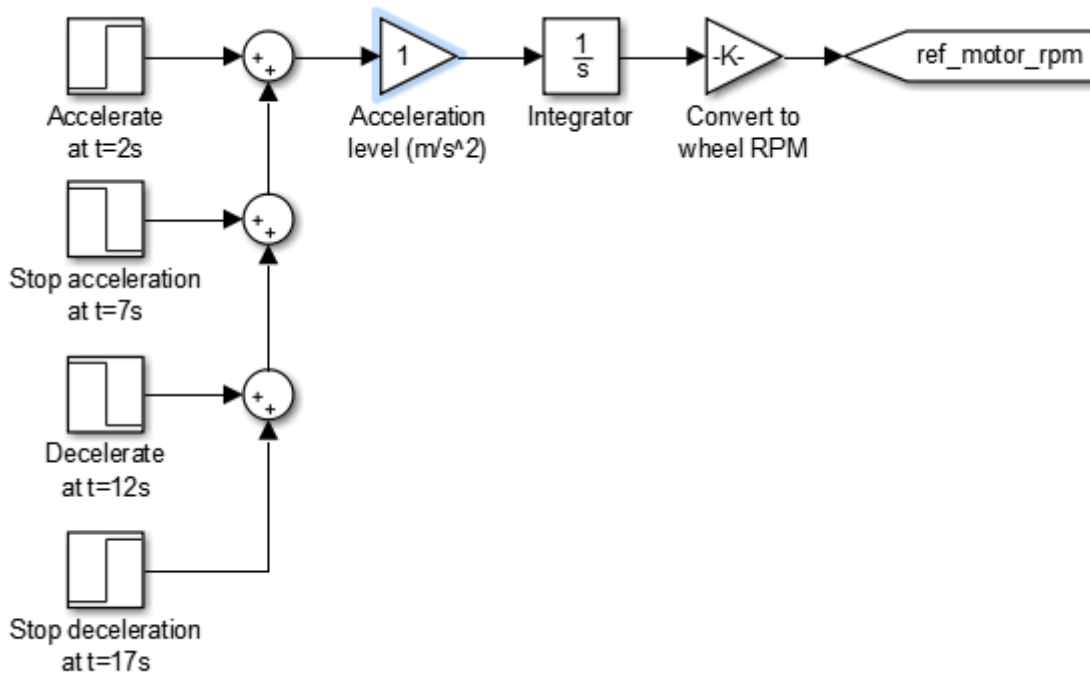


Figure 3.11 Schéma de simulation de variateur d'accélération

Paramètre de sorties :

Dans l'autre côté et comme résultats on va concentrer sur :

La puissance : moteur électrique, moteur thermique, batterie, génératrice.

Vitesse de rotation : moteur électrique, génératrice, moteur thermique.

Les pertes électriques totales de véhicule

La vitesse de voiture

3.5 Interprétation Résultat de simulation :

1. Scénario 1 : le véhicule durant l'ascension

Durant cette phase le couple résistant est important vu que la voiture se déplace contre la force de gravitation. Ce si veut dire que le moteur électrique est obligé de fournir une énergie supérieur au énergie potentiel pour faire avancer la voiture.

Données d'entrer :

Couple résistive $C_r = -4$

RPM0 (moteur thermique) = 2000 tr/min

$V_0 = 0$ m/s

Accélération de la voiture :

0s-2s démarrage normale

2s-7s accélération de la voiture

7s arrête d'accélération

7s-12s fonctionnement régulier

12s-17s décélération de la vitesse

On va séparer notre interprétation selon 4 phases :

Phase 1 de démarrage [0s-2s]

Phase 2 d'accélération [2s-7s]

Phase 3 de fonctionnement stable [7s-12s]

Phase 4 de décélération [12s-17s]

Résultats de sortie :

Puissance :

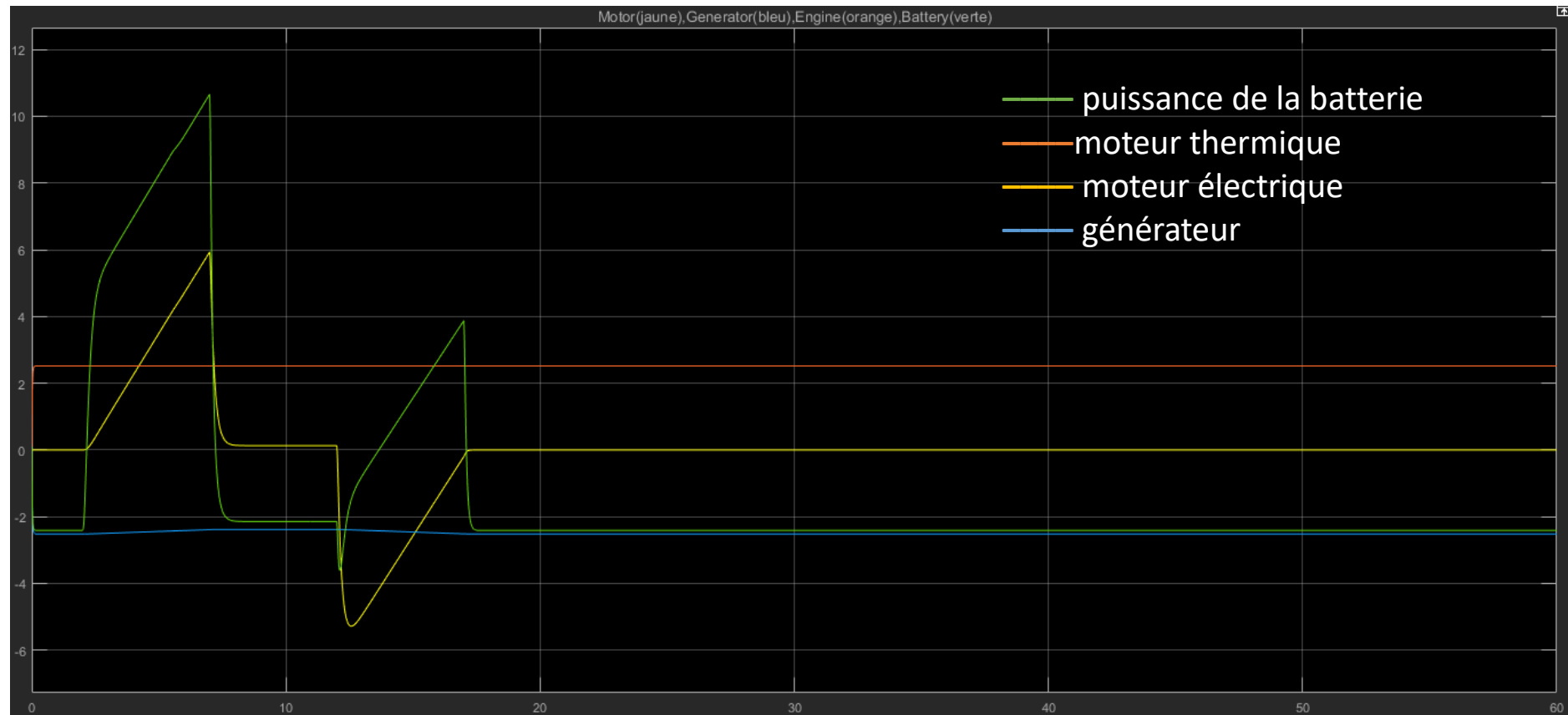


Figure 3.9 Graphe de puissance de voiture hybride scénario

Code couleur :

Vert : puissance de la batterie

Orange : moteur thermique

Jaune : moteur électrique

Bleu : générateur

Ce graphe représente la variation de puissance dans (le moteur électrique, moteur thermique, batterie, générateur).

Pertes totale : (KW/s)

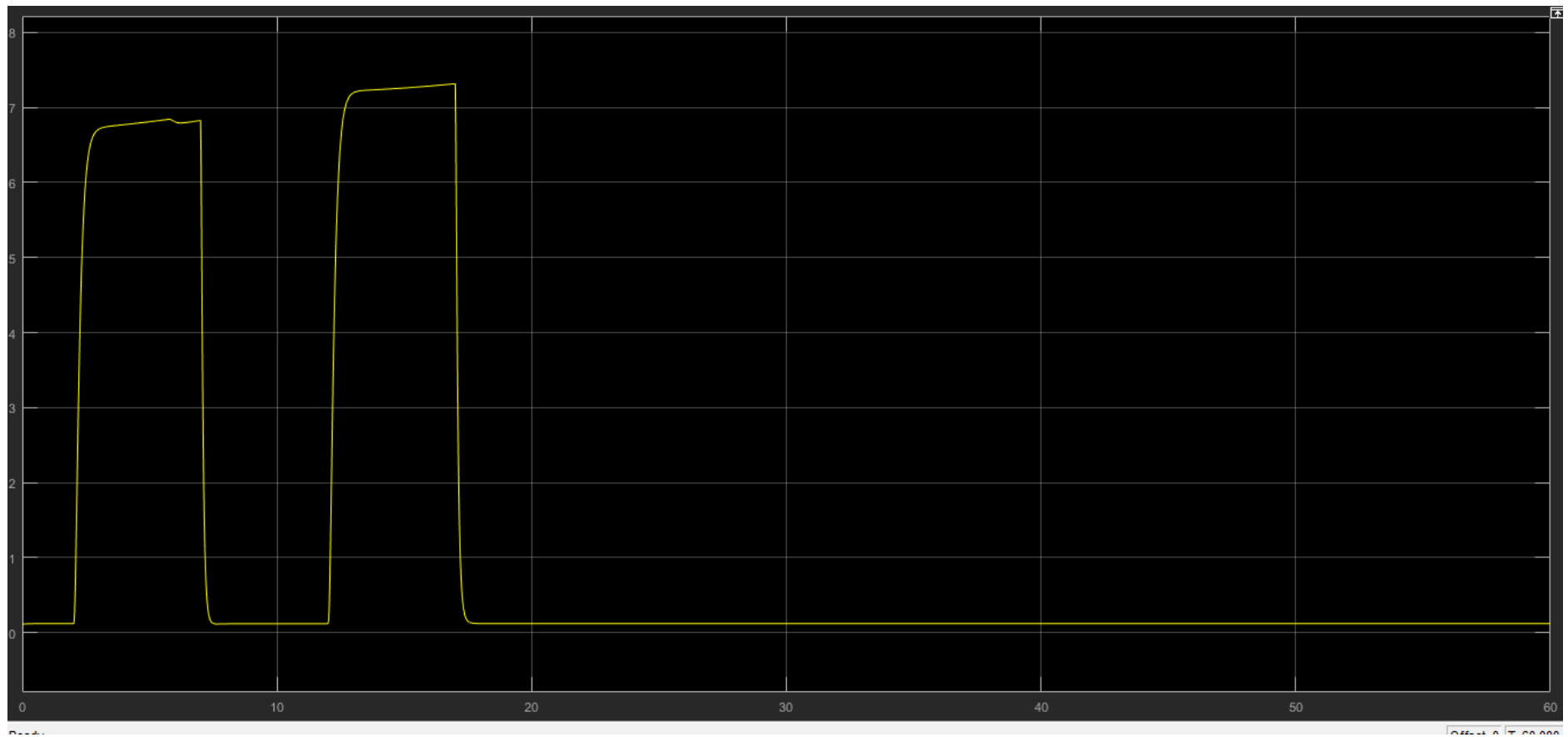


Figure 3.10 Graphe des pertes totale scénario 1

Vitesse de voiture (m/s) :

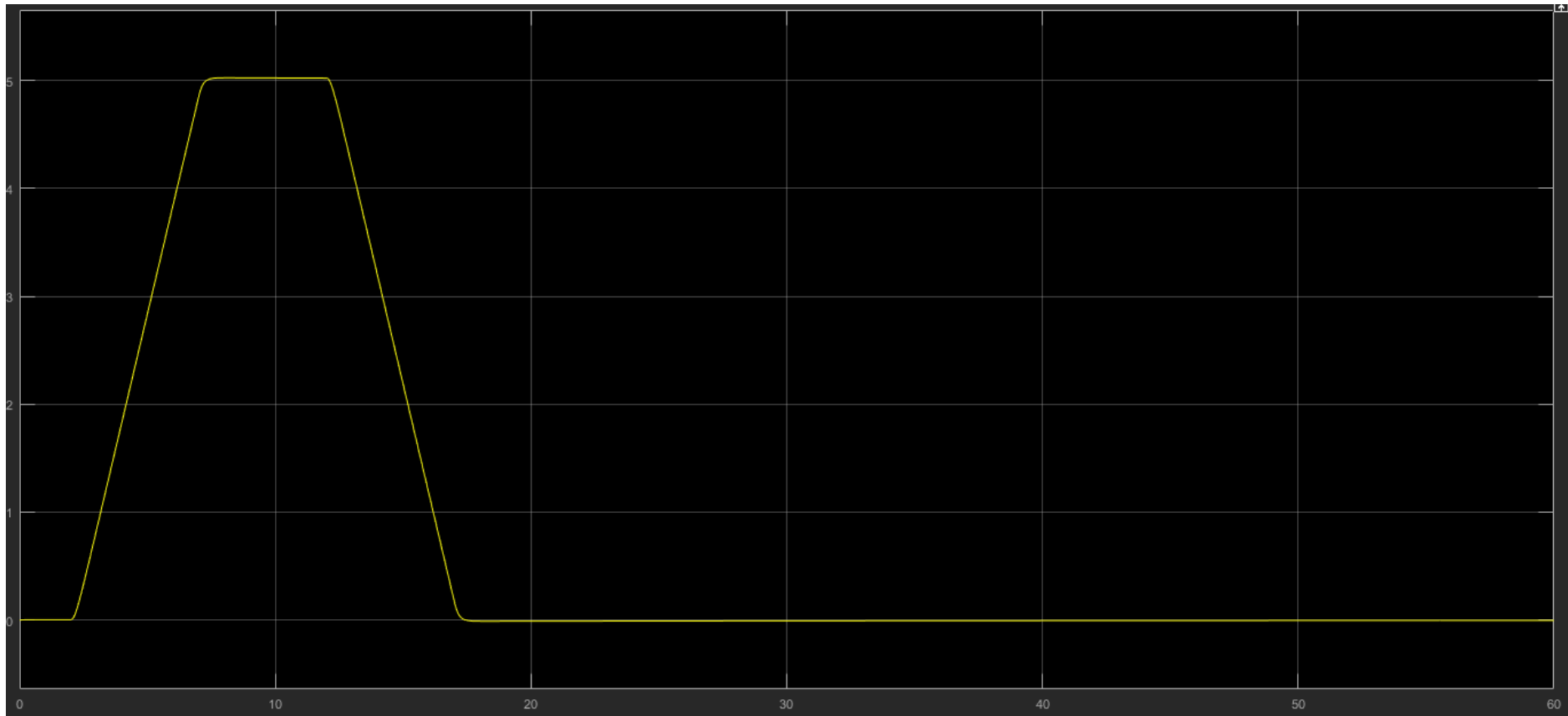


Figure 3.11 Graphe de vitesse du véhicule scénario 1

- Pertes totale (KW/s)

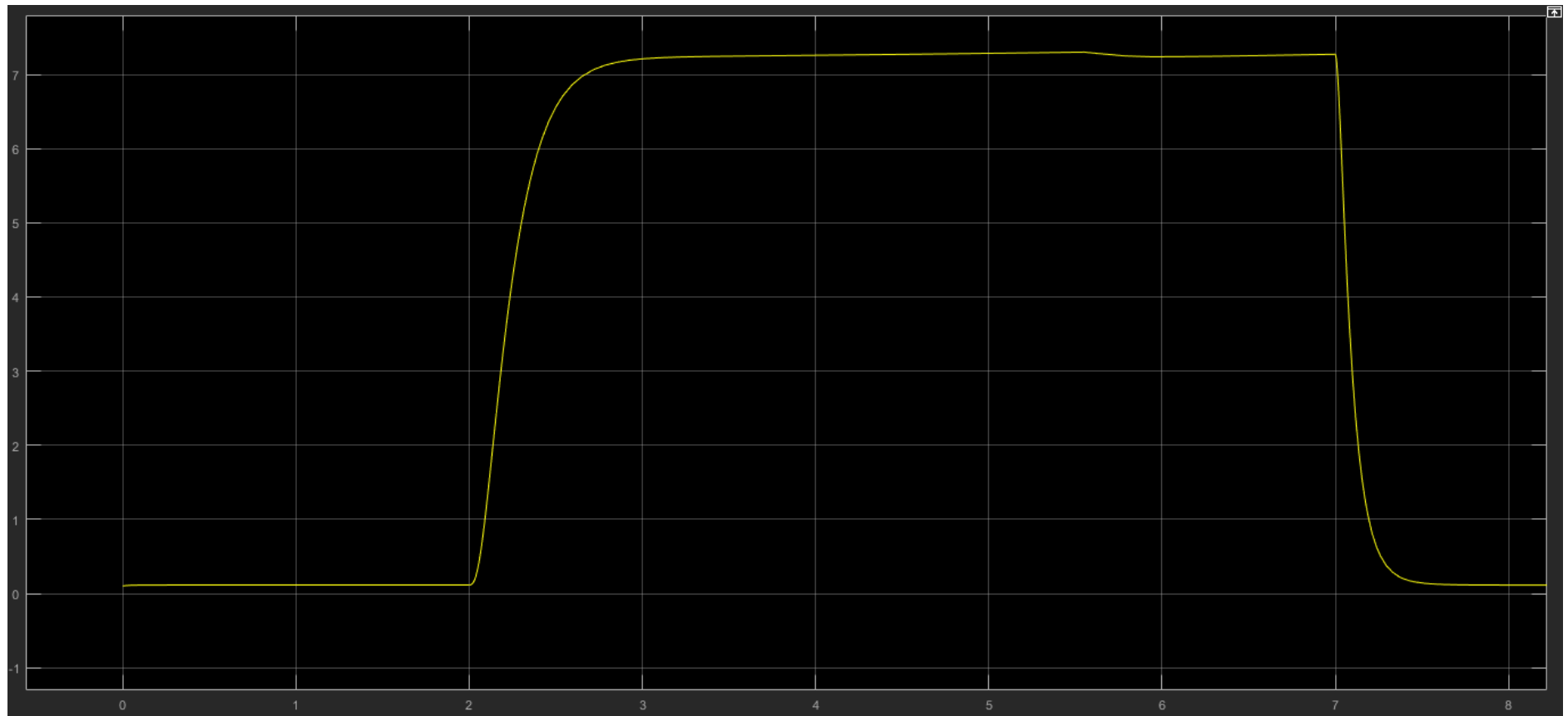


Figure 3.13 Graphe des pertes totales scénario 1 (phase 1)

Dans ce graphe on remarque une augmentation des pertes totales, ces pertes sont dues au couple de démarrage important demandé par le moteur électrique.

- La vitesse (m/s)

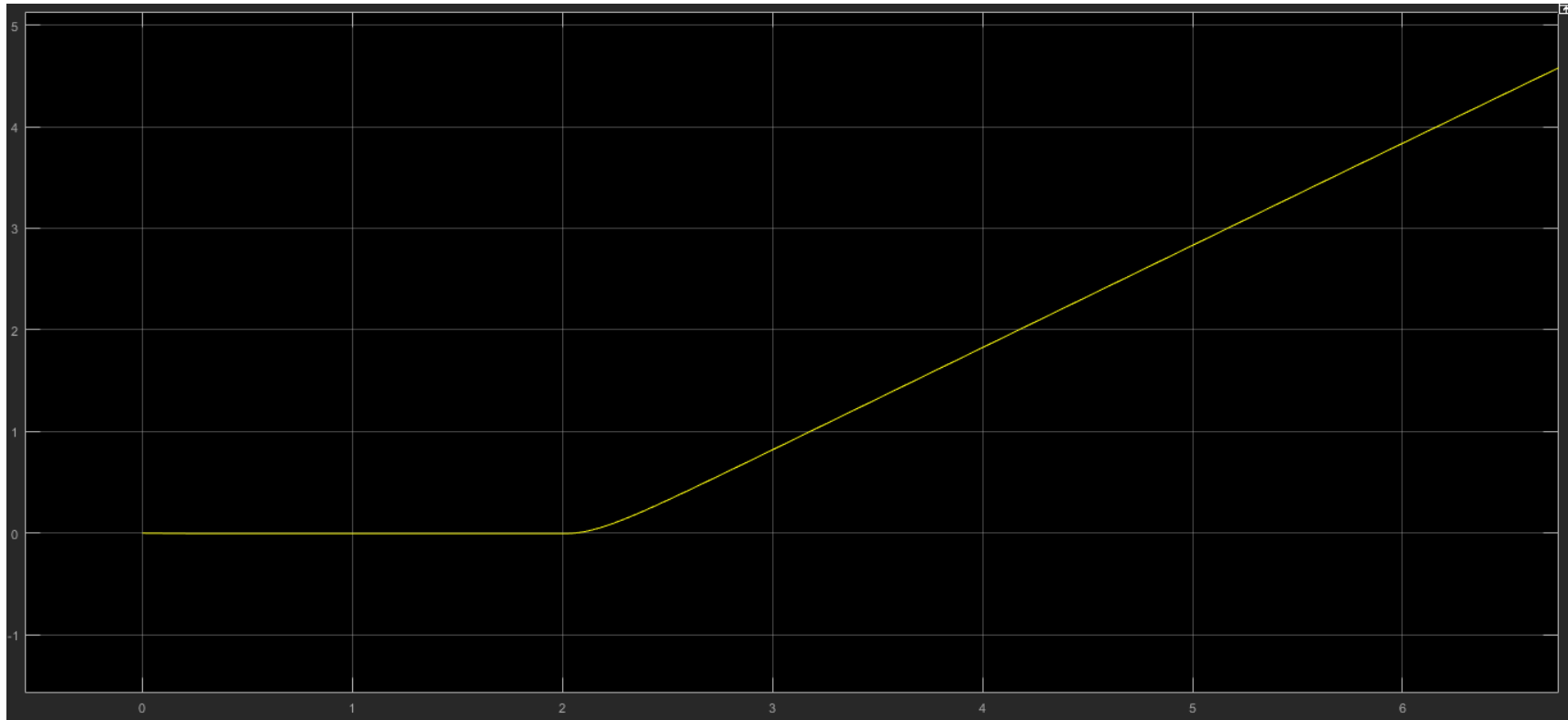


Figure 3.14 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 1)

Puissance (Figure 3.12)

Le fonctionnement du moteur thermique est d'alimenter la batterie pour qu'elle passe la puissance au moteur électrique.

Pour cela on remarque dans le graphe de puissance que le moteur thermique (orange) fournit la puissance au système, qui est dans notre architecture le générateur.

Parlons d'énergie, le générateur absorbe cette énergie mécanique fournie du moteur thermique et la transforme à la batterie.

Dans le graphe on remarque que les deux graphes sont en opposition l'un qui fournit la puissance et l'autre l'absorbe. Cette interprétation est valable durant tous les phases.

Revenant sur la première partie du graphe entre [0s-0.2s] on remarque que la puissance du moteur électrique est 0 KW vu que la voiture ne roule pas. Le moteur électrique alors ne fournit aucune puissance.

On remarque aussi que la puissance fournie par le générateur est stocké dans les batteries.

La batterie de son tour reçoit la puissance du générateur pour quel continu ce régime de charge.

Pertes totale (Figure 3.13)

Dans cette les pertes totale de voiture sont presque nulle, une très petite quantité d'énergie perdue comme chaleur.

La vitesse de véhicule (Figure 3.14)

Dans cette phase la voiture est au repose aucune vitesse n'est détecter.

- Phase d'accélération [2s-7s]

Puissance :

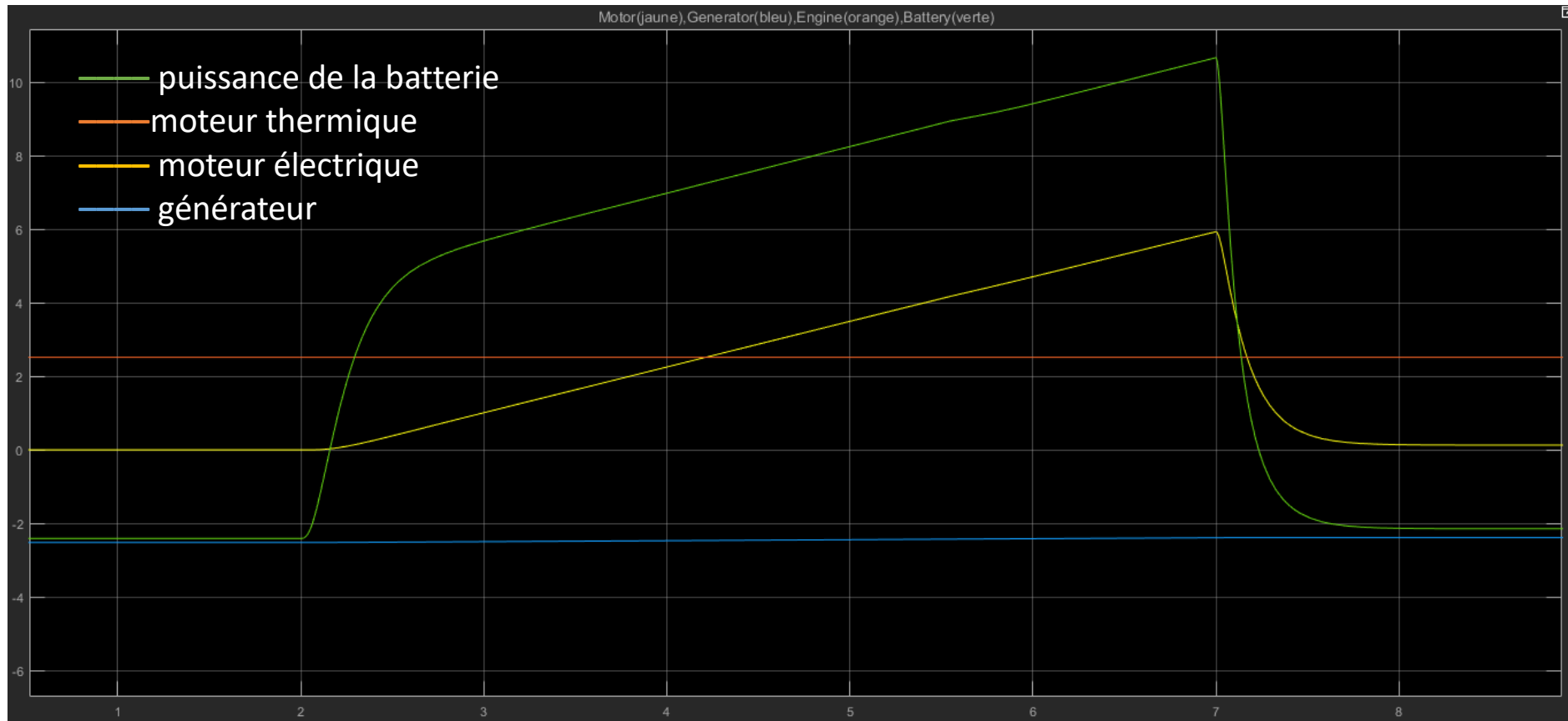


Figure 3.15 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 2)

Pertes totales électriques :

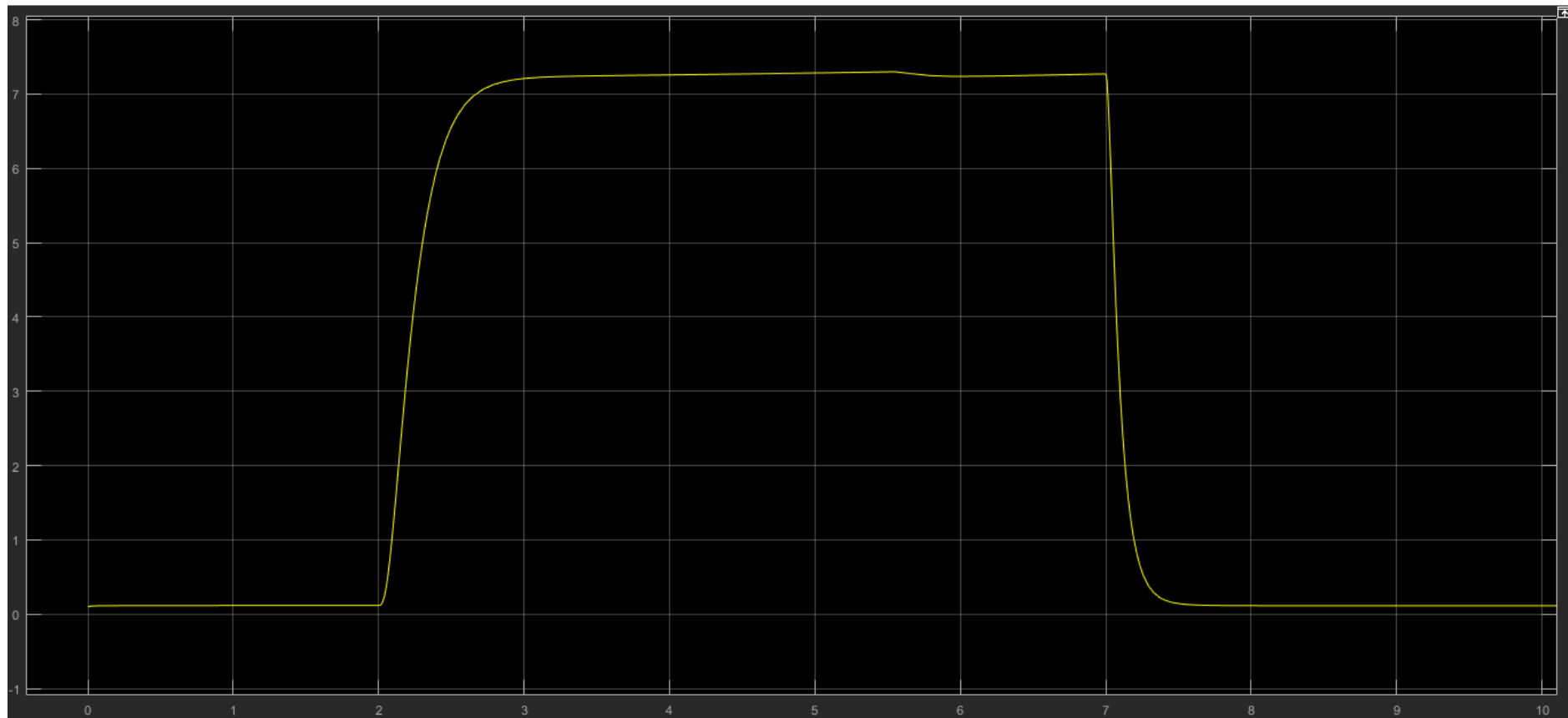


Figure 3.16 Graphe des pertes totales scénario 1 (phase 2)

Vitesse :

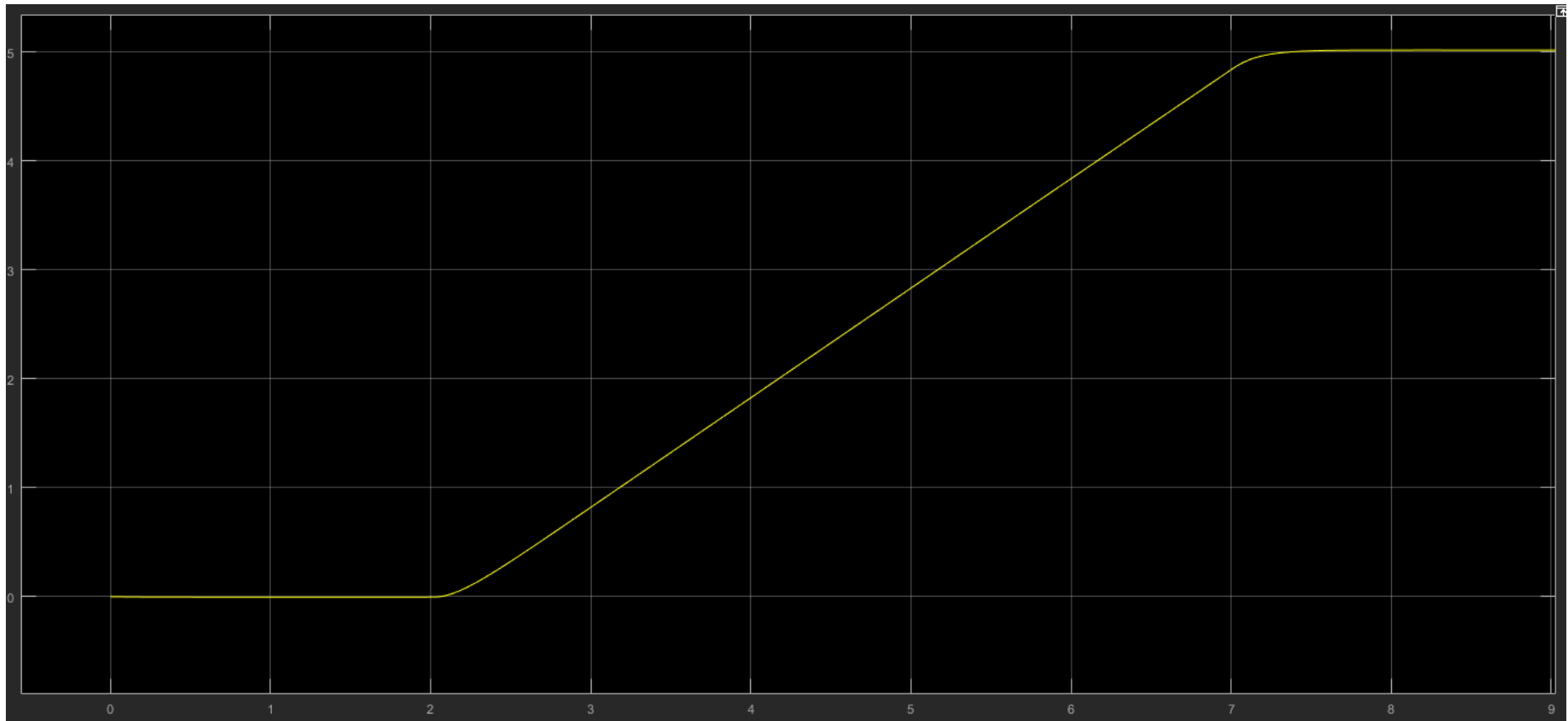


Figure 3.17 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 2)

Interprétation des deux graphes des puissances (puissance du moteur thermique et puissance de générateur) :

La même interprétation qu'avant.

Interprétation de deux graphes (graphe de la puissance du moteur électrique et de la batterie) :

Dans cette partie, on remarque au point d'accélération $T=2s$, la puissance du moteur électrique augmente. Pour faire accélérer la voiture, cette puissance et de forme puissance mécanique fournie par le moteur électrique.

D'autre part on remarque aussi l'augmentation de la puissance de la batterie pour fournir l'énergie au moteur électrique.

L'écart entre les deux puissances est expliqué par des pertes au niveau du moteur électrique.

Dans le graphe des pertes on remarque une importante augmentation vu que le moteur électrique utilise une puissance fournie par les batteries pour faire tourner les roues.

On remarque aussi que la vitesse du véhicule entre d'augmenté d'une valeur de facteur de 5 m/s, cette valeur était réglée au niveau de simulation on agit sur la partie cerveau moteur.

- Phase de fonctionnement stable [7s-12s]

Puissance :

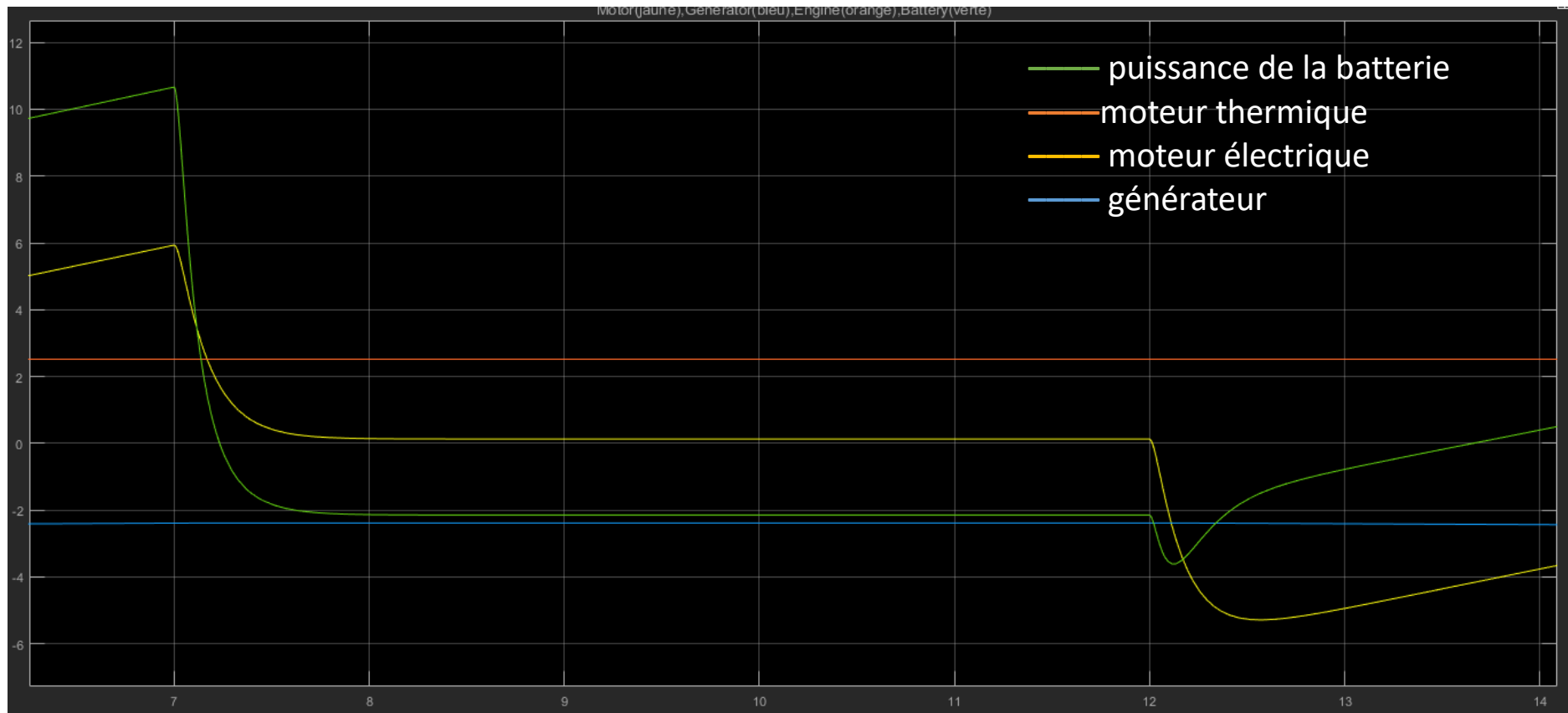


Figure 3.18 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 3)

Pertes totales :

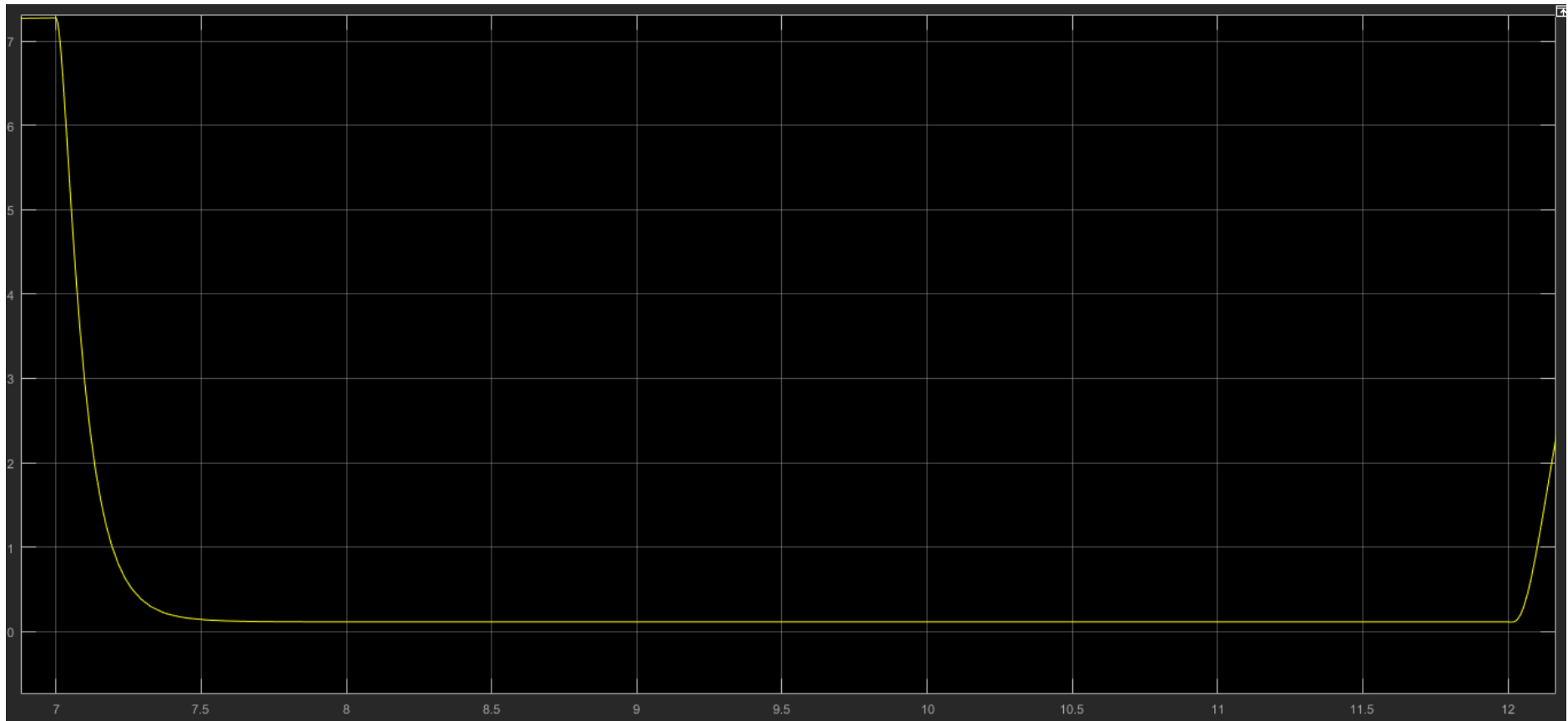


Figure 3.16 Graphe des pertes totales scénario 1 (phase 3)

Vitesse :

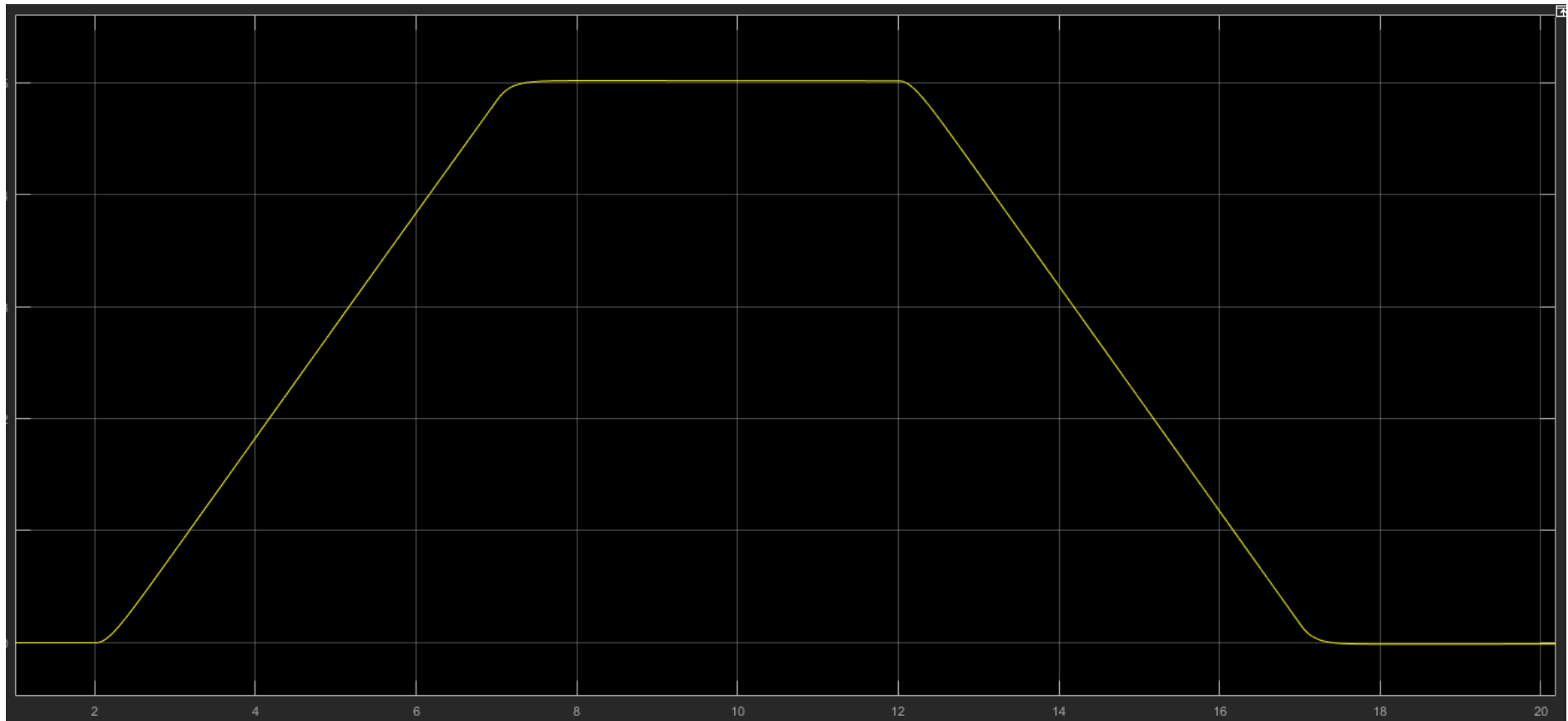


Figure 3.20 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 3)

Dans cette phase on remarque que tous les paramètres **retournent à** leur état initial avant l'accélération.

On remarque aussi que les pertes électriques au niveau du moteur électrique sont presque nul, vu que dans cette phase la voiture **se** déplace avec une vitesse constante,

- Phase de décélération [12s-17s]

Puissance :

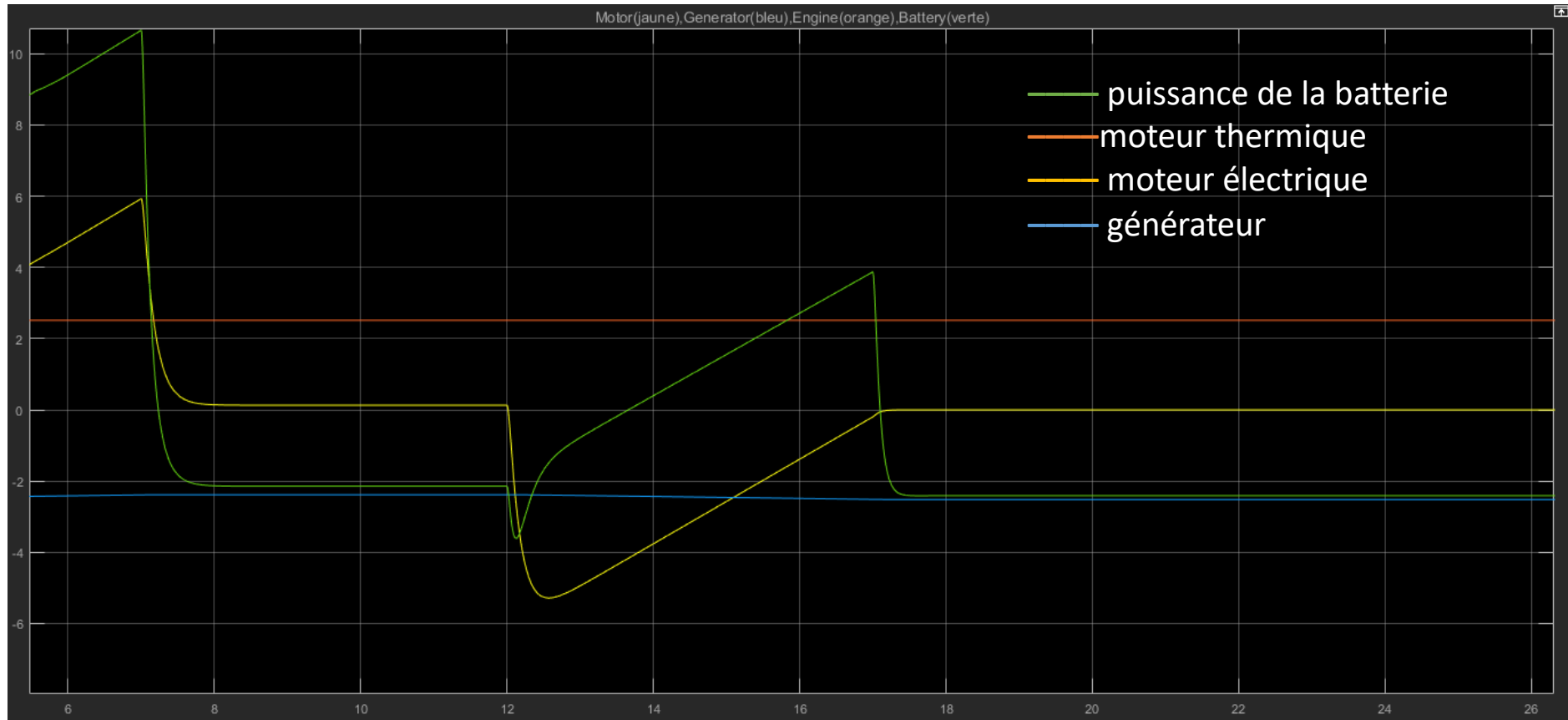


Figure 3.21 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 4)

- Phase de décélération [12s-17s]

Puissance :

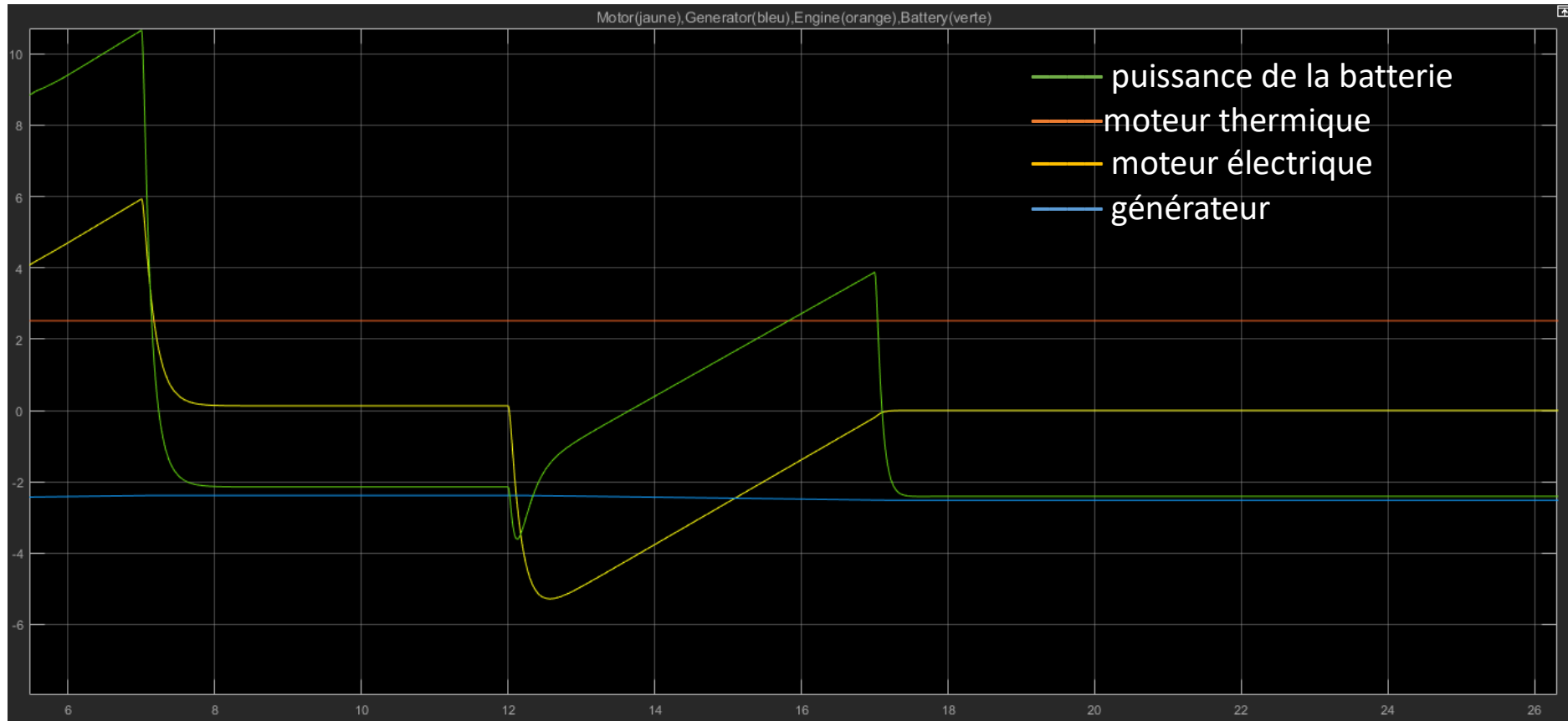


Figure 3.21 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 1 (phase 4)

Vitesse :

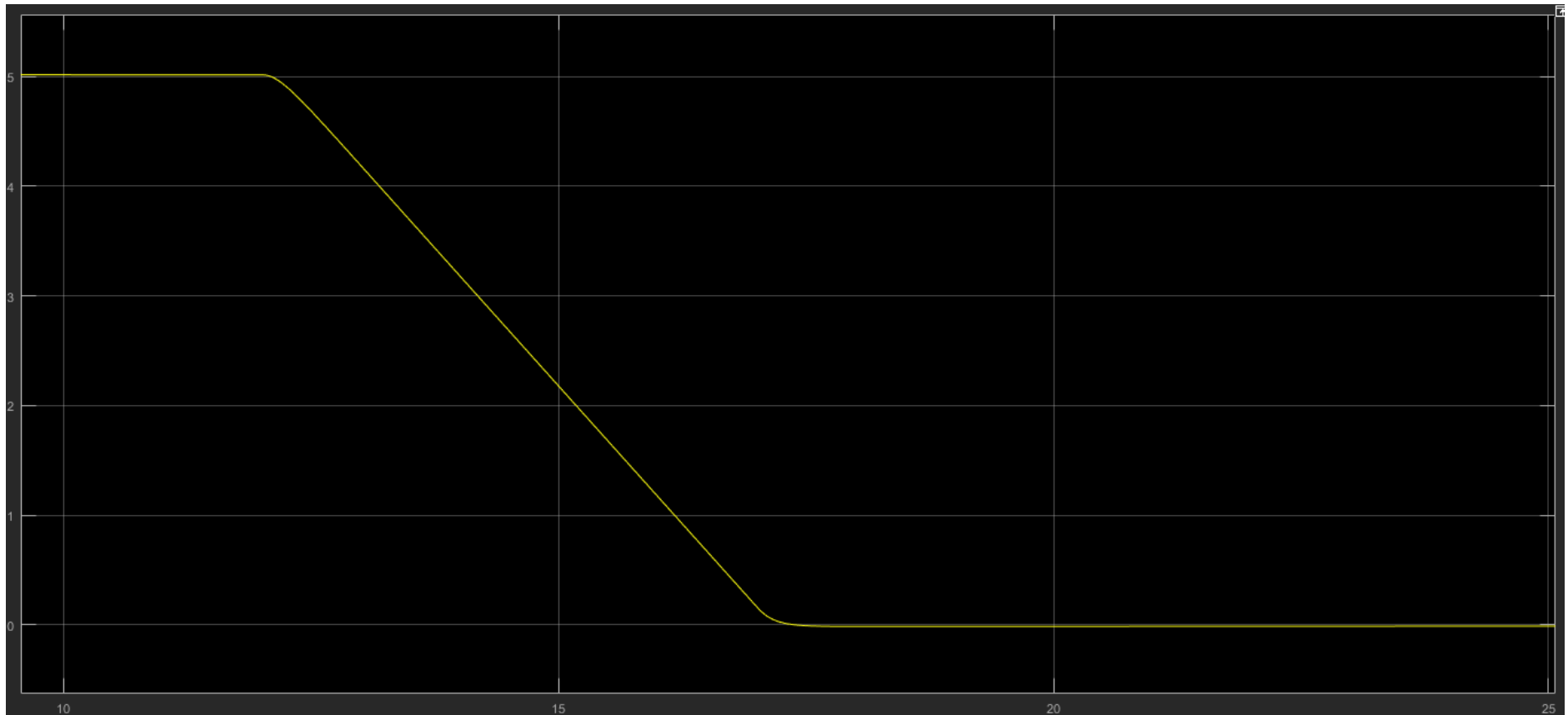


Figure 3.23 Graphe de la vitesse de véhicule 1 (phase 4)

Dans cette phase la voiture est en décélération, on remarque que la puissance de la batterie augmente légèrement on la comparant avec la phase d'accélération, on deuxième lieu on remarque que la puissance du moteur électrique devient une puissance fournie au système vu que dans ce cas le moteur devient générateur et transforme l'énergie cinétique en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de diminuer la vitesse.

La puissance des batteries augment sous l'effet de chargement ; est les pertes électrique remarque sont du a l'utilisation d'énergie électrique pour le freinage

La vitesse de véhicule par conséquence ce diminue, avec un gain de 5 m/s.

1. Scénario 2 :

Durant cette phase le couple résistant est nul vu que la voiture se déplace sur une route plate. Ce si veut dire que le moteur électrique fonctionne sous son régime normal sans pression.

Données d'entrer :

Couple résistive $C_r = 0$

RPM0 (moteur thermique) = 2000 Tr/min

$V_0 = 0$ m/s

Accélération de la voiture :

0s-2s démarrage normale

2s-7s accélération de la voiture

7s arrête d'accélération

7s-12s fonctionnement régulier

12s-17s décélération de la vitesse

Dans ce scénario on va interpréter tous les parties à une seule fois vu le manque de changement énergétique dans notre système.

Puissance :

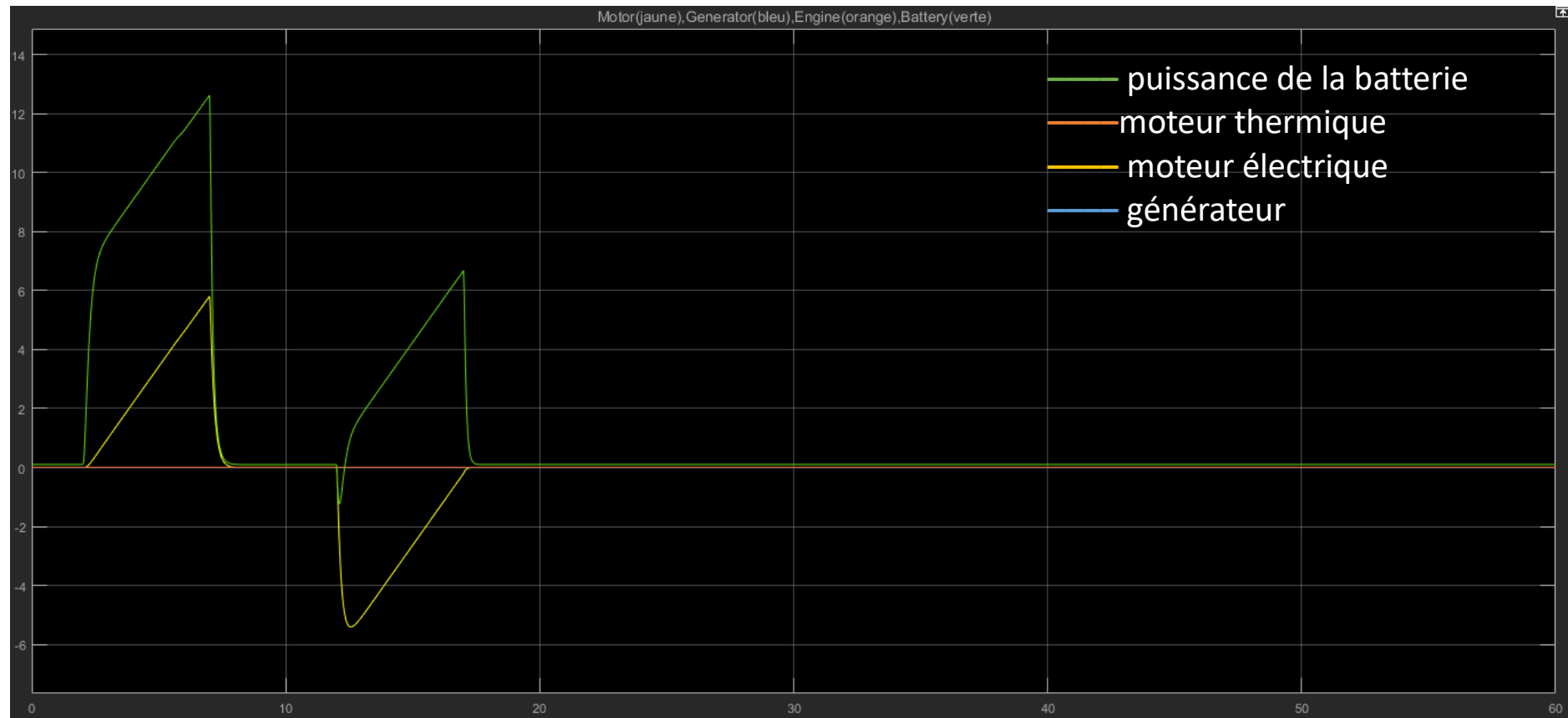


Figure 3.24 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 2

Vitesse :

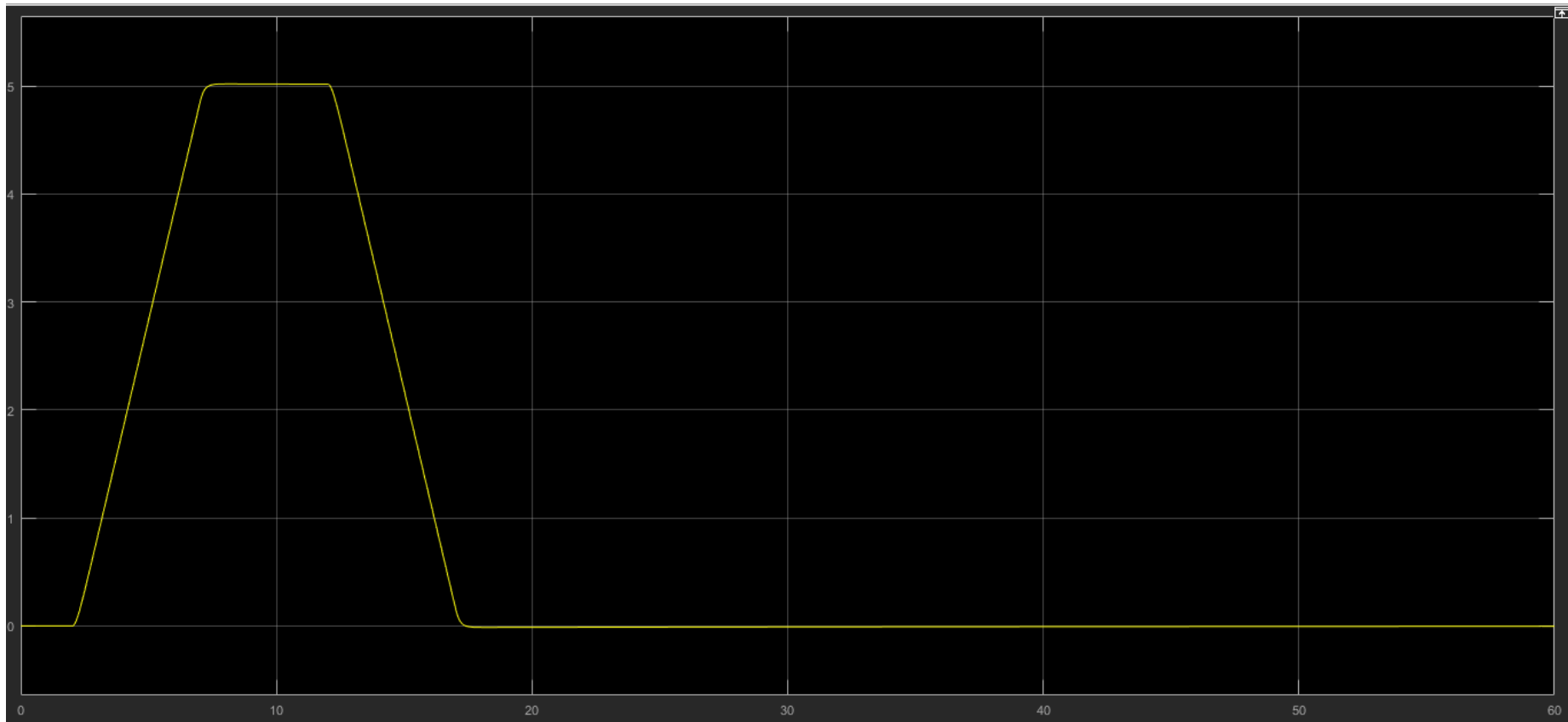


Figure 3.25 Graphe de la vitesse de véhicule scénario 2

Perte électrique totale :

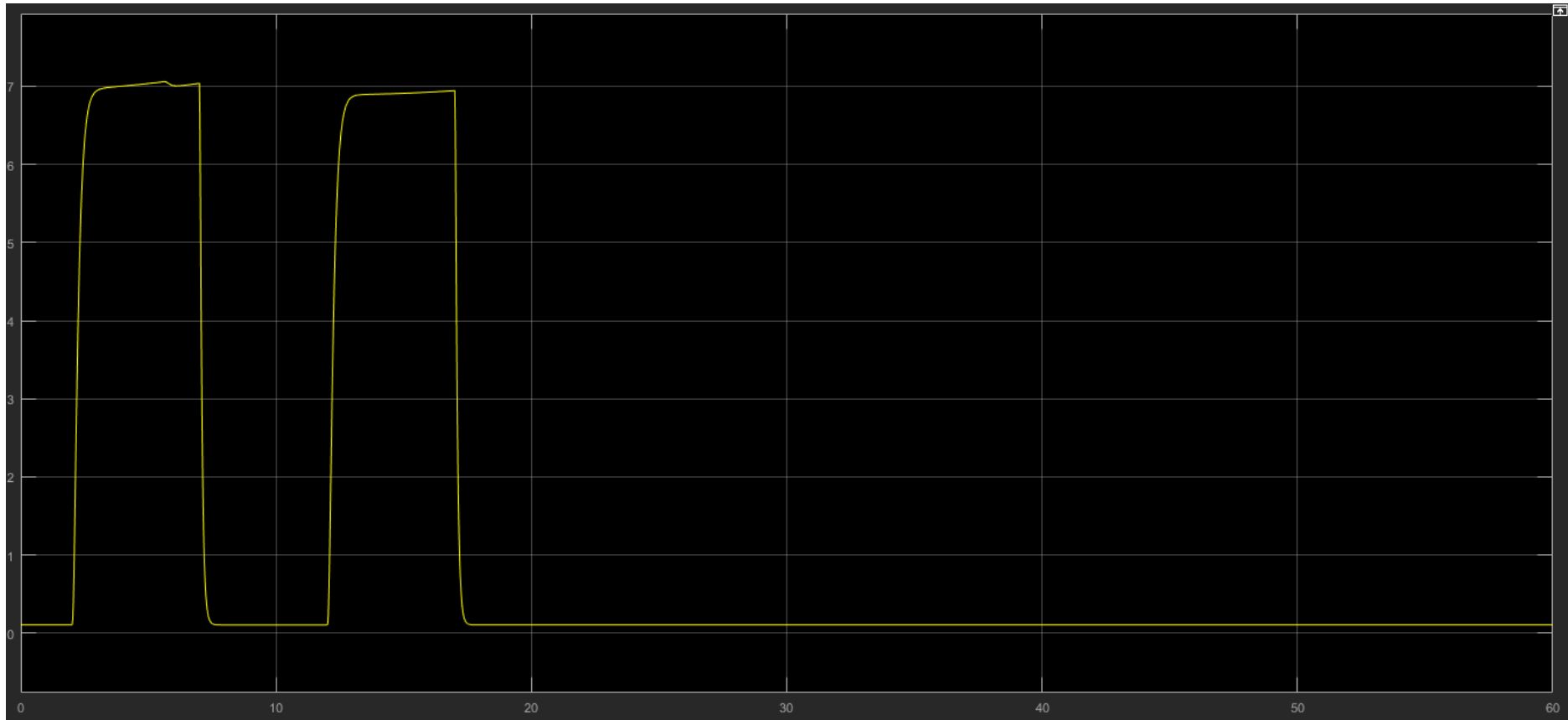


Figure 3.26 Graphe des pertes totales scénario 2

Interprétation :

La puissance du générateur et du moteur thermique dans ce scénario sont totalement nul, le cerveau moteur détecte que la voiture se déplace dans une route plate, les batteries sont totalement charger alors le cerveau envoie un requête d'arrêt au générateur et au moteur thermique pour arrêter leurs fonctionnement.

Cette étape de contrôle du cerveau moteur est faite pour jouer sur le cycle de vie des batteries, vu que la charge est la décharge des batteries est un facteur très important dans la durée de la vie des batteries.

La vitesse diminue au même facteur de 5 m/s.

Les pertes sont interprétées de la même façon qu'avant.

1. Scénario 3 :

Durant cette phase le couple résistant va être considéré comme une puissance ajouté vu que la voiture se déplace sur une route incliné

(Le véhicule durant la décente). Ce si veut dire que le moteur électrique fonctionne sous son régime normal sans pression et aussi il est aidé par la force de gravitation, dans ce cas la force gravitation est dans la même direction de déplacement.

Données d'entrer :

Couple résistive $C_r = 4$

RPM0 (moteur thermique) = 2000 Tr/min

$V_0 = 0$ m/s

Accélération de la voiture :

0s-2s démarrage normale

2s-7s accélération de la voiture

7s arrête d'accélération

7s-12s fonctionnement régulier

12s-17s décélération de la vitesse

Dans ce scénario on va interpréter tous les parties à une seule fois.

Puissance

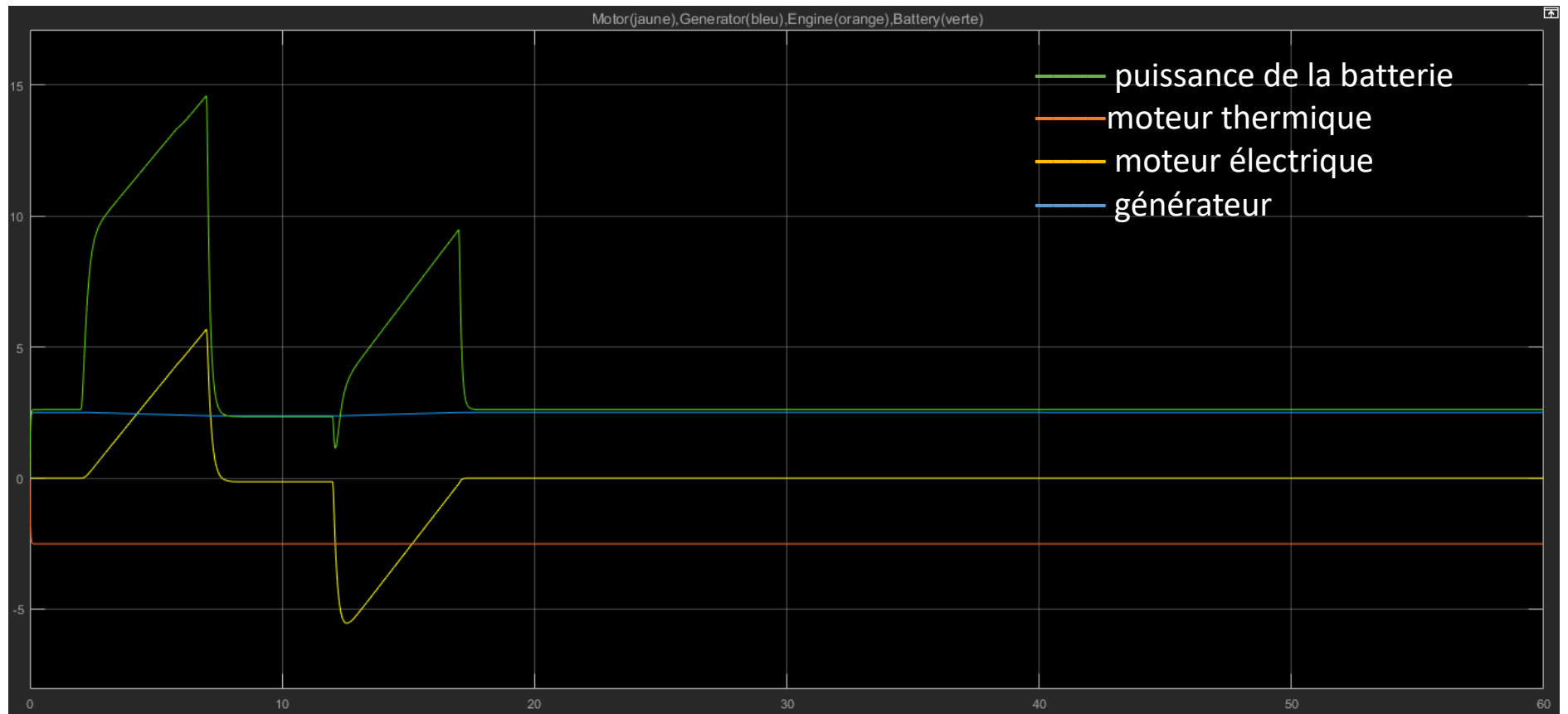


Figure 3.27 Graphe de puissance de voiture hybride scénario 3

Vitesse du véhicule

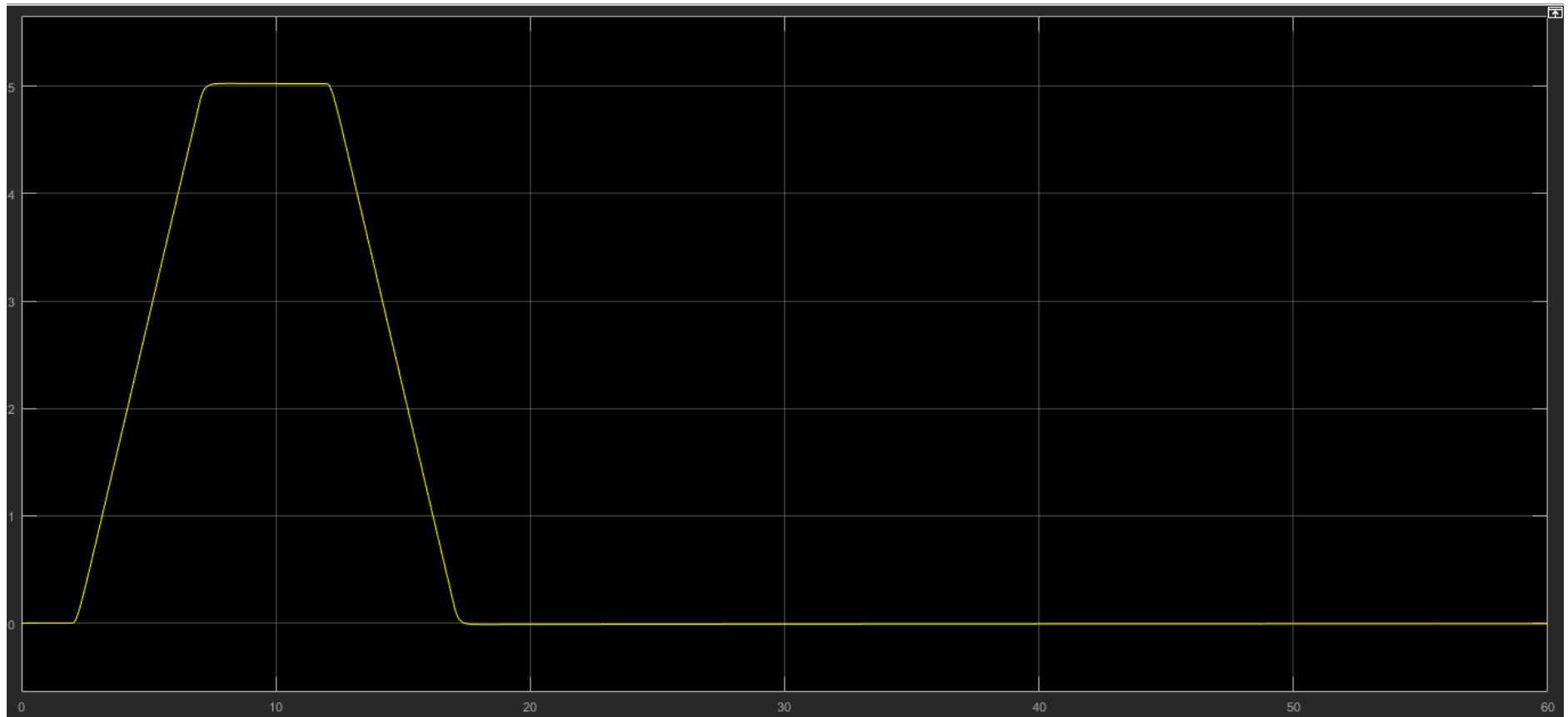


Figure 3.28 Graphe de la vitesse de véhicule scénario 3

Les pertes totales électriques

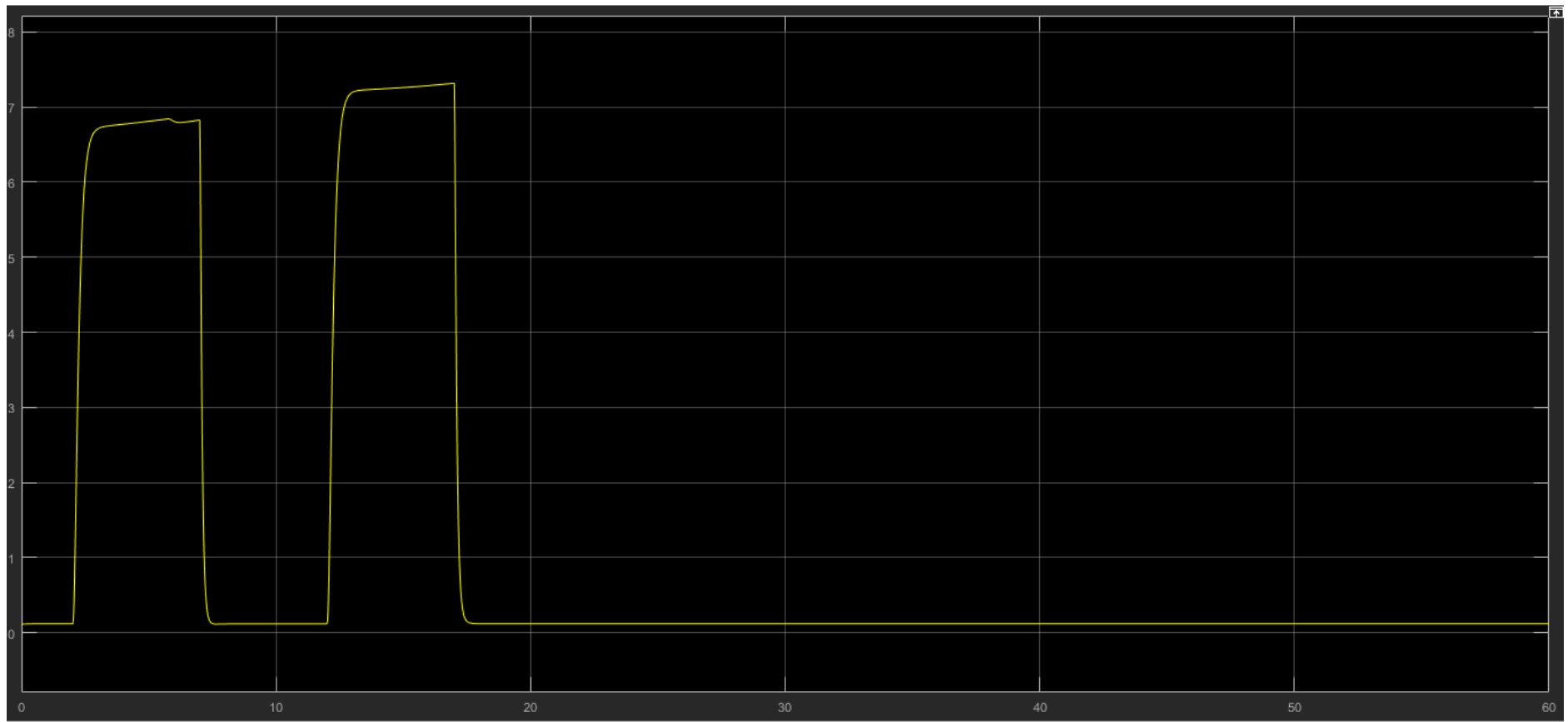


Figure 3.29 Graphe des pertes totales scénario 3

Interprétation

Ce scénario est très important pour faire la différence au terme de puissance, la première remarque à faire c'est que la puissance du moteur électrique est très basse dans ce scénario, ce qui est prévu déjà vu que la consommation d'énergie a diminué à cause de l'effet du couple résistant.

Au mode de décélération la partie majeure de l'énergie cinétique est transformée en électricité, le reste est dissipé par les disques de frein. L'ensemble est piloté par un calculateur électronique, qui est le cerveau moteur.

Le moteur devient générateur et transforme l'énergie potentielle en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de maintenir la vitesse.

Les pertes électriques totales sont plus au moins diminuées dans ce scénario, la majorité de l'énergie est transmise pour être une charge utilisée pour alimenter les batteries.

3.6 Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter les essais du véhicule hybride (thermique/électrique).

Deux types de tests ont été réalisés, la première catégorie consiste à tester la puissance de la voiture, ainsi que les fonctionnalités (accélération et déclaration). Ces tests de commande ont permis de valider l'élaboration du calcul de la consigne de couple, le fonctionnement du convertisseur dans sa stratégie de charge/décharge des batteries, ainsi que le fonctionnement du chargeur de batterie. Cela a permis de conclure que le véhicule est pleinement opérationnel et que les programmations du calculateur sont correctes. La deuxième catégorie d'essais a porté sur les pertes totales électriques du véhicule. En mode électrique, nous avons fait des tests d'accélération maximale, des tests à vitesse constante et différents tests de récupération énergétique. En résumé la voiture peut récupérer de l'énergie cinétique et la transformer en différents modes à l'énergie électrique qui sera stockée à la batterie.

Le moteur thermique dans ces essais n'a pas été testé aux conditions maximales, vu le manque des données théoriques dans ce mode en terme de consommation énergétique est des pertes potentielles.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'impact de différents facteurs d'influence a été étudié dans ce mémoire afin de démontrer la sensibilité des gains apportés par l'hybridation du véhicule. Nous avons notamment pu montrer l'importance de la récupération de l'énergie au freinage sur le gain apporté par l'hybridation. La consommation des auxiliaires a également été identifiée comme un facteur d'impact important sur la consommation énergétique des véhicules hybrides. Nous avons montré que cet impact était le plus important pour les usages urbains compte tenu de la proportion d'énergie que représente les auxiliaires au vu de l'énergie dépensée pour déplacer le véhicule sur ce type d'usage. Cette étude sur l'impact des auxiliaires a également permis de quantifier les gains atteignables par le véhicule FullHybrid pour une consommation des auxiliaires identiques à celle du véhicule conventionnel.

L'évaluation énergétique des véhicules sur différents types d'usage a permis de mettre en avant les potentialités de l'hybridation en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et la forte dépendance de ces gains au type d'usage. Les résultats des simulateurs ont confirmé l'intérêt des optimisations à faibles coûts de la chaîne de traction dans l'objectif d'atteindre, sur des usages urbains.

Ainsi, une étude sur les facteurs d'influence a été menée en chapitre d'ouverture de ce travail de mémoire. Cette étude a montré l'importance de certains facteurs tels que la consommation des auxiliaires, la conception du véhicule ou les stratégies de freinage récupératif, sur la réduction des émissions de CO₂. Une approche originale de la modélisation de l'agressivité du conducteur a également été présentée dans ce mémoire. Cependant cette approche demande à être améliorée afin de gagner en représentativité, notamment grâce à une meilleure définition des paramètres servant à caractériser l'agressivité du conducteur.

Enfin, dans ce mémoire on a utilisé toute source d'information possible, et sur tout dans cette période de COVID-19, qui nous a limité d'une manière à ne pas avoir accès à plusieurs sources d'information, et compris les stages pratiques.

Bibliographie

- [1] p. 1. à 4. Dans Revue d'économie du développement 2015/3 (Vol. 23), Energie et développement dans les pays émergents, John Reilly.
- [2] «Stratégies des entreprises pour le climatLa mobilité,» EPE entreprise pour l'environnement , Novembre 2014.
- [3] N. Marc, «Méthodologie de dimensionnement d'un véhiculehybride électrique sous contrainte de minimisation desémissions de CO2».
- [4] L. Stoyanov, «Etude de différentes structures de systèmes hybrides àsources d'énergie renouvelablesEtude de différentes structures de systèmes hybrides àsources d'énergie renouvelables,» Ludmil Stoyanov.
- [5] «FUTURA PLANETE,» [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-stop-start-7290/>.
- [6] «BADIN, François. Les véhicules hybrides: Des composants au système. Editions Technip, 2013.».
- [7] «ROUSSEAU, Grégory. Véhicule hybride et commande optimale. 2008. Thèse de doctorat.».
- [8] «futura-sciences,» [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-moteur-explosion-11132/>.
- [9] hybridsynergydrive, «hybridsynergydrive,» [En ligne]. Available: <http://www.hybridsynergydrive.com/fr>.
- [10] «Modélisation, conception et expérimentation d'unvéhicule hybride léger pour usages urbains,» Destiny Conscience Eland Loukakou Bounzeki Mbemba, 2014.
- [11] A. d. Clermont-Ferrand. [En ligne]. Available: www.ac-clermont.fr.
- [12] «le panneau solaire,» [En ligne]. Available: <https://www.lepanneausolaire.net/les-differentes-technologies-batteries.php>.
- [13] «bandofboats,» [En ligne]. Available: <https://www.bandofboats.com/blog/fr/les-differents-types-de-batteries-au-plomb>.
- [14] «LINDEN, David. Handbook of batteries. In : Fuel and energy abstracts. 1995.,» LINDEN, David. , 1995.
- [15] M. WaStRaEtE, «ANFA / Édition 2011 Véhiculesélectriques et hybrides,» n° %1Dossier créé avec la collaboration du Groupement National pour la Formation Automobile.
- [16] «AMARA, Yacine. Contribution à la conception et à la commande des machines synchrones à double excitation. Application au véhicule hybride. 2001. Thèse de doctorat. UNIVERSITE PARIS XI.».
- [17] M. Mokuucu, «Optimisation énergétique d'un véhicule hybride,» Mokuucu, Mert.
- [18] «marc.mistra,» [En ligne]. Available: <http://marc.mistral.free.fr/moteurs/01.htm>.
- [19] «michel.re,» [En ligne]. Available: <https://michel.re/moteur-a-vapeur/>.

Conclusion générale

- [20] D. H. M. Z, «Thermo propulsion I,» Dr HENNI MANSOUR Z.
- [21] «ressources.univ-lemans,» [En ligne]. Available: <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/moteur2t.html>.
- [22] «toutsurlamoto,» [En ligne]. Available: <http://www.toutsurlamoto.com/le-moteur-4-temps.html>.
- [23] P. e. L. MINOTTI, «G. Modélisation théorique des moteurs piézoélectriques rotatifs à ondes progressives. Mechanism and machine theory, 1994,», MINOTTI, P. et LALLEMENT, .
- [24] «achat-voiture.ooreka,» [En ligne]. Available: <https://achat-voiture.ooreka.fr/comprendre/moteurs-rotatifs>.
- [25] «fiches-auto,» [En ligne]. Available: <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1946-fonctionnement-d-une-voiture-electrique.php>.
- [26] «Machine à courant continu,» Philippe LE BRUN, Lycée Louis ARMAND: 173 Bd de Strasbourg, Janvier 2000.
- [27] D. A. KERBOUA, «Machine Asynchrone: Principes, Equations et Schéma Equivalen,» Dr Abdelfettah KERBOUA, MASCARA, Année universitaire 2014-2015.
- [28] L. P. M. F. Epinal, «Machine asynchrone,» Lycée P. Mendès France Epinal.
- [29] D. A. KERBOUA, «Chapitre III Caractéristiques de la Machine Synchrone Cours de Machines Electriques à Courant Alternatif chapitre Caractéristiques de la Machine Synchrone,» Dr Abdelfettah KERBOUA, 2014-2015.
- [30] «sarcomefi,» [En ligne]. Available: <http://sarcomefi.com/industrie/blog/le-role-du-reducteur-de-vitesse-5>.
- [31] «circuit-refroidissement_»,» [En ligne]. Available: http://www4.ac-nancy-metz.fr/autocompetences/2_ressources_pedagogiques/1_motorisation/stockage_le%EF7ons_technologie/circuit-refroidissement_bac-sti.pdf.
- [32] M. WASTRAETE et T. 189, «Véhicules électriques et hybrides,» MICHEL WASTRAETE, JANVIER-FÉVRIER 2014.
- [33] T. Singo, «Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome,» Akassewa Tchapo Singo.
- [34] R. Mkahl, «Contribution à la modélisation, au dimensionnement et à la gestion des flux énergétiques d'un système de recharge de véhicules électriques : étude de l'interconnexion avec le réseau électrique,» Rania Mkahl.
- [35] S. D. -. T. M. GUERRA, «Le Véhicule Hybride du LAMIH,» n° 1 Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'informatique Industrielles et Humaines.
- [36] M. E. H. D. MZERAOLIA, «Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems : A Comparative Study,» p. 1756-1764. ISSN: 0018-9545, 2006.
- [37] «TRUB, G. la conception des circuits de refroidissement. Revue de Métallurgie, 1979,», TRUB.

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.