

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLES DES MATIERES	ii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 GENERALITES SUR L'AUTOMOBILE	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Fonctionnalités de l'automobile.....	2
1.3 Caractéristique d'un véhicule	2
1.4 Classification des automobiles	3
1.5 Eléments principaux constitutifs de l'automobile.....	3
1.5.1 <i>Le châssis-carrosserie</i>	4
1.5.2 <i>La suspension</i>	6
1.5.3 <i>Le système de transmission</i>	6
1.5.3.1 L'embrayage.....	7
1.5.3.2 La boite de vitesse	8
1.5.3.3 Le pont et le différentiel	8
1.5.4 <i>La direction</i>	9
1.5.5 <i>Le système de freinage</i>	10
1.5.6 <i>Le système de motorisation</i>	11
1.5.6.2 Architecture générale	11
1.5.6.3 Cycle 4 temps	13
1.5.7 <i>Le système de refroidissement du moteur</i>	14
CHAPITRE 2 LE SYSTEME ELECTRIQUE AUTOMOBILE.....	16
2.1 Introduction.....	16
2.2 Le circuit de charge.....	16
2.2.1 <i>La batterie</i>	17
2.2.1.1 Les batteries plomb-acide.....	19
2.2.1.2 Grandeur caractéristiques d'un accumulateur électrochimique	21
2.2.1.3 Fonction de la batterie plomb acide dans un véhicule.....	22
2.2.1.4 Durée de vie d'une batterie	22
2.2.2 <i>L'alternateur</i>	23
2.2.2.2 Principe de production d'électricité.....	23
2.2.2.1 Rotor ou l'inducteur	24

2.2.2.2 Le stator ou l'induit	25
2.2.2.3 Le circuit de redressement.....	26
2.2.2.4 Principe de redressement du courant.....	27
2.2.2.5 Lissage du courant et taux d'ondulation.....	29
2.2.2.6 Le régulateur de tension	30
2.2.2.7 Schéma de connexion électrique d'un circuit de charge	31
2.2.2.8 Facteur déterminant la sortie d'un alternateur.....	32
2.3 Le circuit de démarrage	32
2.3.1 Le moteur électrique	32
2.3.2 Le lanceur	33
2.3.3 Le circuit de commande du lanceur.....	33
2.4 Le système d'allumage.....	34
2.4.1 Bobine d'induction	35
2.4.2 L'allumeur	37
2.4.2.1 Le rupteur	37
2.4.2.2 Le condensateur.....	38
2.4.2.3 Le distributeur	38
2.4.3 La bougie.....	39
2.4.4 Principe de l'allumage.....	41
2.4.5 L'avance à l'allumage	42
2.4.6 Le système d'allumage électronique	44
2.4.6.1 Système d'allumage à rupteur transistorisé	44
2.4.6.2 Système d'allumage électronique intégral.....	45
2.4.1 Les faisceaux et les câbles électriques	47
2.4.2 Les boîtiers d'interconnexion.....	48
2.4.3 La protection des circuits électriques	49
2.4.4 Les relais	50
CHAPITRE 3 MODELISATION DU CIRCUIT DE CHARGE AUTOMOBILE.....	52
3.1 Introduction.....	52
3.2 Description d'un réseau électrique automobile	52
3.3 Distribution de puissance par une courroie.....	53
3.4 Modélisation de l'alternateur automobile.....	54
3.4.1 Circuit électrique équivalent de l'alternateur.....	54
3.4.2 Equation du circuit magnétique.....	57
3.4.3 Modèle du redresseur	59

3.5.1 Circuit équivalent de la batterie	62
3.5.1.1 Tension	63
3.5.1.2 Résistance aux bornes de la batterie	64
3.5.1.3 Résistance R_1	64
3.5.1.4 Capacité C_1	64
3.5.1.5 Résistance R_2	64
3.5.1.6 Courant dans la branche parasite.....	65
3.5.2 Modèle de la charge et de la capacité	65
3.5.2.1 La charge	65
3.5.2.2 La capacité total C	66
3.5.2.3 Etat de charge (SOC) et profondeur de décharge (DOC)	66
3.5.2.4 Estimation du courant moyen de décharge :.....	67
3.5.3 Modèle thermique	67
3.5.3.1 Température de l'électrolyte	67
3.6 Les charges électriques d'un véhicule	67
3.6.1 Schémas de branchement des circuits électriques d'un véhicule	69
CHAPITRE 4 SIMULATION ET PRESENTATION DU RESULTAT.....	72
4.1 Objectif de la simulation.....	72
4.2 Présentation de l'environnement du travail	72
4.3 Simulation et résultats	76
4.3.1 Paramètres d'entrées par le conducteur	76
4.3.2 Paramètres d'entrées du véhicule	77
4.3.2.1 Cas d'un véhicule en marche subissant une variation de vitesse	78
Résultat au niveau de la batterie.....	79
4.3.2.2 Cas du véhicule au ralenti :	81
CONCLUSION GENERALE	84
ANNEXE 1 Le système d'éclairage et de signalisation d'un véhicule	85
ANNEXE 2 Les différentes pertes de l'alternateur.....	88
BIBLIOGRAPHIES.....	91
PAGE DE RENSEIGNEMENT.....	93

ABREVIATIONS

PMH	Point mort haut
PMB	Point mort bas
SOC	State of charge
DOC	Depth of charge
HT	Haute tension
PbSO4	Sulfate de plomb
Pb	Plomb
H2O	Eau
PbO2	Dioxyde de plomb
RPM	Revolution per minute (tour/min)

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement, le monde automobile vit au rythme de l'évolution des technologies. Cela se traduit par l'amélioration constante de ses performances et surtout la possibilité de rajouter des dispositifs permettant d'améliorer certaines de ses caractéristiques comme le confort, la sécurité, la souplesse dans la conduite. Par rapport à cela, l'électricité et l'électronique prennent une grande importance dans le secteur automobile. En réalité, c'est toute une petite usine électrique qui se trouve à bord de la voiture afin de satisfaire une quantité d'appareils utilisateurs de courant. La croissance de ces dispositifs embarqués entraîne inévitablement une augmentation de la consommation électrique dans les véhicules. De plus le fonctionnement de ces derniers exige une source d'énergie et de stockage fiable. Ainsi l'électrification des véhicules représente un enjeu majeur pour les constructeurs automobiles. Dans cette optique, l'objectif de ce présent mémoire est de faire l'étude de conception de l'équipement électrique classique dans une voiture, en présentant un modèle de l'alternateur et du système de stockage permettant d'assurer le fonctionnement des appareillages électriques et dispositifs électroniques présents dans celle-ci. Ce présent mémoire concerne une première étude d'un équipement électrique destinée à une voiture à construire à Madagascar. Il est évident qu'une équipe devra se former dans plusieurs disciplines pour pouvoir construire une voiture et dont les tâches sont standardisées.

Pour mieux éclaircir le sujet, ce travail va s'organiser en quatre chapitres :

- Le premier chapitre rappelle la généralité sur l'automobile, son contexte général, ses fonctionnalités avec les différentes parties qui le constituent.
- Dans le second chapitre nous étalerons les différents équipements électriques présents dans un véhicule en montrant l'intérêt que représente chacun dans l'engin en question.
- Le troisième chapitre évoque la modélisation de l'alternateur et de la batterie en vue de son optimisation pour le fonctionnement automobile. On présentera également dans cette partie les charges typiques utilisées dans une voiture.
- Enfin, le dernier chapitre sera consacré à la simulation sous Simulink de MATLAB du fonctionnement de l'alternateur et de la batterie dans une voiture, ainsi que leur capacité à assurer l'alimentation de différentes charges imposées face aux différents paramètres du véhicule. Nous présenterons également les différents résultats y afférents. Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale de l'ensemble et des perspectives envisageables.

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR L'AUTOMOBILE

1.1 Introduction

L'automobile est la plus belle conquête de l'homme. Cette merveille représente l'une des clés de la mobilité et du facteur de développement d'une société moderne. Dans son ensemble, elle présente plusieurs entités complexes qui interagissent ensemble pour assurer sa fonction.

1.2 Fonctionnalités de l'automobile

Etymologiquement, le terme automobile qualifie tout engin capable de se déplacer par ses propres moyens et qui transporte l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Pour cela, elle assure deux missions principales :

- Fonction d'usage : Pour l'utilisateur, elle a pour rôle de transporter le conducteur et ses passagers ou ses marchandises d'un point A à un point B dans les meilleures conditions de confort et de sécurité.
- Fonction globale : d'un point de vue technique, elle a pour fonction de se propulser en transformant l'énergie du carburant (chimique) en énergie mécanique qui sera à son tour transformée en énergie cinétique par les roues motrices. [1] [2]

Le schéma ci-dessous représente la figure d'un véhicule :

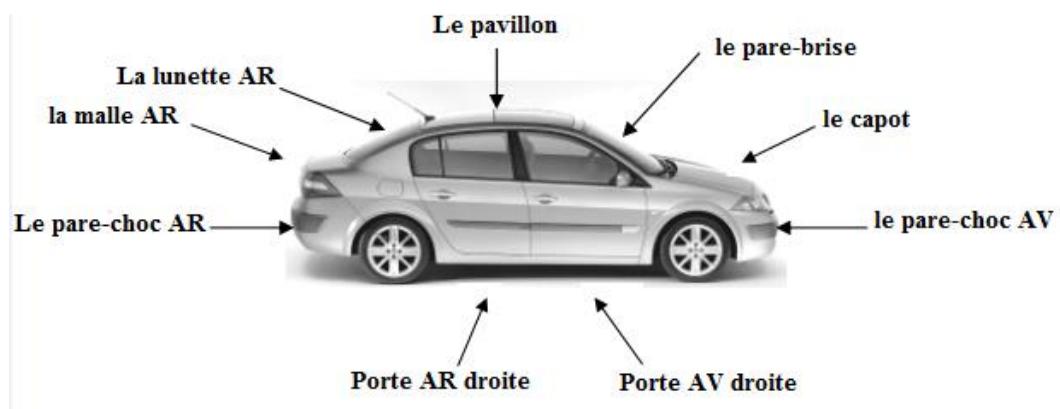


Figure 1.01 : Le véhicule

1.3 Caractéristique d'un véhicule [1] [2]

Les caractéristiques d'un véhicule sont résumées sur la figure suivante :

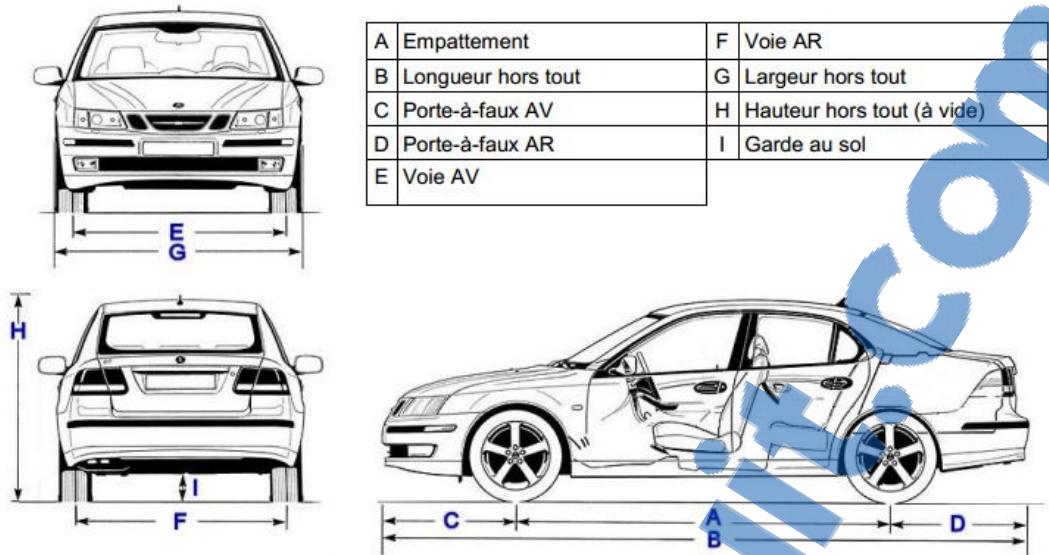


Figure 1.02 : Caractéristiques d'un véhicule

1.4 Classification des automobiles

Il existe plusieurs types de véhicules routiers :

- Les véhicules particuliers : C'est une automobile comportant au maximum neufs places assises y compris celle du conducteur. Sa construction et son aménagement lui destine principalement au transport de personnes et de leurs bagages et/ou éventuellement de petites marchandises.
- Les véhicules utilitaires : pour le transport des marchandises et des personnes (nombre supérieure à 9)
- Les véhicules lourds : destinés au transport industriel [1] [2]

1.5 Eléments principaux constitutifs de l'automobile

Un véhicule est constitué principalement de plusieurs organes qui interagissent ensemble en vue d'accomplir ses fonctions. Ces éléments sont alors : [1] [2]

- Le châssis-carrosserie
- La motorisation
- Le système de transmission
- Le système de freinage
- La suspension et les essieux
- La direction

- Le système de refroidissement
- Les équipements électriques

1.5.1 Le châssis-carrosserie

Dans un véhicule, le châssis représente une structure généralement formée de poutres et de barres, reliées soit par soudure autogène soit par des éléments de liaison (boulonnées). En effet, il se présente sous diverse forme, comme montré sur la figure ci-dessous :

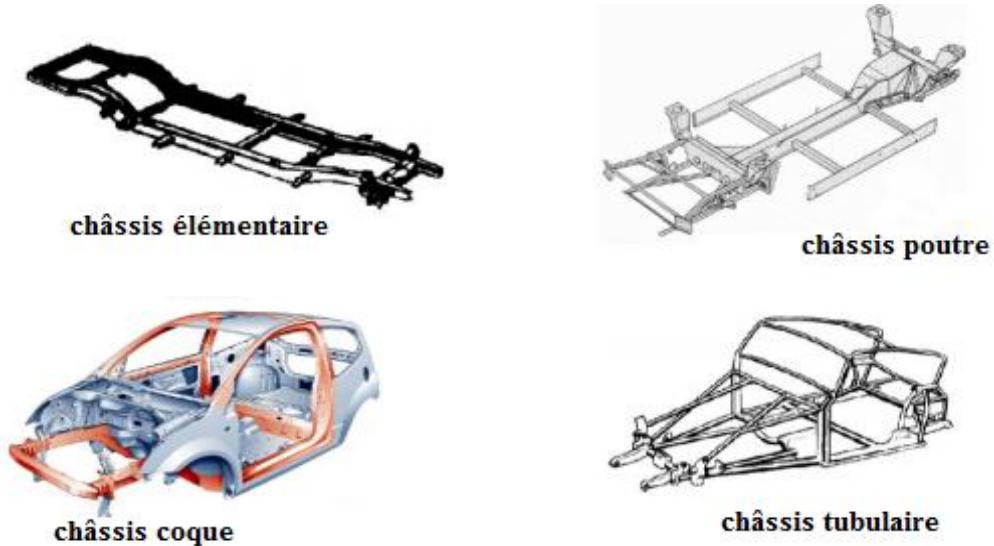


Figure 1.03 : Type de châssis

La carrosserie quant à lui, représente la coque de la voiture, elle est caractérisée par le nombre de portes, l'arrangement des sièges, la structure du toit. Elle est dans certains cas soudé sur le châssis afin de renforcer l'ensemble. La figure ci-dessous montre les diverses formes que peut prendre la carrosserie accompagnée de leur dénomination respective : [1] [2] [3]

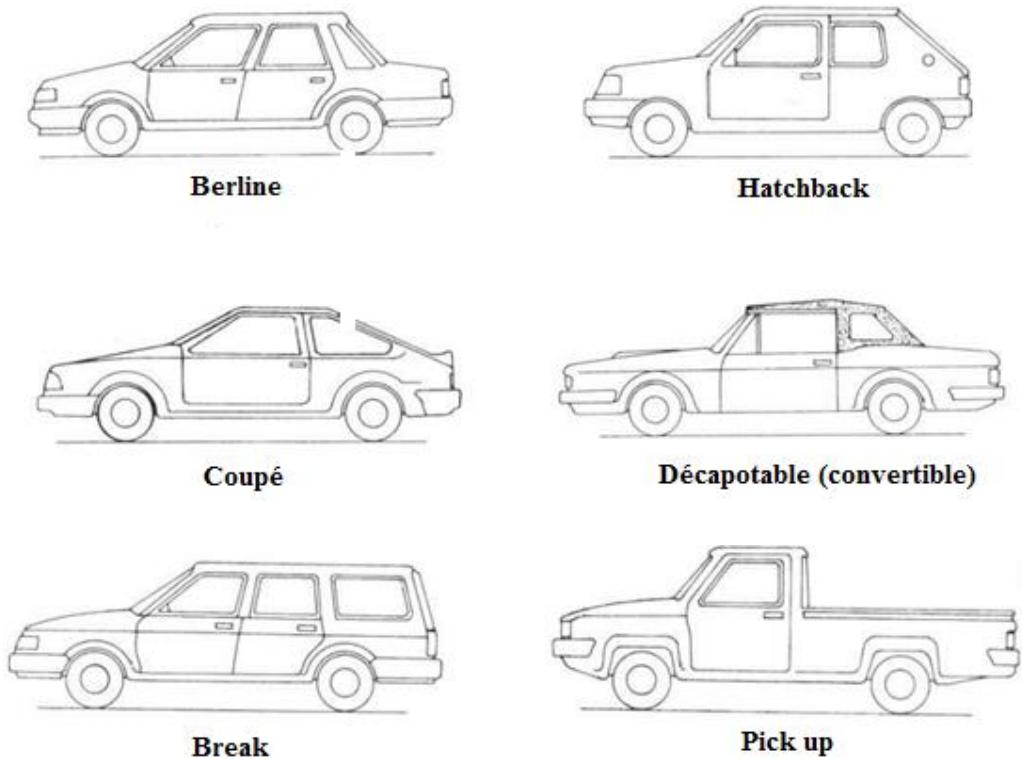


Figure 1.04 : Type de carrosserie de véhicule

Actuellement, le châssis et la carrosserie sont combinés en un et forme l'ensemble : châssis-carrosserie, qui regroupe en général trois parties principales :

- ➔ Un compartiment renfermant le système de motorisation, lié mécaniquement aux roues motrices
- ➔ Une cellule recevant le conducteur et les passagers, appelée : habitacle
- ➔ Un compartiment à bagages

Ainsi, l'ensemble châssis-carrosserie constitue l'ossature du véhicule. Il supporte les différents organes du véhicule (mécanique et autres), les marchandises et les personnes. Pour cela, il participe à d'autres fonctions secondaires :

- La protection de la mécanique et des passagers contre les intempéries
- Protection des passagers en cas d'accident
- l'aspect esthétique du véhicule
- contribue à la vitesse en adoptant la meilleure pénétration dans l'air.

1.5.2 *La suspension*

La suspension forme l'appui élastique de la carcasse du véhicule. En effet, elle a pour objet de conserver le confort des passagers en filtrant les vibrations et en absorbant une partie de l'énergie cinétique acquise par les roues lors de chocs ou des irrégularités de la route. Elle a également pour fonction de garantir la tenue de route du véhicule en maintenant le contact entre les roues et le sol malgré les débattements de la roue provoqués par les chocs. Ainsi, trois éléments coopèrent à maintenir l'élasticité de la suspension : [1] [2] [3]

- Les ressorts inclus dans les coussins et dossiers des sièges
- Les ressorts principaux, chargés d'assurer la liaison de la carcasse de la voiture avec les essieux et les roues
- Les ressorts constitués par les chambres à air des pneumatiques

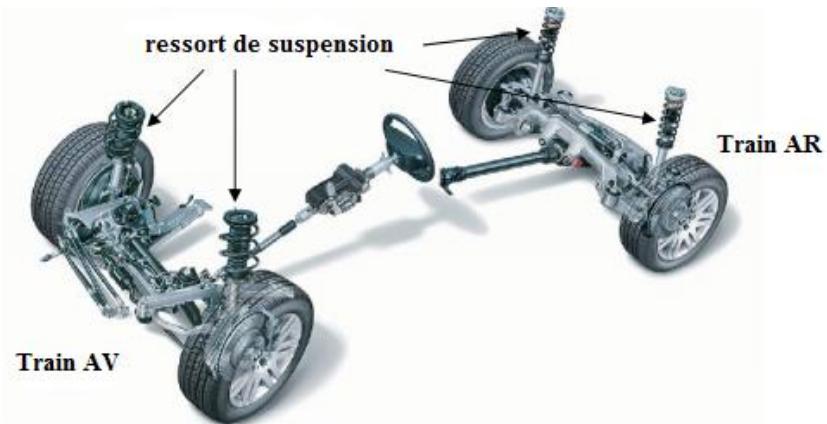


Figure 1.05 : Le système de suspension intégré sur le véhicule

Dans une voiture, la roue qui se lève en heurtant un obstacle fait fléchir ou contracter le ressort vers la carcasse de la voiture. Cet effort provoque une série d'oscillations désagréables et nuisibles à la tenue de route. Ainsi, on adjoint à chaque ressort un amortisseur qui a pour effet de freiner rapidement ces oscillations. Pour le cas des ressorts pneumatiques, l'amortissement naturel des oscillations est différent de celui des ressorts d'acier, en raison du caoutchouc de son enveloppe qui, lui-même produit un certain effet d'amortissement. [1] [2] [3]

1.5.3 *Le système de transmission*

On désigne par système de transmission, l'ensemble des mécanismes situés entre le moteur et les roues motrices. En effet, il reçoit l'énergie mécanique du moteur à travers le volant moteur et l'achemine aux roues motrices. Il adapte également l'énergie c'est à dire la puissance et le couple

du moteur selon les efforts résistants rencontrés par le véhicule (démarrage, accélération, côtes, descentes). Ainsi, plusieurs organes sont indispensables pour assurer cette fonction à savoir : [1] [2] [3]

- L'embrayage
- La boîte de vitesse
- Le pont
- Le différentiel

1.5.3.1 L'embrayage [1] [2] [3]

Pour pouvoir engager la première combinaison de vitesse, il est nécessaire de couper la liaison entre le moteur et l'arbre primaire sans quoi les pignons que l'on voudrait accoupler, l'un tournant à la vitesse du moteur, l'autre ne tournant pas, se heurteraient dans un fracas destruction. Ainsi, l'embrayage a pour rôle d'interrompre momentanément la transmission sous l'action d'une pédale de commande, puis de rétablir progressivement l'entraînement par le moteur lorsque la combinaison de vitesse est enclenchée. La manœuvre de l'embrayage est également nécessaire pour passer d'une combinaison à une autre, ou pour revenir au point mort. Pour cela, l'embrayage constitue l'ensemble des pièces qui se trouvent entre le moteur et la boîte de vitesse quelle que soit la disposition des organes de transmission dont :

- Le volant moteur : il sert de support au mécanisme d'embrayage et de plateau au disque.
- Le disque : C'est une pièce en tôle sur laquelle se fixent les garnitures.
- Le mécanisme à diaphragme : il est fixé sur le volant moteur et assure la liaison entre celui-ci et le disque d'embrayage. En fait, il possède un plateau de pression qui plaque le disque contre le volant moteur et un diaphragme qui joue le rôle d'une multitude de ressorts et qui a pour fonction de maintenir le plateau en pression contre le disque et le volant moteur.
- La butée de débrayage : Son rôle consiste à commander le mécanisme de l'embrayage en transmettant une force sur le diaphragme, ce qui aura pour conséquence de libérer le disque et de donc de désaccoupler le moteur de la boîte de vitesse.

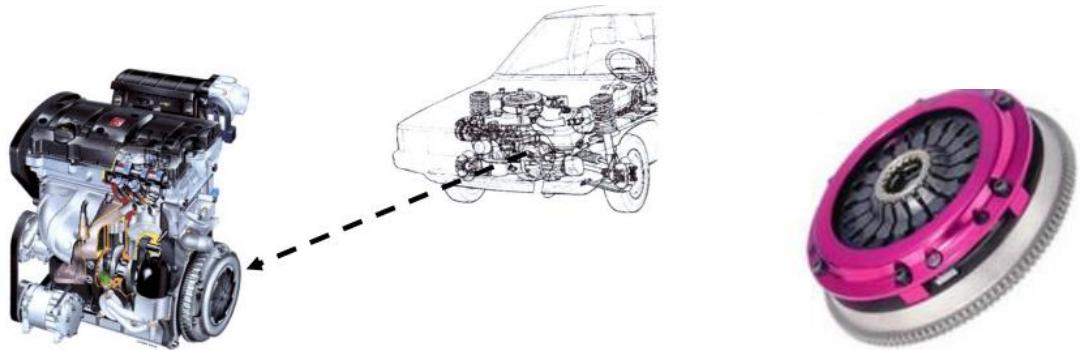


Figure 1.06 : L'embrayage

1.5.3.2 La boîte de vitesse

Elle correspond à l'ensemble des pièces implantées entre l'embrayage et le pont. La boîte de vitesse est un variateur de couple et a pour fonction d'adapter le couple moteur au couple résistant. [1] [2]

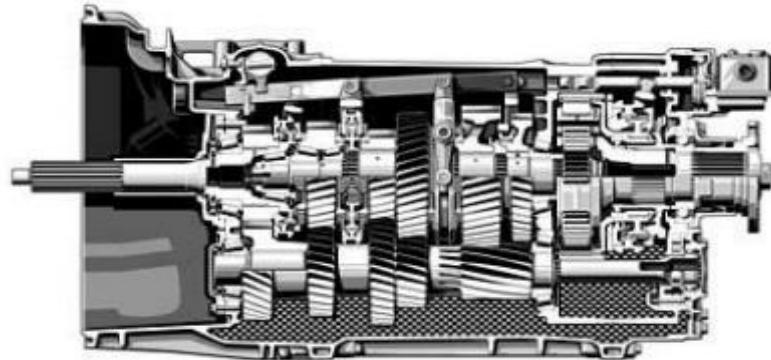


Figure 1.07 : La boîte de vitesse

1.5.3.3 Le pont et le différentiel

Le pont et le différentiel forment l'ensemble des pièces qui réalisent la transmission du mouvement moteur aux roues et permettant à celles-ci, des vitesses de rotation différentes. Ils participent à la démultiplication de la vitesse et à la multiplication du couple moteur. En outre, le différentiel a spécifiquement pour rôle de répartir sur chacune des deux roues l'effort reçu du couple conique tout en leur permettant de tourner dans les virages à des vitesses différentes vue qu'ils ont un chemin inégal à parcourir. [2] [3]

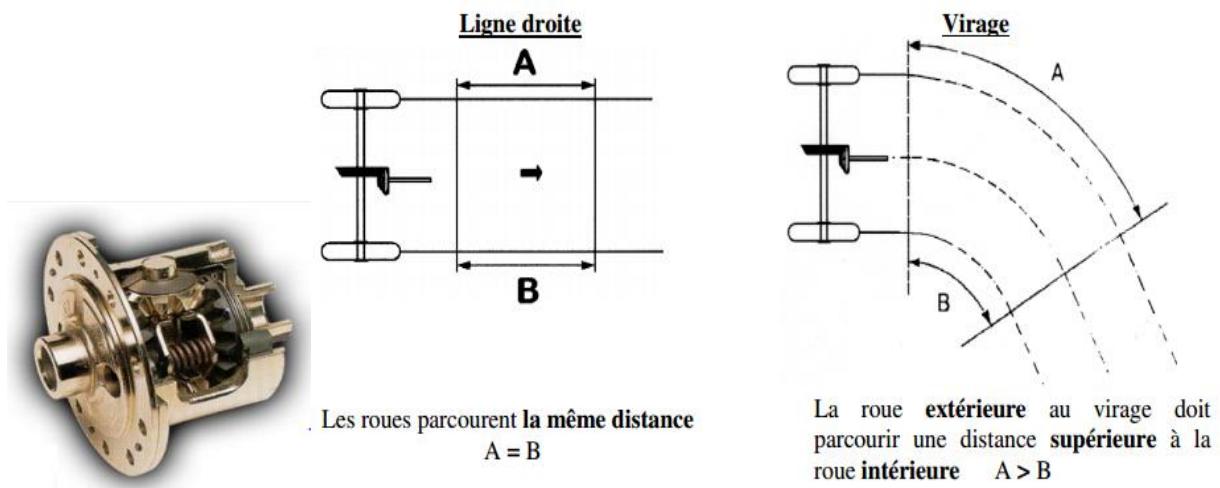


Figure 1.08 : Le différentiel

Dispositions des organes de transmission [1] [2]

Les organes de transmission sont disposés de manières différentes d'un véhicule à l'autre. La figure ci-après illustre les variantes dispositions possible de l'organe de transmission dans un véhicule :

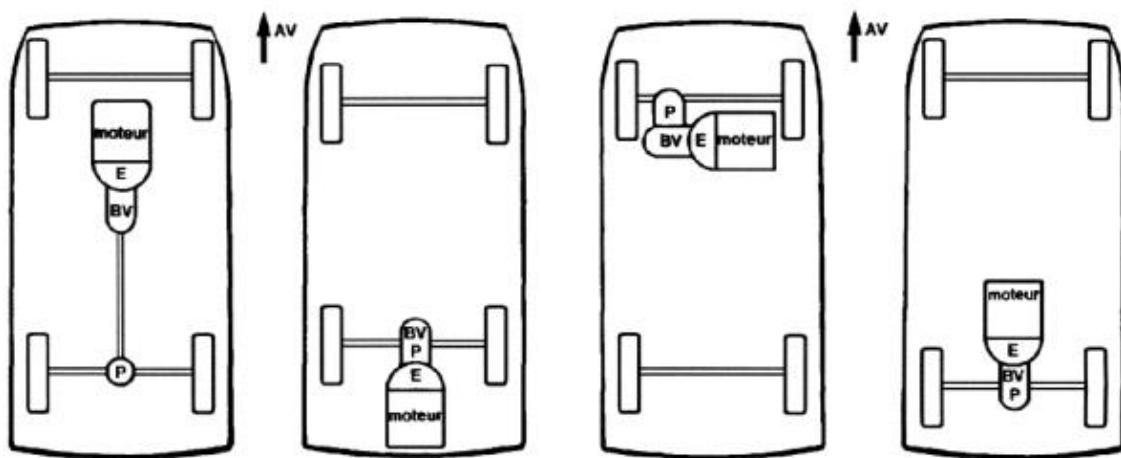


Figure 1.09 : Les variantes dispositions des éléments d'un système de transmission

1.5.4 La direction

Le système de direction permet de maintenir ou de modifier la trajectoire du véhicule en orientant ses roues avec précision, sans effort important de la part du conducteur, et en conservant une tenue de route satisfaisante. Pour pouvoir y parvenir, le conducteur agit sur le volant. Le schéma ci-dessous présente les éléments du système de direction [1] [2] [3] :

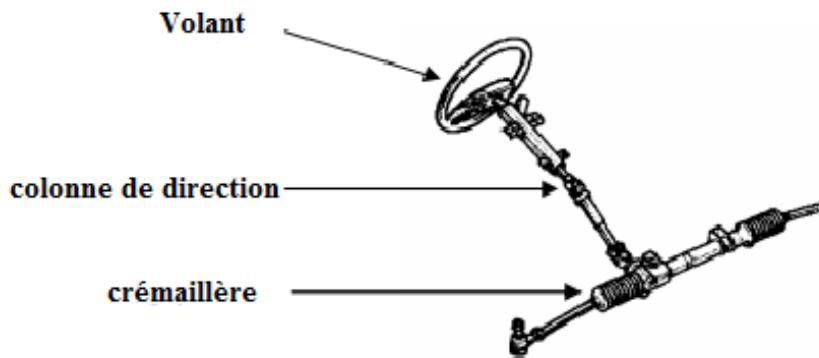


Figure 1.10 : Le système de direction

1.5.5 Le système de freinage

Les freins ont pour mission de ralentir la vitesse du véhicule, de l'arrêter rapidement ou de le maintenir à l'arrêt en dissipant par frottement ou tout autre mécanisme de l'énergie cinétique acquise par le véhicule. En effet, un véhicule en mouvement possède une certaine énergie cinétique proportionnelle au carré de sa vitesse et de sa masse, alors le système de freinage a pour fonction d'absorber cette énergie cinétique par diminution ou annulation de vitesse. Pratiquement celle-ci est transformée en chaleur par un frottement entre un organe lié au châssis (organe fixe) et un organe lié aux roues (organes en mouvement). Les freins sont, de ce fait représentés par des segments répartis généralement au nombre de deux à chacune des roues avant et arrière et qui frottent à l'intérieur d'un tambour solidaire de chaque roue. Sous l'action du conducteur sur une pédale dite : pédale de frein, ils agissent par l'intermédiaire d'une tringlerie, de câbles ou encore d'une sorte de petite presse hydraulique (freins hydraulique) de telle façon que l'effort de commande reste modéré pour un serrage très énergique des freins. [1] [2] [3]

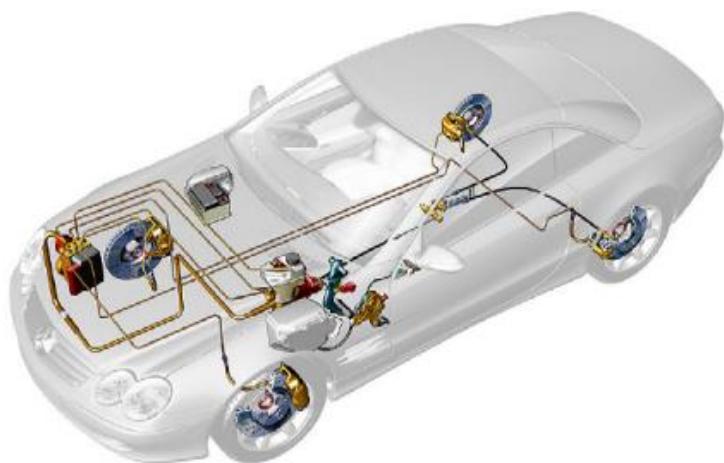


Figure 1.11 : Disposition du système de freinage

1.5.6 Le système de motorisation

La fonction du moteur est de produire une énergie mécanique pour assurer la propulsion du véhicule, en transformant l'énergie chimique grâce à une combustion du mélange gazeux (air + essence) dans la chambre de combustion. [1] [2] [3]

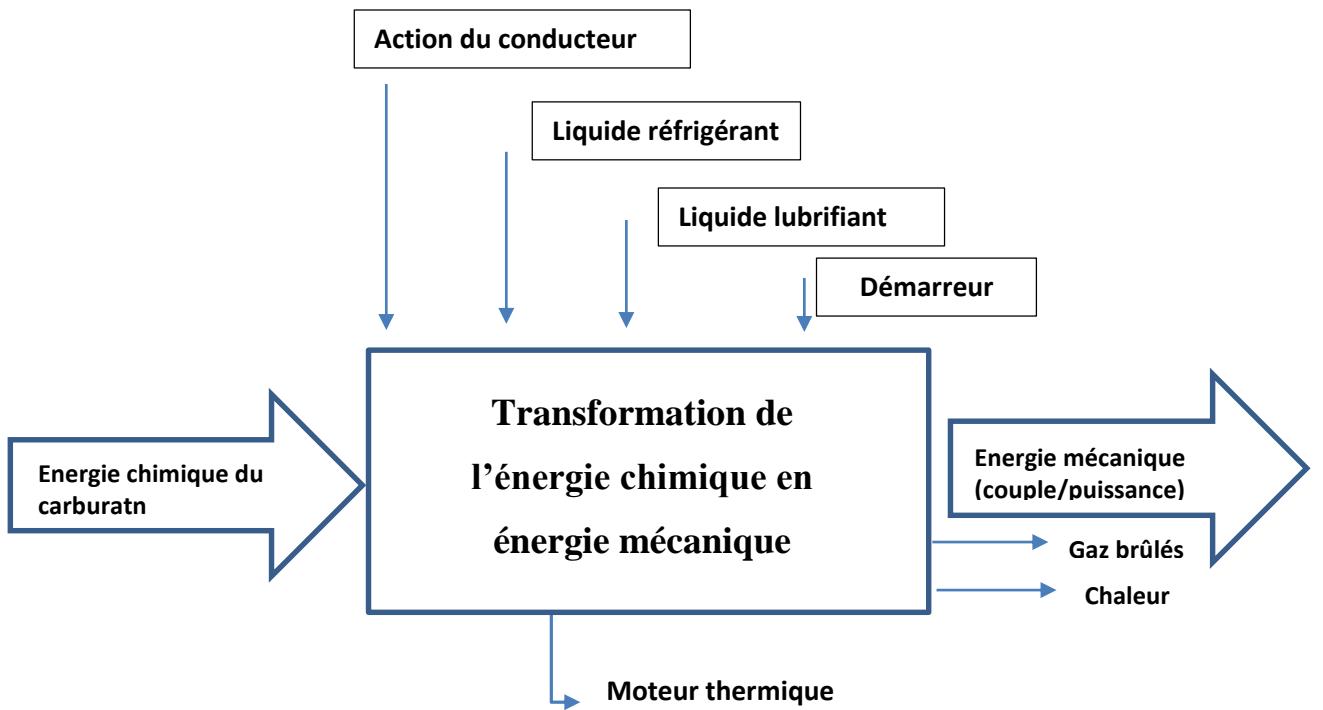
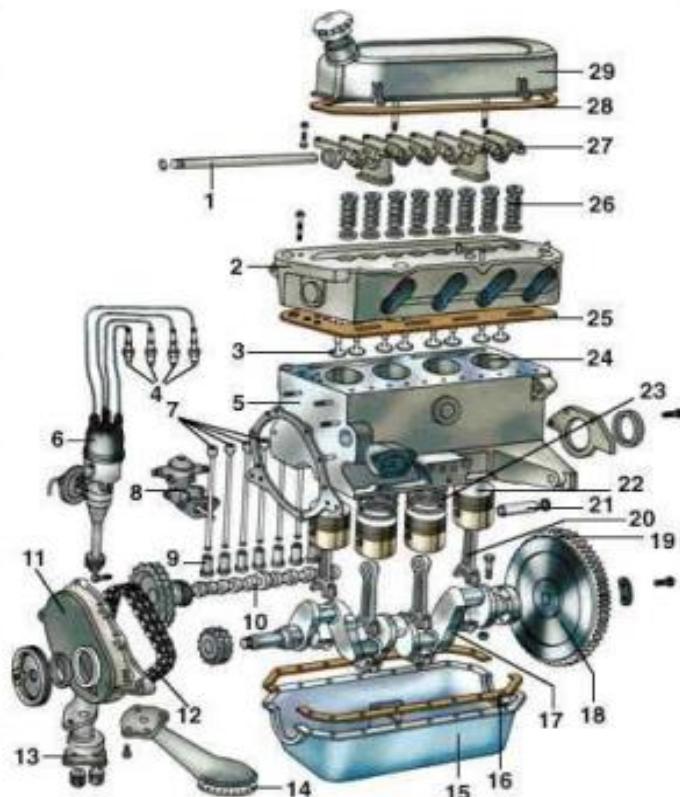


Figure 1.12 : Fonction du moteur

1.5.6.2 Architecture générale

Le schéma ci-dessous représente les principaux éléments constitutifs d'un moteur :



1) Axe des culbuteurs	16) joint de carter
2) Culasse	17) Vilebrequin
3) Soupapes	18) Volant moteur
4) Bougies	19) Couronne dentée entraînée par le démarreur
5) Bloc cylindres	20) bielle
6) Allumeur	21) axe de piston
7) Tige de commande des culbuteurs	22) piston
8) Pompe à essence	23) Segments
9) Pousoirs	24) Cylindre
10) Arbre à cames	25) Joint de culasse
11) Carter de distribution	27) Culbuteurs
12) Chaîne de distribution	28) Joint de cache culbuteurs
13) Pompe à huile	29) cache culbuteurs
14) Crête de pompe à huile	

Figure 1.13 : Vue éclatée d'un moteur à explosion

Le moteur est en effet, constitué de deux parties :

- Les parties fixes
- Les parties mobiles

Les parties fixes comprennent principalement :

- Le bloc moteur ou bloc cylindres
- La culasse qui sert de couvercle hermétique à la partie supérieure des cylindres et supportant l'arbre à cames et les soupapes

Les parties mobiles formées de :

- L'attelage mobile qui inclut : le vilebrequin, les bielles, les pistons munis de leurs segments
- La distribution composée de : l'arbre à cames, soupapes et ressorts de rappel, un système de rappel entre le ou les arbres à cames et le vilebrequin constitué d'une ou plusieurs chaînes ou courroies crantées. [1] [2] [3]

1.5.6.3 Cycle 4 temps

En effet, l'opération de conversion de l'énergie calorifique née dans la combustion du mélange air + essence en énergie mécanique s'effectue en quatre temps :

- 1- L'admission ou aspiration : la soupape d'admission s'ouvre. Le piston passe du PMH vers le PMB et aspire un mélange (air +essence) dans le cylindre.
- 2- La compression : la soupape d'admission se ferme. Le piston passe du PMB au PMH et comprime le mélange gazeux.
- 3- La combustion ou explosion : le mélange gazeux ayant atteint sa compression optimale, une bougie provoque son inflammation en y envoyant une étincelle. La grande pression, née de la combustion, exerce une force qui pousse le piston vers le PMB.
- 4- L'échappement : la soupape d'échappement s'ouvre. Le piston passe du PMB au PMH et chasse les gaz brûlés hors du cylindre et le cycle recommence. [1] [2] [4]

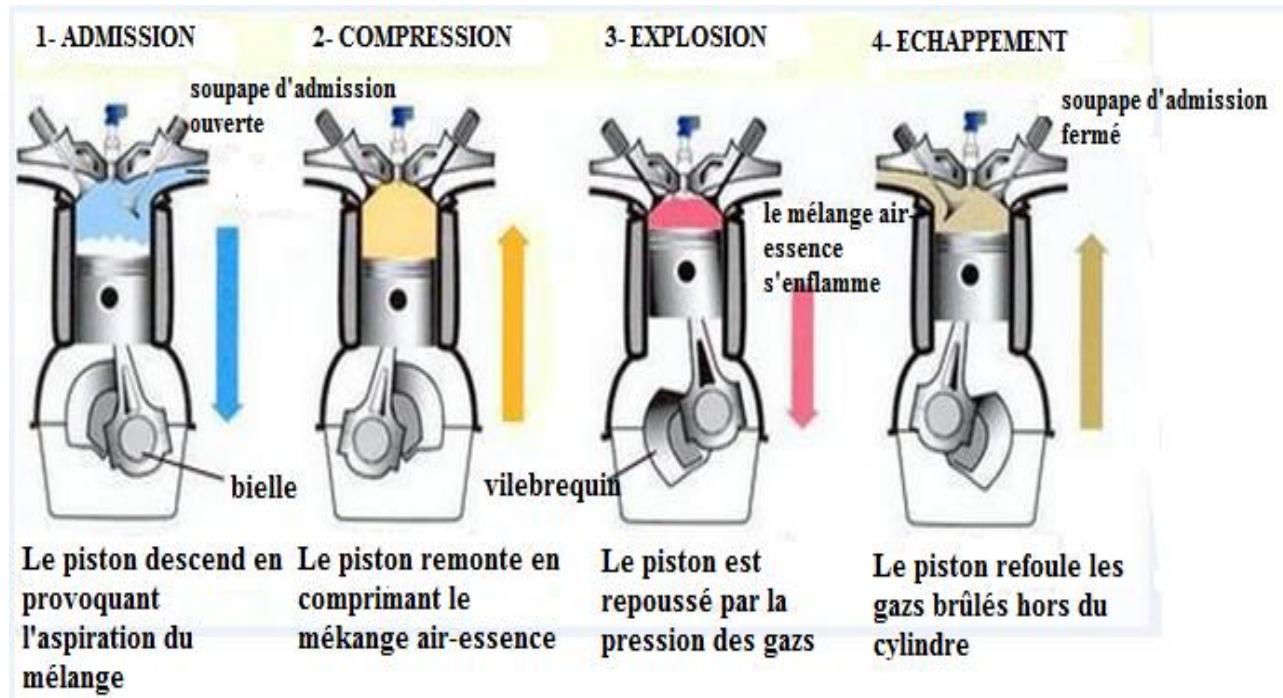


Figure 1.14 : Le cycle 4 temps du moteur à essence

L'accroissement de la pression « P » (en bars) dû à la combustion crée un effort « F » (en N) sur la surface « S » (cm^2) de l'élément mobile de l'enceinte (le piston) tel que :

$$F = P \times S \quad (1.01)$$

Cette force F est convertie en travail mécanique « W » par le déplacement « L » du piston tel que :

$$W = F \times L \quad (1.02)$$

L'ouverture et la fermeture des soupapes sont commandées par l'arbre à cames, entraîné par le vilebrequin via un jeu d'engrenage. La vitesse de l'arbre à cames est égale à la moitié de celle du vilebrequin. Ainsi pour effectuer les 4 temps, le vilebrequin réalise 2 tours. [1] [2]

1.5.7 Le système de refroidissement du moteur

Le circuit de refroidissement a pour but de prévenir la surchauffe du moteur. Étant donné qu'un moteur à combustion peut atteindre des températures extrêmement élevées, la chaleur ainsi créée doit être dissipée. Il est essentiel que le circuit de refroidissement soit efficace afin d'éviter de brûler le moteur. Une autre fonction du circuit de refroidissement consiste à contrôler la température de l'habitacle, assurant ainsi le confort des passagers. Dans le moteur à combustion modernes, ce refroidissement est exclusivement réalisé par un liquide sous forme d'eau. C'est la raison pour laquelle on parle du refroidissement par eau ou par liquide. Le rôle de la pompe à eau est d'assurer

la circulation du liquide de refroidissement dans le système de refroidissement permettant ainsi de garantir la dissipation régulière de la chaleur du moteur et l'alimentation du circuit de chauffage en liquide de refroidissement réchauffé. Ces composantes principales sont illustrées sur la figure ci-après : [1] [2]

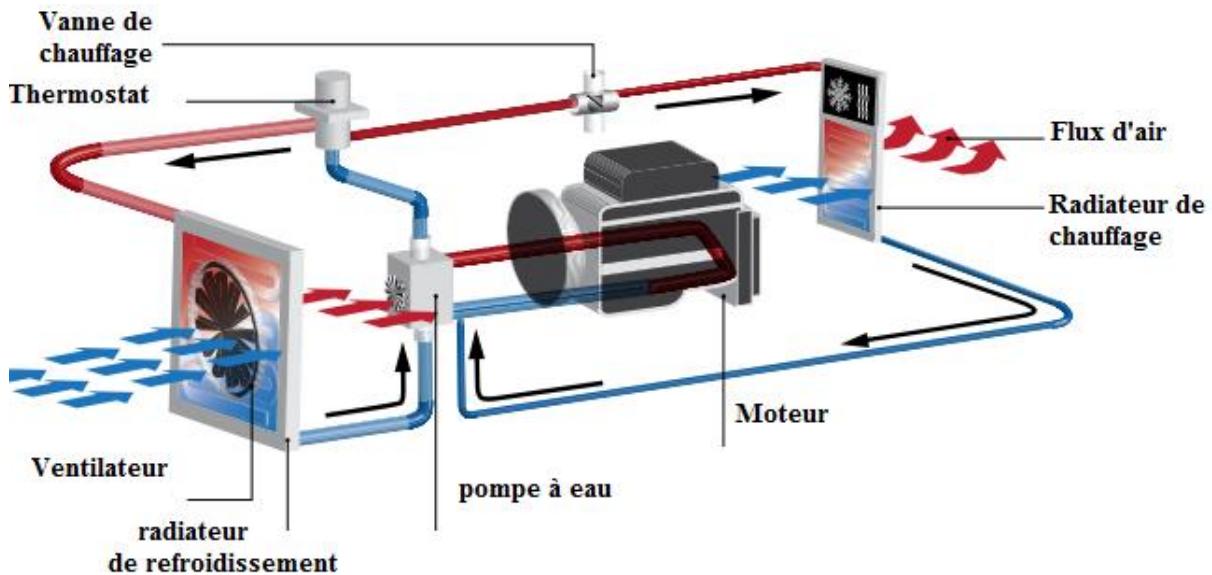


Figure 1.15 : Circuit de refroidissement

Conclusion

Ce premier chapitre nous a permis de donner un aperçu de ce que c'est une automobile dans son ensemble. On a pu voir ses principales missions, ses caractéristiques et ses classifications. Tout ses systèmes mécaniques ainsi que ses différents organes constitutifs ont également été énumérées et expliquées. Nous aborderons dans le chapitre suivant le périmètre de notre travail, les équipements électriques dans un véhicule.

CHAPITRE 2 LE SYSTEME ELECTRIQUE AUTOMOBILE

2.1 Introduction

Pour une automobile, le système électrique est constitué par les circuits suivants :

- le circuit de charge
- le circuit de démarrage
- le circuit d'allumage
- le circuit d'éclairage, de signalisation et des accessoires
- le système de protection

Les consommateurs sont ici représentés par le circuit de démarrage, le circuit d'allumage, et le circuit de signalisation, d'éclairage et des accessoires. Les conducteurs, par les différents câbles qui relient tout le système.

2.2 Le circuit de charge

Les véhicules automobiles modernes sont équipés de nombreux circuits électriques et électroniques. Pour pouvoir répondre à la consommation permanente d'électricité, il est donc nécessaire de disposer d'une source d'énergie électrique embarquée et autonome, mais également d'un dispositif de production de courant. En effet, cette fonction, autrefois dévolue à une dynamo, est à présent confié à un alternateur, qui présente de nombreux avantages en termes de légèreté, d'encombrement, et surtout de performance. La finalité du système est alors de disposer à la demande, d'une énergie électrique basse tension continue allant de 12.5 à 14.5 volts environ. Le circuit de charge est essentiellement composé de plusieurs organes comme illustré sur la figure ci-dessous, à savoir :

[4] [5] [6]

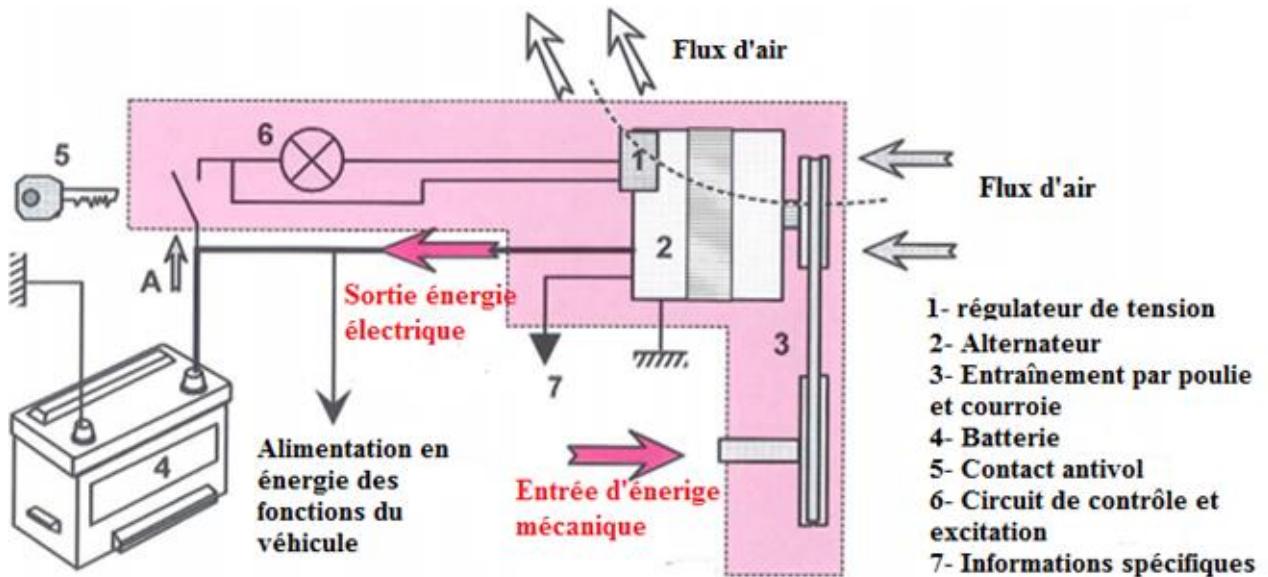


Figure 2.01 : Les éléments d'un circuit de charge

Partie opérative

- La batterie, qui constitue le réservoir d'énergie électrique du véhicule.
- L'alternateur et le circuit de redressement

Partie commande

- Le contacteur à clé : qui a pour rôle d'interrompre ou d'établir le circuit électrique de charge
- Le régulateur de tension : limite la tension à une valeur acceptable par la batterie (max de 14.2 Volts)

Les voyants : ce sont des informations visuelles témoignant de la charge ou de la non-charge. [4] [5] [6]

2.2.1 La batterie

Par définition, une batterie d'accumulateur est un dispositif qui permet d'emmageriser de l'énergie électrique sous forme chimique, en vue d'une utilisation ultérieure. En automobile, elle assure deux rôles principaux :

- fournir la puissance électrique utile à l'alimentation du démarreur : la batterie d'une automobile est sollicitée pendant un court laps de temps, lors du démarrage. Dès que l'automobiliste tourne la clé, le circuit électrique se ferme. La batterie décharge alors un très grand courant qui servira à mettre le moteur en marche. Une fois l'automobile démarée,

c'est principalement l'alternateur qui s'occupe de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'appareillage électrique et aussi de recharger la batterie.

- alimenter les dispositifs électroniques et des appareils électriques tels que : l'éclairage, la signalisation et autres accessoires à l'arrêt du véhicule.
- seconder l'alternateur à l'alimentation des consommateurs électriques lorsque leur demande en électricité excède le courant maximal produit par l'alternateur. [5] [6] [7]

La figure suivante appuie les propos cités ci-dessus :

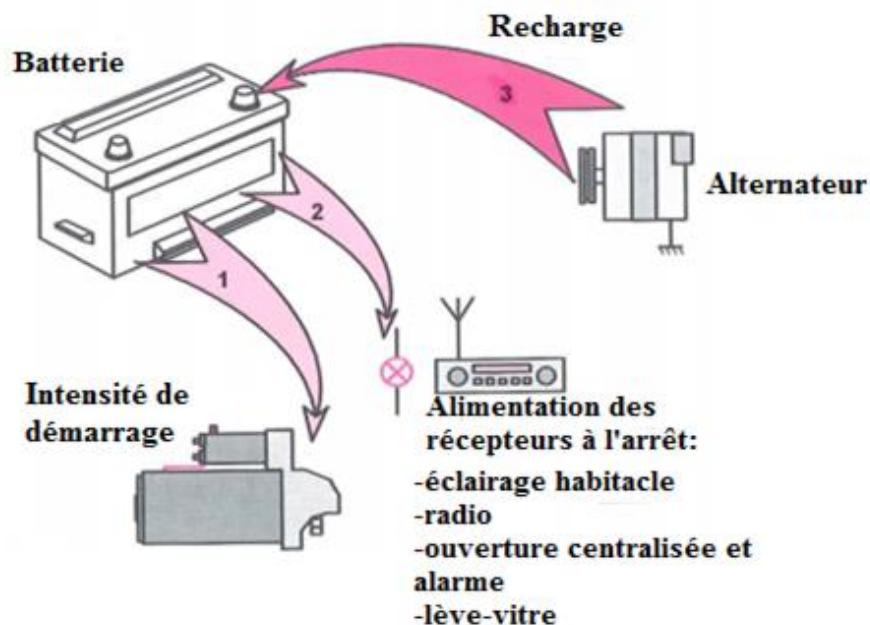
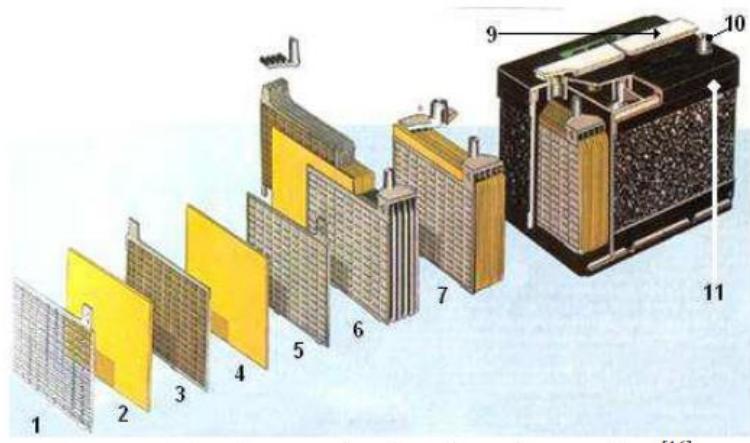


Figure 2.02 : Fonction de la batterie automobile

Une batterie est en général, constituée de deux électrodes plongées dans une solution dite : électrolyte, qui facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. L'ensemble « électrodes/électrolyte » est enfermé dans un récipient spécial en ébonite, en terre ou en plastique appelé : bac, matériau isolant et perméable. En réalité, une batterie d'automobile, capable de fournir une tension de 12V ou de 24V est constituée de 6 ou 12 cellules/éléments reliés en série. En effet, un élément comporte deux groupes de plaques : positives et négatives, entrelacées et isolées l'un par rapport à l'autre par des séparateurs inattaquables par l'acide. Les plaques positives forment l'électrode positive et les plaques négatives forment l'électrode négative. La différence de potentiel entre ces deux électrodes est de deux 2 volts. [6] [7]



1 : Grille	7 : Élément complet
2 : Séparateur	8 : Pont
3 : Plaque positive	9 : Rampe de bouchons
4 : Plaque négative	10 : Borne
5 : Barrette	11 : Bac
6 : Faisceau négatif	

Figure 2.03 : Vue éclatée d'une batterie

2.2.1.1 Les batteries plomb-acide

Ce sont les batteries les plus utilisées en automobile. Elle tient sa nomination grâce à ses électrodes qui sont à base de plomb. L'électrolyte est dans ce cas, formé de l'acide sulfurique dilué dans de l'eau distillée. C'est dans cette solution que baignent les électrodes. L'électrode positive dite cathode est représentée par une barre de dioxyde de plomb ; elle a comme comportement d'attirer des électrons naturellement pour pouvoir assurer sa stabilité et l'électrode négative appelée anode à son tour, a tendance à donner des électrons ; il s'agit en effet, du « plomb spongieux ». [6] [7] [8]

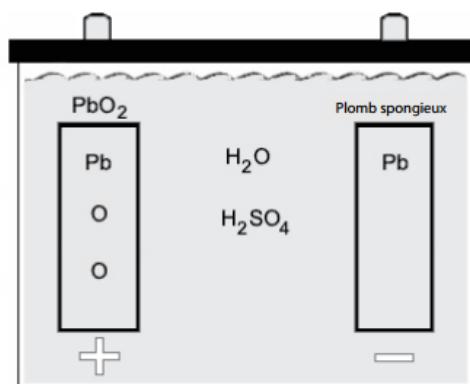


Figure 2.04 : Représentation schématique de la batterie plomb-acide

Le principe de fonctionnement d'une batterie au plomb repose sur l'action chimique de l'acide sulfurique sur le plomb. En effet, pendant la décharge, c'est-à-dire lorsqu'une charge électrique est branchée sur une batterie, une réaction chimique se produit : les molécules de sulfate dans l'électrolyte se décomposent et se fixent sur les plaques négatives et positives. Simultanément, les atomes d'oxygène provenant des plaques positives formés par du dioxyde de plomb vont dans la solution d'électrolyte pour se joindre aux atomes d'hydrogène, formant ainsi de l'eau. Ce déplacement de molécules de sulfate vers les plaques et les atomes d'oxygène vers la solution libèrent de l'énergie. Ceci est appelé le cycle de décharge. Lorsque la batterie est complètement déchargée, les deux plaques comportent du sulfate de plomb PbSO_4 et la solution d'électrolyte est constituée totalement de l'eau, comme illustré sur la figure ci-dessous. [6] [7] [8]

Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge, les molécules de sulfate reviennent dans la solution, et les molécules d'oxygène dans l'eau retournent sur les plaques positives. Il est à noter que toute surcharge élevée provoque la corrosion, des déformations, de l'érosion sur les plaques, ainsi qu'une surchauffe. [6] [7] [8]

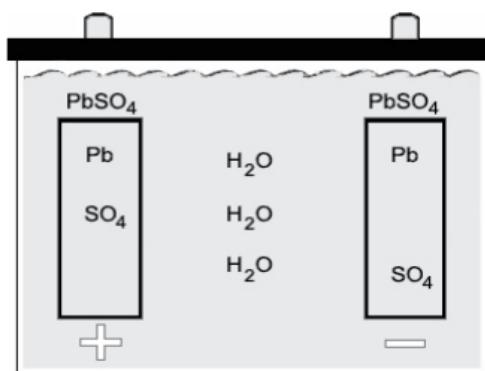
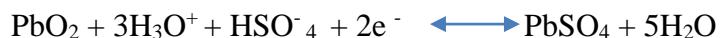


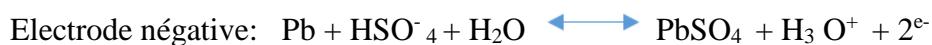
Figure 2.05 : Batterie complètement déchargée

Les équations suivantes décrivent la réaction « d'oxydo-réduction » qui s'y produit :

L'électrode positive a un comportement de cathode en décharge car le PbO_2 est réduit en PbSO_4 , et devient anode en charge puisque le PbSO_4 s'oxyde en PbO_2 :



Production permanente de dioxygène (gaz) :



Production permanente de dihydrogène (gaz) :



Au bilan, l'électrolyse de l'eau d'un élément s'écrit :



Les 2 réactions de charge et de décharge peuvent se résumer en une seule réaction :



2.2.1.2 Grandeurs caractéristiques d'un accumulateur électrochimique

Les caractéristiques principales d'une batterie à prendre en compte sont :

- **La tension maximale** : c'est la tension mesurée au repos de la batterie sans débit de courant. La tension pour une batterie chargée à 100% est de l'ordre de 12.7 V. Avec une tension de 11.9V, la batterie est déchargée à 80%.
- **Intensité nominale ou intensité de démarrage** : Ce terme a une relation directe avec la consommation du démarreur pendant la phase de mise en route du moteur. En fait, il exprime la faculté de la batterie à alimenter le démarreur pendant un certain temps dans des conditions difficiles. Comme il représente le courant de démarrage ainsi il est exprimé en Ampère.
- **Capacité nominale** : elle correspond à la capacité de stockage de l'accumulateur. Elle représente en effet, la quantité d'électricité pouvant être délivrée pendant une durée déterminée par la batterie lui-même, en d'autre terme l'intensité maximale du courant qu'une batterie est capable de débiter durant une heure. En outre, elle représente un moyen théorique d'évaluation du rendement d'une batterie. Cependant, la capacité d'une batterie n'est pas constante et dépend essentiellement de plusieurs paramètres telles que :
 - la surface des plaques des éléments
 - du volume de l'électrolyte
 - de la température de la batterie et de son atmosphère. La température ambiante a un effet important sur la capacité de la batterie. Comme une batterie dépend des réactions chimiques pour fonctionner, la rapidité de ces mêmes réactions augmente à mesure que s'élève la température. Cette dernière à une température plus élevée. Des températures plus faibles réduisent leur capacité

significativement et des températures plus hautes favorisent la batterie à produire plus de puissance d'où une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés

- **Le rendement :** le rendement de la batterie est proportionnel aux taux de décharge et à la température de fonctionnement. Plus le taux de décharge est lent, plus le rendement de la batterie est élevé.
- **L'autodécharge :** elle désigne la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. En effet, elle dépend de la température : le taux d'autodécharge est d'autant plus rapide à mesure que la température augmente. [5] [6] [7] [8]

2.2.1.3 Fonction de la batterie plomb acide dans un véhicule

La batterie représente la source d'énergie du véhicule pendant l'arrêt du moteur thermique (arrêt de l'alternateur). Ainsi, elle doit assurer plusieurs fonctionnalités durant cette période :

- Fournir le courant nécessaire pour actionner le démarreur pendant une courte durée
- Permettre l'utilisation du feu de stationnement dans un délai raisonnable
- Assurer l'alimentation des accessoires électriques
- Assurer la bonne marche du système d'alarme quand on quitte le véhicule pendant une période déterminée. [6] [8]

Le critère de choix d'une batterie dépend essentiellement de deux paramètres :

- Sa capacité à actionner le démarreur (intensité maximale) à très basse température (- 18°C) pendant une durée déterminée, appelé : capacité de démarrage à froid
- Son pouvoir d'assurer l'alimentation des appareils électriques pendant l'arrêt du véhicule [5] [6]

2.2.1.4 Durée de vie d'une batterie

La durée de vie d'un accumulateur est liée directement à leurs conditions d'utilisation. En effet, elle dépend essentiellement du nombre de cycles « charge-décharge ». Pour obtenir une durée de vie de 10 à 15 ans, il est indispensable que la batterie, dans son fonctionnement, soit maintenue dans un état de charge supérieur à plus de 50%. [5] [6]

2.2.2 L'alternateur

L'alternateur est l'organe qui assure la production d'énergie électrique nécessaire au véhicule et également la charge de la batterie. Pour y parvenir, il transforme l'énergie mécanique provenant de la courroie du moteur thermique en énergie électrique. Le schéma ci-après illustre la figure réelle d'un alternateur automobile. [6] [7] [8]



Figure 2.06 : Alternateur réel d'automobile

2.2.2.2 Principe de production d'électricité

Dans un alternateur, le principe de production du courant repose sur le mouvement d'un aimant à l'intérieur d'une bobine qui est régit par loi d'induction électromagnétique : toute variation de flux magnétique à travers un circuit électrique fermé donne naissance à un courant induit.

En effet, si le circuit est ouvert, il y a une force électromotrice induite « e » à ses bornes, qui a pour expression : [4] [6]

$$e_{moy} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.01)$$

avec : e_{moy} = valeur moyenne de la f.e.m. induite en volts (V)

$\Delta\Phi$ = variation de flux magnétique en Webers (Wb)

Δt = variation du temps en secondes

Les éléments de l'alternateur

L'alternateur comporte plusieurs éléments tels que :

- Le rotor
- Le stator
- les flasques : supportent l'axe du rotor
- Le charbon et le régulateur

- La poulie : reçoit l'énergie mécanique (mouvement rotatif en provenant du moteur)
- Le ventilateur : refroidit l'alternateur et particulièrement les diodes
- Le pont redresseur [6] [7]

La figure ci-après appuie ce propos :

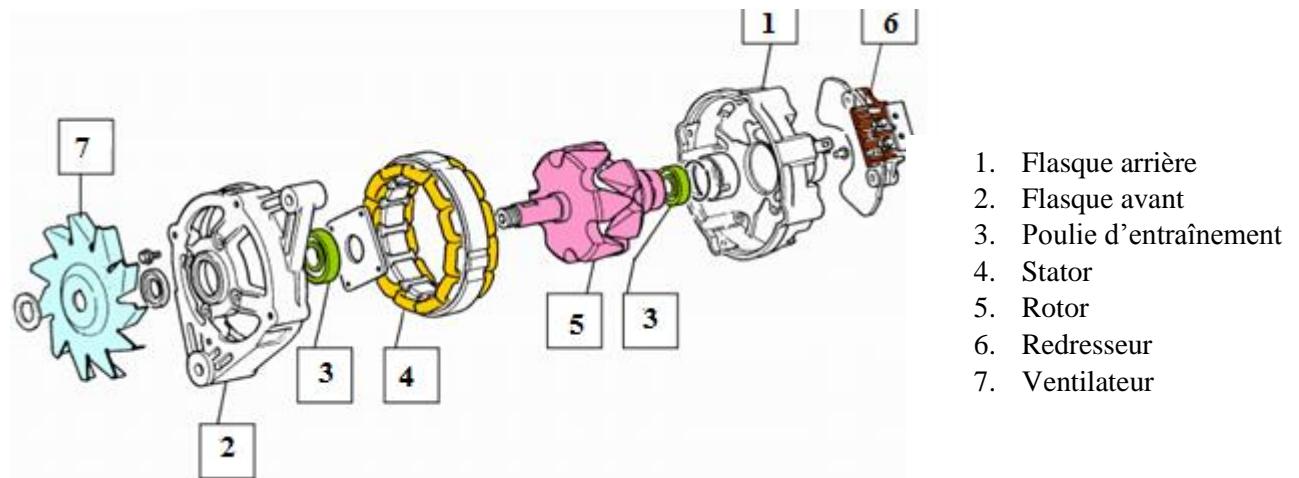


Figure 2.07 : Vue détaillée d'un alternateur

2.2.2.1 Rotor ou l'inducteur

Le rotor représente la partie tournante de l'alternateur. Il comporte un noyau sur lequel est enroulé un bobinage, comme montré sur la figure ci-dessous. En effet, les bagues collectrices reçoivent le courant d'excitation provenant du régulateur porte balais. L'enroulement du rotor parcouru par ce courant, induit un champ magnétique qui sera ensuite canalisé par les pièces polaires ou griffes qui l'amplifie et le dirigent vers le stator. Les pièces polaires déterminent un ensemble de plusieurs aimants qui sont toujours au nombre paire et généralement par douze dont six nord et six sud. En effet, le champ magnétique crée, dépend principalement de l'intensité du courant traversant la bobine. Le schéma suivant illustre les différents éléments constitutifs d'un rotor : [6] [7] [8]

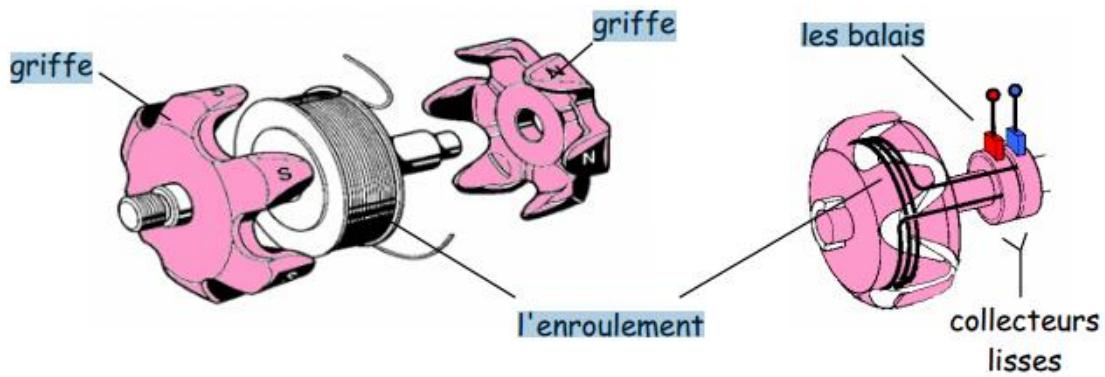


Figure 2.08 : Vue éclatée du rotor

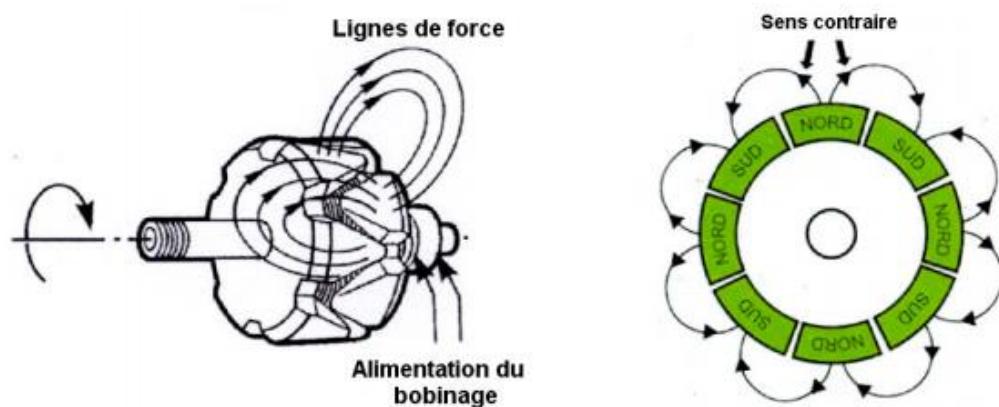


Figure 2.09 : Champ magnétique dans le rotor

2.2.2.2 Le stator ou l'induit

Le stator ou la partie fixe de l'alternateur comprend un circuit magnétique constitué par un empilage de tôles en forme de couronne, isolées les unes des autres afin de limiter les courants de Foucault. L'ensemble des couronnes avec leur isolation fortement serrée, constituent en effet, le circuit magnétique du stator. Ce dernier est fait en matériau de fer dans le but d'augmenter le champ magnétique engendré par le rotor. Dans sa partie intérieure, il comporte des encoches uniformément réparties dans lesquelles vient se loger l'enroulement triphasé du stator : les trois phases décalées de 120° l'une par rapport à l'autre. Chaque phase est en fait, composée de plusieurs bobinages reliés en série afin d'obtenir une valeur importante de courant (intensité). En effet, l'induit se trouve en permanence sous l'influence du champ magnétique provenant du rotor. L'enroulement de l'inducteur, alimenté en courant continu (courant d'excitation) et mis en rotation par la courroie du moteur thermique engendre un champ magnétique variable qui a pour effet d'induire dans les trois faisceaux d'enroulements du stator des forces électromotrices. Cette tension induite varie en

fonction de l'intensité du flux magnétique générée par l'inducteur et donc en fonction du courant d'excitation. [5] [6] [7] [8]

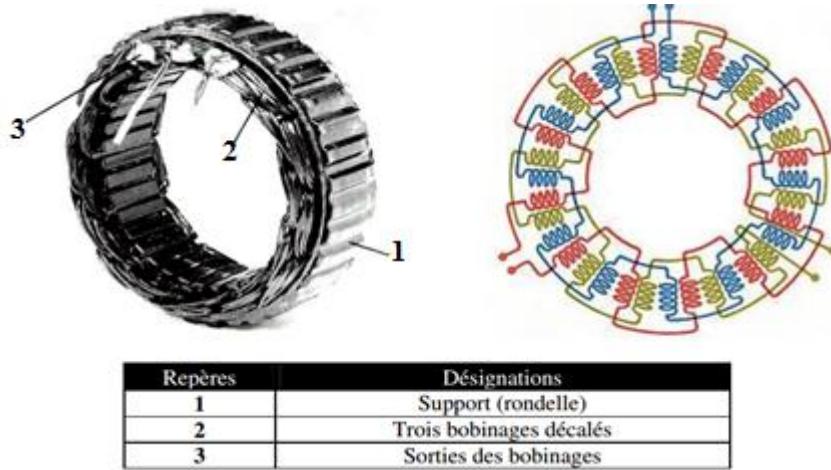
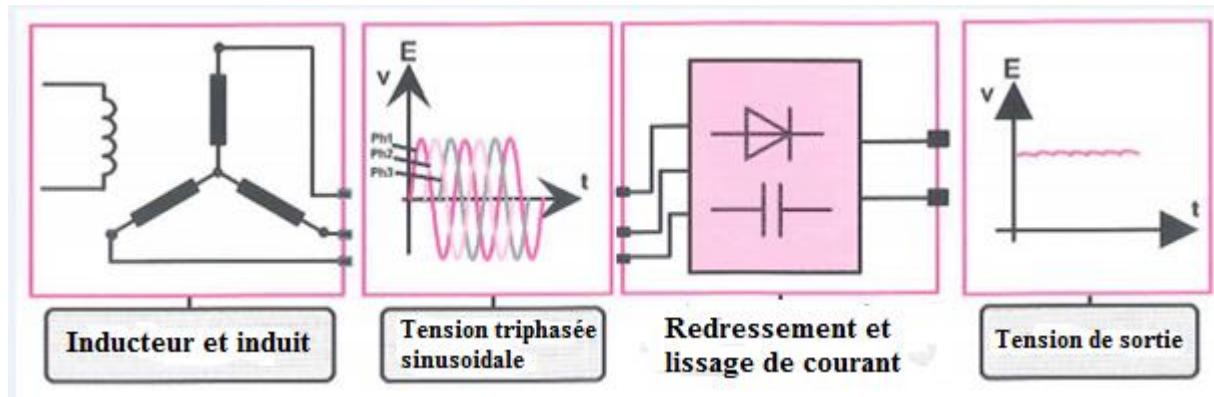


Figure 2.10 : Représentation du stator

2.2.2.3 Le circuit de redressement

L'alternateur est un générateur électrodynamique de courant qui, comme son nom l'indique, produit du courant alternatif. Or, bon nombre d'éléments consommateurs dans un véhicule à l'instar des boîtiers électroniques, des circuits de signalisation et divers accessoires, le démarreur, le système d'allumage et tout particulièrement la batterie sont obligés de fonctionner avec du courant continu. De ce fait, il est nécessaire de convertir le courant alternatif produit par les enroulements statoriques par l'intermédiaire d'un redresseur. L'élément de base de ce dernier est la diode, composant qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. En effet, le redresseur est constitué par un assemblage de diodes dont trois diodes positives, trois diodes négatives et selon le système, trois diodes d'amorçage, comme illustré sur la figure ci-après. Le courant sinusoïdal en sortie de l'induit doit passer à travers un pont de diode électronique qui comporte en plus une fonction de lissage de courant. La tension de sortie qui en résulte est de type continu avec un taux d'ondulation qui dépendra de la quantité du lissage effectué par un condensateur. [5] [6] [8]



1. Diode négative
2. Diode positive
3. Sortie + batterie

Figure 2.11 : Redresseur réel (bas) et représentation schématique de la diode (haut)

2.2.2.4 Principe de redressement du courant

En effet, le principe repose sur le pont de Graetz ou le redressement bi-alternance qui comporte 4 diodes D1, D2, D3, D4 dont le fonctionnement est la suivante :

- A : la tension positive (1) produite par le générateur fait circuler directement un courant vers le récepteur à travers les diodes D2 et D3
- B : l'alternance négative (2) provoque le passage du courant par la diode D4, le récepteur puis la diode D1.

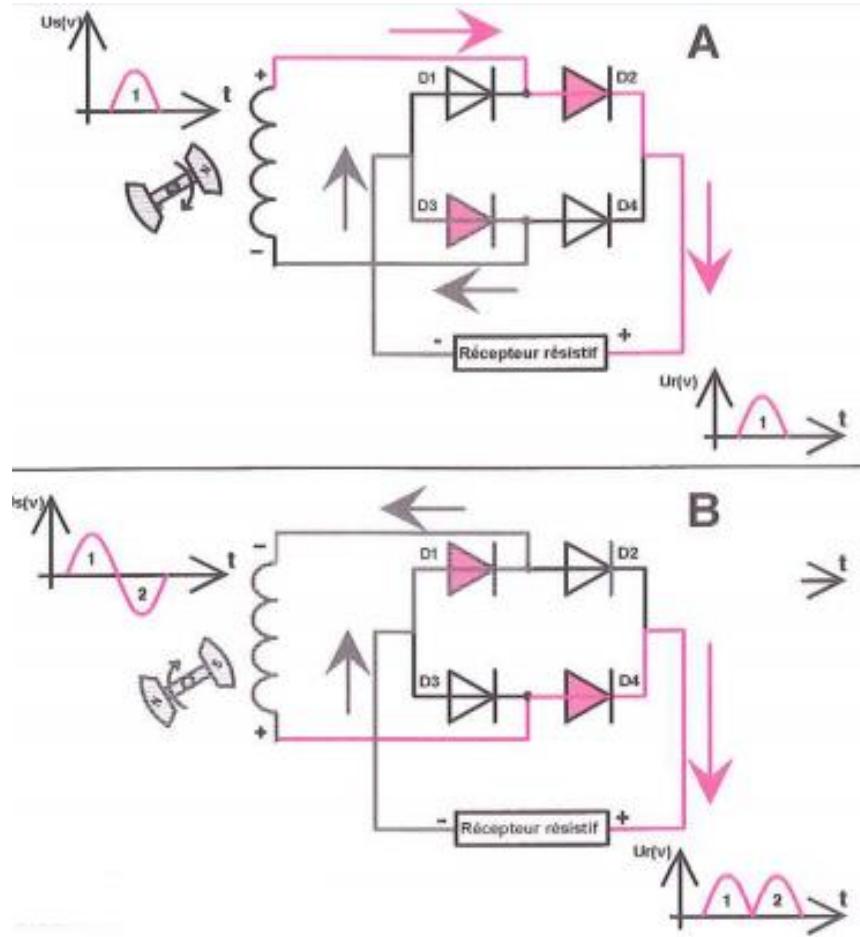


Figure 2.12 : Redressement bi-alternance

Le pont de diodes d'un induit triphasé d'un alternateur comporte 6 diodes (D1 à D6). Cependant, la tension de sortie U_{12} de la phase X est redressée par les diodes D1, D2, D3, D4 en rouge sur la figure ci-dessous. La phase Y utilise les diodes D3, D4, D5, D6 et la phase Z le pont formé par les diodes D1, D2, D5, D6. Le fonctionnement identique au pont de Graetz s'applique ainsi sur chacune des phases. Les pointillées sur le graphe A représentent les alternances « redressées ». La tension de sortie U_s aux bornes du récepteur est la composante des alternances redressées des trois phases (présentée sur le graphe B). Le courant de sortie est continu mais ondulé. [7] [8] [10]

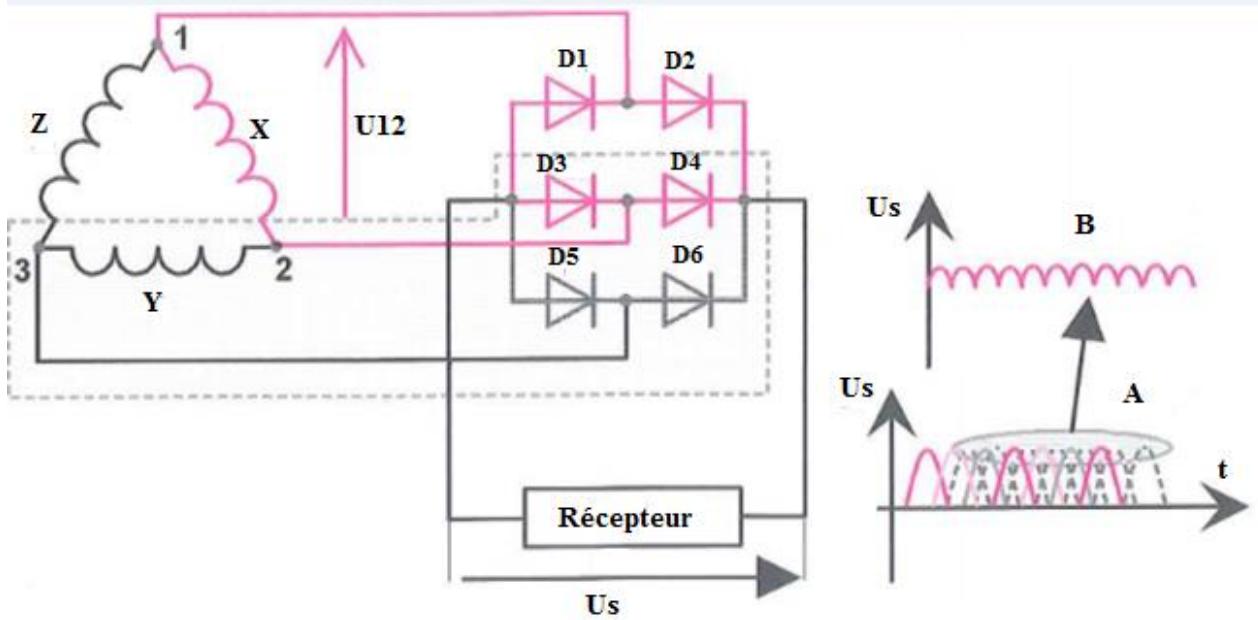


Figure 2.13 : Représentation du pont redresseur à 6 diodes monté sur un alternateur

2.2.2.5 Lissage du courant et taux d'ondulation

Un condensateur est inséré dans le pont de diodes pour assurer le lissage de courant. En effet, pendant la phase montante de l'alternance de la tension, il se charge, puis se décharge dans la phase descendante (graphe A : courbe rouge sur la figure ci-dessous). La tension ainsi obtenue est lissée, comme montré sur le graphe B. Le taux d'ondulation définit la forme de la tension et est exprimé par la relation suivante :

$$\tau = \left(\frac{U_M - U_{m2}}{U_M} \right) \times 100 \quad (2.02)$$

Plus le taux est important, plus la tension est ondulée donc de moins bonne qualité. Le taux d'ondulation est calculé par certaines stations de diagnostic pour donner l'état de l'alternateur. Des diodes ne remplissant plus leur rôle, un condensateur hors service ou une phase coupée peuvent ainsi être détectés. Le condensateur, en augmentant la tension minimum ($U_{m1} > U_{m2}$) diminue le taux d'ondulation. [6] [7] [8]

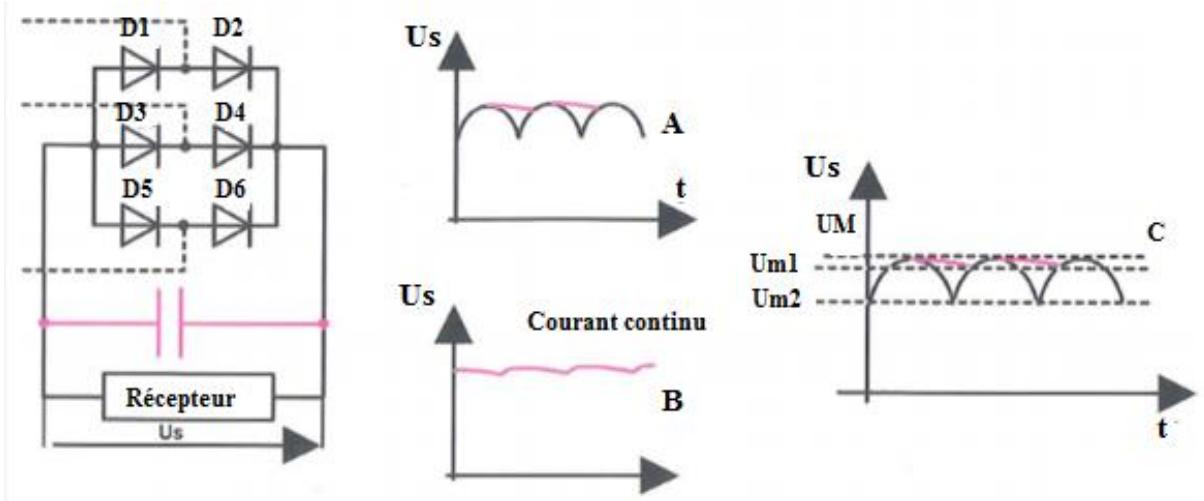


Figure 2.14 : Lissage du courant

2.2.2.6 Le régulateur de tension

Le régulateur est une sorte d'interrupteur qui ouvre ou ferme le circuit d'excitation en fonction de la tension de sortie de l'alternateur débitant dans la batterie. Pour ce faire, il surveille la tension de la batterie par rapport à un seuil prédéterminé, en général 14.2V, et ouvrira ou fermera le circuit d'excitation de l'alternateur, suivant que l'on sera respectivement au-dessus ou dessous de ce seuil. Au bas régime, la tension produite par l'alternateur est faible, cependant le régulateur s'enclenche et alimente le rotor en courant qui produira un champ magnétique variable et induisant ainsi un courant alternatif dans le stator proportionnellement à sa vitesse de rotation. Mais pour éviter que la tension en sortie du redresseur qui augmente avec le régime moteur, n'endommage la batterie en dépassant les 14V, le régulateur interposé entre le redresseur et la batterie se coupe, interrompant l'excitation du rotor, annulant ainsi la production du courant. Pour cela, le régulateur fonctionne en permanence en « marche-arrêt » et sa fréquence d'interruption est proportionnelle au régime moteur. Il est à noter qu'en l'absence du courant dans le rotor, le stator ne débite pas plus de 0.6V.

En effet, il existe principalement deux types de régulateurs :

- Electromagnétiques : ce sont des régulateurs à contacts et qui ne sont plus utilisés. Ils comprennent un relais qui ouvre et ferme un contact en fonction de sa tension d'alimentation, tension de seuil.
- Electronique : Celle-ci s'impose de nos jours en raison de sa finesse de réglage et de correction thermique, son faible encombrement et sa bonne fiabilité. Ainsi, il peut être

intégré dans l'alternateur par le constructeur ou ajouté séparément. Son schéma électrique est représenté par la figure suivante : [7] [8] [13]

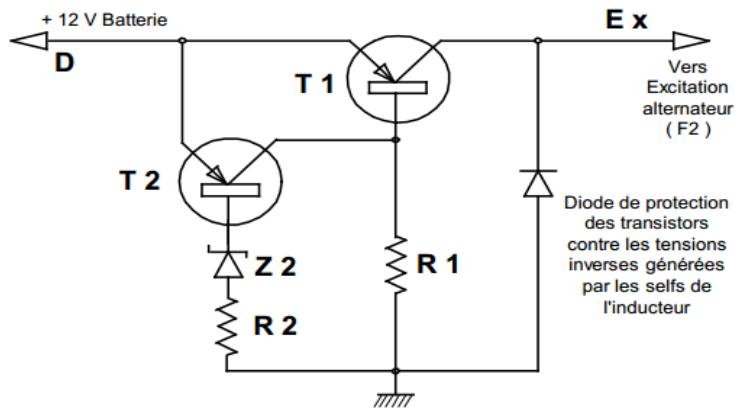


Figure 2.15 : Circuit équivalent du régulateur électronique

Au départ, le transistor T1 est passant et l'inducteur est alimenté par la borne Ex. La tension en D augmente jusqu'à atteindre la valeur de claquage de la diode zener Z2 : 14.2 V, qui conduit et débloque le transistor T2, lui-même bloquant T1 qui n'alimente plus le circuit d'excitation. Lorsque la tension de la batterie (du point D) diminue, le transistor T2 se bloque à nouveau, ce qui bloque T1 et ainsi de suite. Comme vu précédemment, le régulateur fait fonction d'interrupteur alors elle se branche en série sur le circuit d'excitation de l'alternateur. [7] [8] [13]

2.2.2.7 Schéma de connexion électrique d'un circuit de charge

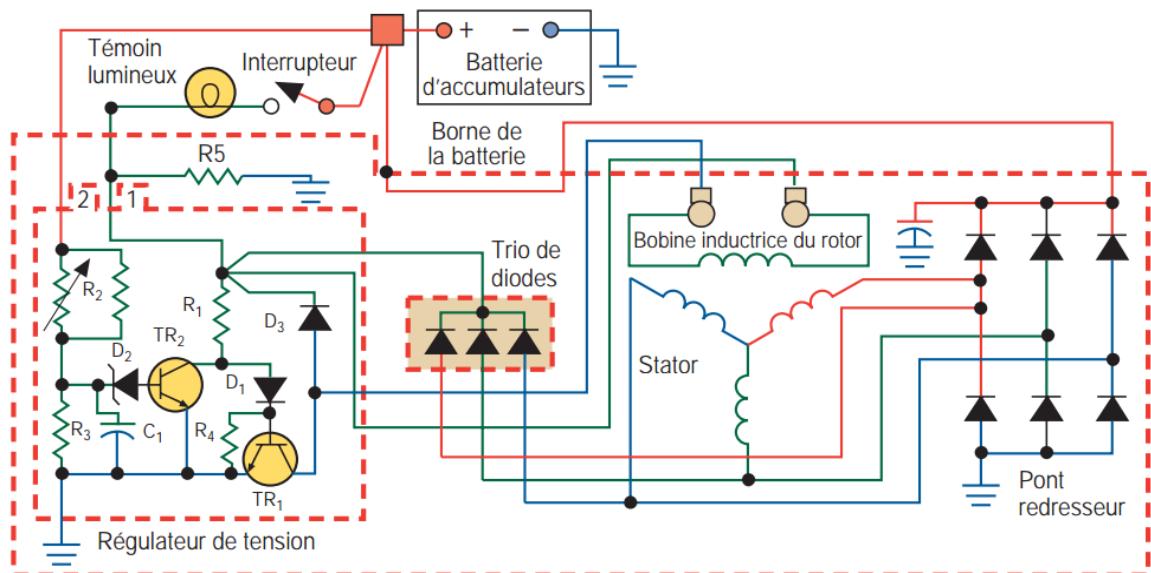


Figure 2.16 : Connexion électrique d'un circuit de charge

2.2.2.8 Facteurs déterminant la sortie d'un alternateur

Plusieurs facteurs jouent un rôle dans la puissance disponible à la sortie d'un alternateur tels que :

- La vitesse de rotation du rotor. Des vitesses plus rapides produisent une sortie plus élevée.
- Le nombre d'enroulements dans le rotor. Plus d'enroulement augmente la sortie de l'alternateur
- L'intensité du courant traversant les bobinages du rotor. Un courant plus élevé augmente la puissance de sortie
- Le nombre d'enroulement dans le stator [8] [13]

2.3 Le circuit de démarrage

Pour que le moteur d'un véhicule puisse tourner de façon autonome, il faudrait lui donner une vitesse initiale minimale, dite de lancement. Or, cet effort initial est fourni par un moteur électrique justement appelé : démarreur. De ce fait, son principe repose sur la transformation de l'énergie électrique issus des accumulateurs en énergie mécanique, afin d'assurer la mise en marche du moteur à explosion. Pour ce faire, le démarreur est essentiellement constitué par : [6] [7] [8]

- un moteur électrique
- un lanceur
- un circuit de commande du lanceur

2.3.1 *Le moteur électrique*

Comme tout moteur électrique, il est constitué de :

- un stator : représenté par la culasse qui porte les masses polaires et les bobines inductrices ;
- un rotor : représenté par l'induit et son collecteur ;
- une porte balais : organe de couplement avec la batterie via les balais frotteurs et le collecteur

Afin d'avoir un courant de forte intensité dans l'induit, ce moteur électrique se doit de produire un couple puissant. Pour y parvenir, l'inducteur et l'induit du moteur doivent être relié en série. Ce genre de moteur est dit : à excitation série. [6] [7] [8]

2.3.2 *Le lanceur*

Le lanceur est l'organe assurant le couplage mécanique entre le moteur électrique du démarreur et le vilebrequin du moteur thermique. Il se compose essentiellement d'un pignon qui communique le mouvement rotatif de l'induit à une couronne dentée, montée sur le volant à l'extrémité du vilebrequin. En fait, le rapport entre le pignon monté sur le démarreur et la couronne du volant est de 1/15 à 1/18, ce qui impose donc, une vitesse de rotation de 2000 à 3000 tr/min au moteur électrique afin d'obtenir les 150 tr/min nécessaire au démarrage d'un véhicule. [6] [7] [8]

2.3.3 *Le circuit de commande du lanceur*

Le dispositif de commande du lanceur doit assurer deux fonctions :

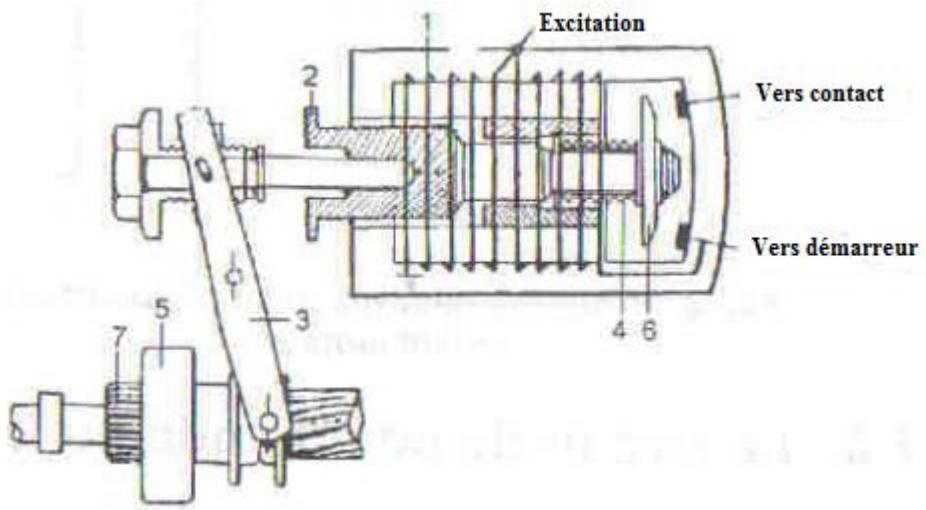
- en premier lieu, il doit engager le pignon du démarreur dans la couronne dentée du volant juste avant que le moteur électrique ne soit alimenté en courant ;
- en second lieu, rompre la liaison pignon-couronne dentée dès que le moteur thermique du véhicule démarre.

Ces deux contraintes doivent absolument être réalisées, car leur défaut entraînerait :

- le pignon s'engagerait à grande vitesse dans la couronne et le choc ainsi produit conduirait à une usure trop rapide du lanceur.
- le moteur thermique, tournant à plus de 1000 tr/min, étant au contact du pignon, il entraînerait alors le moteur électrique du démarreur à la vitesse vertigineuse de 20 000 tr/min qui, sous l'action de l'inertie, le ferait voler en éclats. [6] [7] [8]

Sur ce, le dispositif de commande est composé par :

- un solénoïde
- un noyau plongeur
- une fourchette
- un ressort



1- Bobines du solénoïde	6- Contact de fin de course
2- Noyau du plongeur	7- Pignon
3- Fourchette	
4- Ressort de rappel	
5- Roue libre	

Figure 2.17 : Circuit de commande du démarreur

2.4 Le système d'allumage

On désigne par « système d'allumage » l'ensemble des éléments qui permettent l'allumage. L'allumage est l'opération qui consiste à fournir, à partir des 12 volts continue de la batterie, une tension plus de 20 000 volts à une bougie montée sur un cylindre en état 3 : compression du mélange carburé. Ainsi, sa fonction principale est de produire un apport de chaleur dont l'énergie soit suffisante pour déclencher la combustion pour chaque cylindre à un instant précis du cycle 4 moteur. Cependant, pour qu'il ait inflammation du mélange air-carburant, en d'autre terme le mouvement du piston, il faut amener une étincelle de qualité au bon moment dans le bon cylindre. Dans le moteur à allumage commandé, la combustion du mélange air-essence provoque un dégagement de chaleur qui engendre une élévation de pression dans le cylindre. Suite à cela, les gaz à leur tour se détendent en repoussant le piston vers le PMB, c'est la phase moteur appelée combustion-détente où a lieu la création de l'énergie mécanique. La qualité de l'allumage est alors essentielle pour obtenir un bon fonctionnement du moteur. Par conséquent, un mauvais réglage peut entraîner des ratés, un mauvais rendement, voire pas de démarrage. [5] [7] [8]

En effet, un circuit d'allumage est composé de trois organes essentiels, comme présenté sur la figure ci-après :

- La bobine d'induction
- un allumeur
- des bougies (une par cylindre)

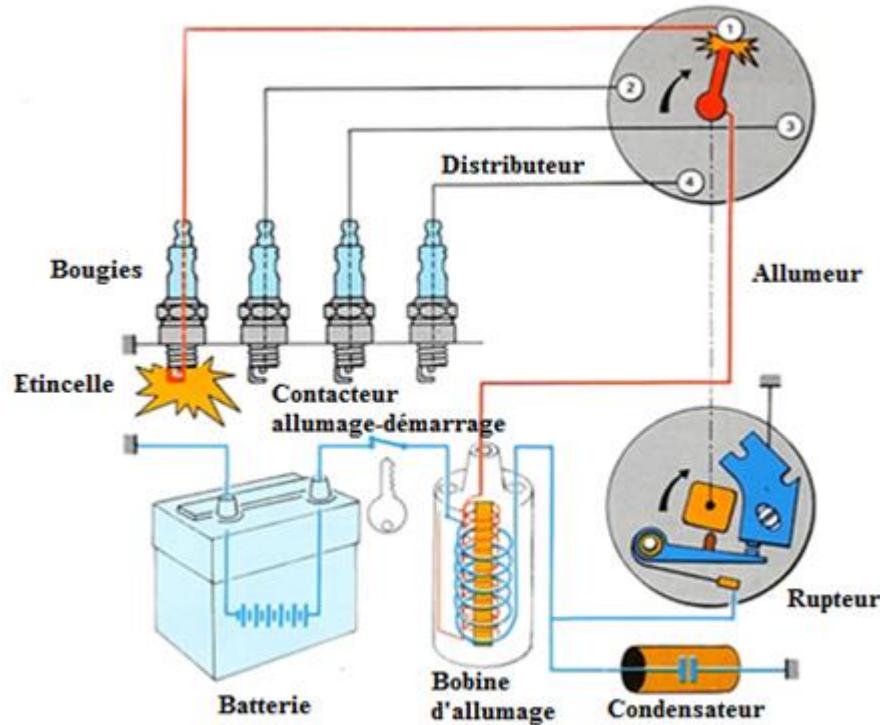


Figure 2.18 : Le système d'allumage

2.4.1 Bobine d'induction

La bobine d'induction est en réalité un transformateur élévateur. Elle a pour principale fonction de transformer l'énergie électrique basse tension disponible aux bornes de la batterie en énergie électrique haute tension suffisante afin de déclencher la combustion du mélange air-carburant. Elle se compose, donc, d'un noyau ferromagnétique recevant deux enroulements : le primaire et le secondaire. L'enroulement primaire est constitué par quelques spires (200 à 300 spires) de fil de grosse section (1 mm). Le secondaire comporte 15 à 20 000 spires de fil de faible section (0.1 mm). Le rapport de transformation doit être supérieur à 100.

La bobine d'induction porte trois bornes dont une borne positive reliée à la batterie via la clef de contact, une borne négative reliée au rupteur et enfin une borne centrale qui relie l'enroulement secondaire au distributeur. La figure suivante illustre ce propos : [6] [7] [8]

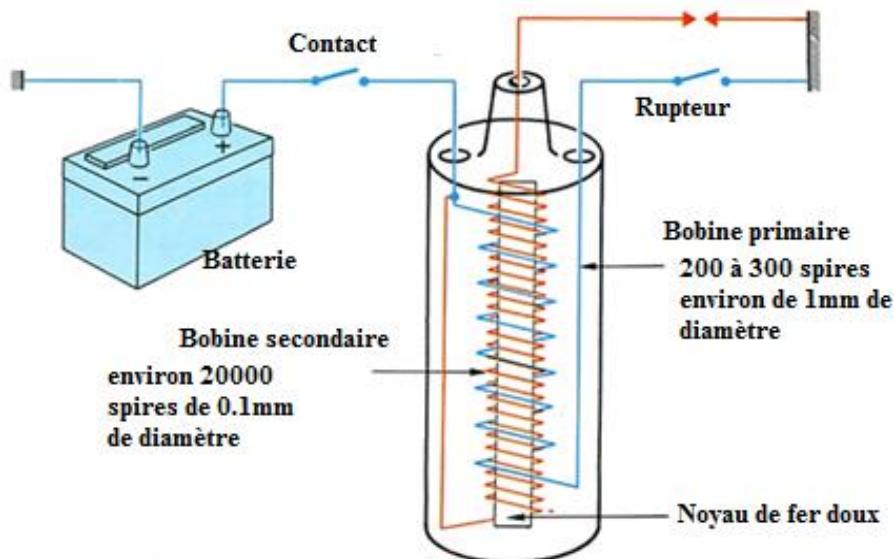


Figure 2.19 : La bobine d'induction

Le principe de fonctionnement d'une bobine d'induction repose sur le principe de variation de flux magnétique dans deux bobinages, qui est régi par les lois d'électromagnétisme : un bobinage parcouru par un courant électrique i . La bobine est alors traversée par un flux magnétique ϕ comme la montre la figure ci-dessous :

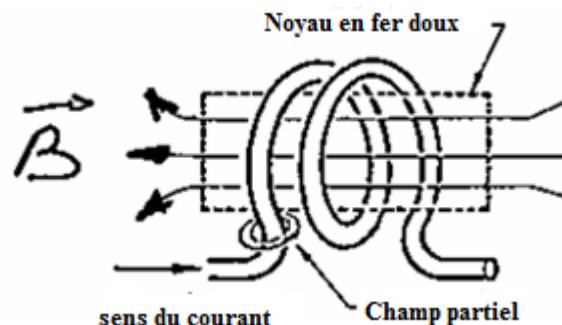


Figure 2.20 : Champ magnétique du circuit primaire

Le flux magnétique ϕ et le champ magnétique B sont obtenus par les expressions suivantes :

$$B = \frac{kNi}{l} \quad \phi = B \times S \quad (2.03)$$

Avec : N nombre de spires

i : longueur de la bobine

i : intensité dans la bobine

S : surface de la bobine

Et lorsqu'il y a variation de flux dans un bobinage, il y a création aux bornes de ce dernier, d'une force électromotrice induite (tension) qui tend à s'opposer à la cause qui a donné naissance à cette variation de flux. Ceci est donné par la formule suivante : [5] [6] [7] [8] [6]

$$E = \frac{d\phi}{dt} \times N \implies E = -L \times \frac{di}{dt} \quad (2.05)$$

Nombre d'étincelle d'allumage:

$$\text{nombre étincelle} = \frac{tr/\text{min} \times \text{nombre de cylindre}}{2} \quad (2.04)$$

2.4.2 L'allumeur

Il a pour rôle de couper régulièrement le circuit primaire de la bobine et de distribuer les impulsions issues de cette dernière aux différentes bougies. Il est constitué des éléments suivants : [7] [8]

- un rupteur
- un condensateur
- un distributeur.

2.4.2.1 Le rupteur

Le rupteur est un interrupteur mécanique qui a pour fonction de couper le courant primaire de la bobine d'allumage à un moment bien précis. Il comporte :

- une came de rupture : solidaire de l'axe de l'allumeur, elle porte autant de bossages qu'il y a de cylindre (4 en général)
- une paire de contact de rupture : communément appelées « vis platinées ». Le contact fixe est relié à la masse et le contact mobile est monté sur un lingot mobile autour d'un axe. La rupture du courant primaire de la bobine a lieu lorsque le toucheau entre en contact avec un bossage de la came. [5] [7] [8]

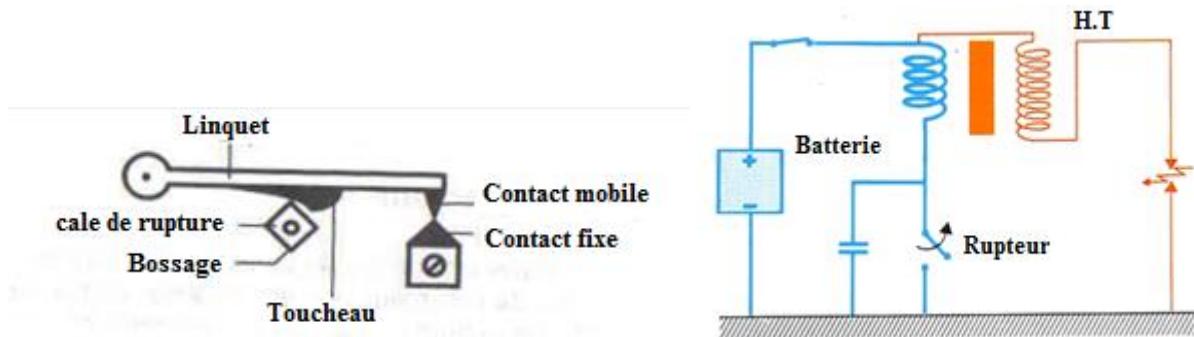


Figure 2.21 : Synoptique d'un rupteur (gauche) et branchement sur le système (droite)

2.4.2.2 Le condensateur

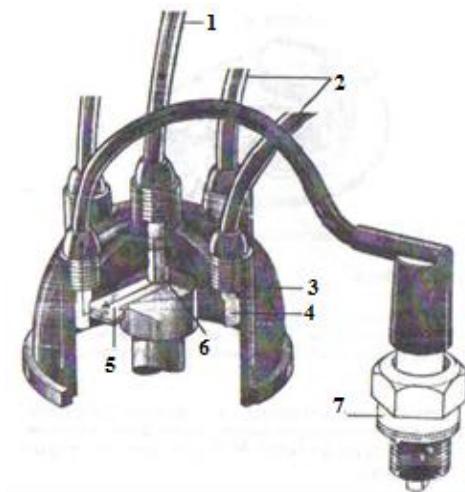
De forme cylindrique, le condensateur est soit contenu à l'intérieur de l'allumeur, soit accolé à son boîtier. En fait, son rôle est de protéger les contacts du rupteur à leur ouverture par l'absorption du courant de self induction, empêchant ainsi la formation d'étincelle au moment de la rupture des contacts. [7] [8]

2.4.2.3 Le distributeur

Comme son nom l'indique, le distributeur est l'élément de l'allumeur qui permet de distribuer et d'aiguiller l'énergie haute tension résultant de la bobine d'allumage, aux différentes bougies selon un ordre bien déterminé. Pour cela, il se compose de :

- une tête de distributeur : qui se dispose d'une borne centrale d'arrivée de la haute tension et de quatre bornes périphériques de sortie de tension vers les bougies d'allumage, comme montré sur la figure ci-dessous
- un rotor : il coiffe l'arbre de l'allumeur tout en tournant avec lui.

Ainsi, lorsqu'une impulsion HT arrive sur la borne centrale du distributeur, elle est directement communiquée au doigt du rotor via un ressort et un charbon. Le doigt étant en rotation, passe devant un plot relié à une borne de sortie et alimente une bougie bien spécifique. [7] [8]



- 1- Câble HT de la borne centrale
- 2- Câbles HT des bornes périphériques
- 3- Tête de distributeur
- 4- Plot HT
- 5- Doigt de distributeur
- 6- Charbon
- 7- Bougie

Figure 2.22 : Le distributeur

L'ordre d'allumage représente l'ordre dans lequel les étincelles se produisent dans les cylindres. En effet il dépend uniquement du nombre de ces derniers dans un moteur :

- moteur à quatre cylindres : 1-3-4-2
- moteur à six cylindres : 1-5-3-6-2-4 ou 1-2-3-6-5-4
- huit cylindres en ligne : 1-6-2-5-8-3-7-4
- huit cylindres en V : 1-8-3-6-7-2-5-4

2.4.3 La bougie

La bougie est l'un des éléments clés de l'allumage. De son état dépendent la bonne marche du moteur et la régularité de l'allumage. Elle a pour fonction d'assurer la transformation de l'énergie électrique haute tension provenant de la bobine d'induction en énergie calorifique, utile pour la combustion du mélange. Cependant, la haute tension est amenée par l'électrode centrale puis l'arc électrique se produit au passage du courant entre les deux électrodes dont l'écart est de 0.5 à 1mm.

La bougie comporte deux électrodes : [3] [7] [8]

- une électrode centrale reliée à un capuchon du distributeur
- une électrode de masse reliée à la masse du véhicule par le visage du culot sur le moteur.

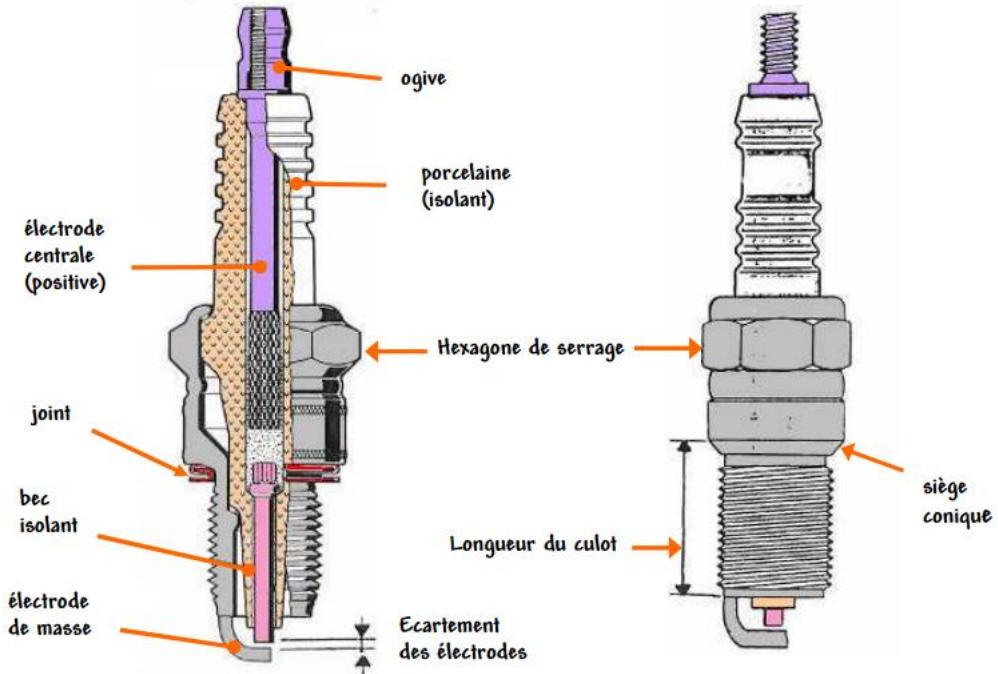


Figure 2.23 : Constitution d'une bougie

L'inflammation du mélange air-essence est ainsi provoquée par cet arc électrique (étincelle) qui jaillit entre les électrodes d'une bougie d'allumage. Par ailleurs, la bougie doit être parfaitement isolante et doit évacuer rapidement la chaleur afin d'éviter les phénomènes d'auto-allumage. Ainsi, on classe les bougies selon leur pouvoir de refroidissement. Le degré thermique de la bougie caractérise sa capacité à transférer la chaleur du bec de l'isolateur au système de refroidissement du moteur. De ce fait, il existe deux types de bougie : [3] [7] [8]

- La bougie chaude : elle transmet la chaleur moins rapidement. Son long bec d'isolateur oblige les calories de la pointe à parcourir un long chemin avant d'atteindre la partie de l'isolateur en contact avec le culot, puis la culasse.
- La bougie froide : grâce à son bec court, elle transmet la chaleur plus rapidement.

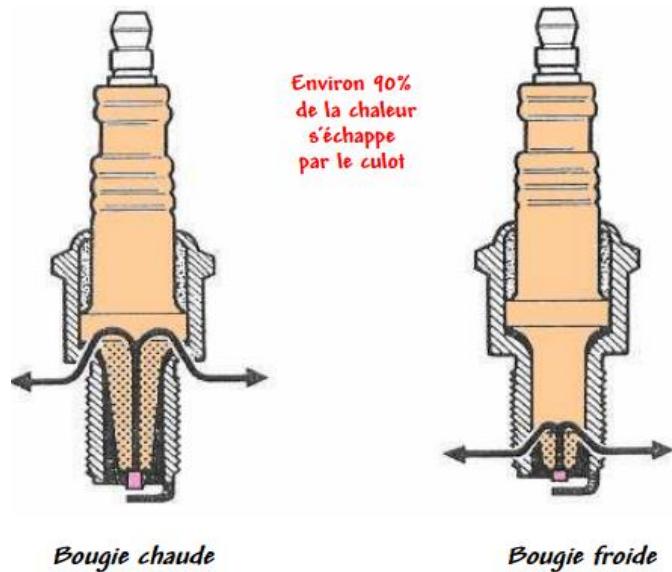


Figure 2.24 : Types de bougie

2.4.4 Principe de l'allumage

Voici le schéma équivalent du circuit d'allumage :

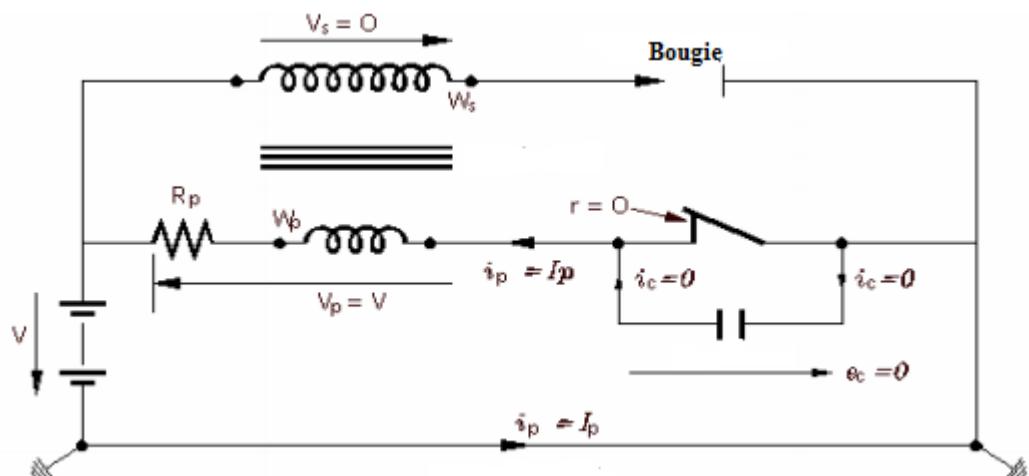


Figure 2.25 : Schéma équivalent du circuit d'allumage

Lorsqu'on tourne la clé de contact, la borne positive de la bobine d'allumage est reliée à la batterie et un champ magnétique constant s'y crée. Lorsque le rupteur est fermé, le courant circulant dans le bobinage primaire s'exprime :

$$I_p = \frac{V}{R_p} \quad (2.06)$$

La relation entre tension et l'enroulement dans le primaire et secondaire :

$$\frac{V_S}{T_S} = \frac{V_P}{T_p} \quad (2.07)$$

Les contacts de rupture s'ouvrent lorsqu'un bossage soulève le linguet de rupture et, pendant un laps de temps très court, le circuit primaire de la bobine se retrouve ouvert ainsi l'expression du courant dans le primaire est :

$$i_p = I_p e^{\frac{-Rt}{L}} \quad (2.08)$$

Le courant i_p ne s'annule pas instantanément, d'où la nécessité d'un condensateur pour accélérer la chute rapide de l'intensité afin d'induire une très forte tension dans le secondaire.

$$e_c = V \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right) \quad (2.09)$$

Ainsi, l'expression de la tension induite est :

$$e_p = k V e^{-kt} \text{ avec } k = \left(\frac{R_p + R}{R_p} \right) \quad (2.10)$$

Cette ouverture du rupteur coupe brusquement le courant primaire et provoque une variation rapide du champ magnétique d'où la création d'un courant induit à haute tension dans l'enroulement secondaire. Ensuite, l'impulsion HT passe dans la borne centrale du distributeur, qui l'envoie vers une bougie d'allumage. [3] [7] [8]

2.4.5 *L'avance à l'allumage*

Dans un moteur, pour un fonctionnement optimal, le mélange air-essence doit exploser lorsque le piston est au PMH afin de lui transmettre le plus de puissance possible pendant sa descente vers le PMB. Or, le mélange gazeux a une vitesse d'inflammation relativement fixe, entre 20 et 35 mètres/seconde. Ainsi, l'inflammation totale du mélange ne serait pas instantanée. Si on déclenche l'étincelle au PMH, du fait de la vitesse de propagation du front de flamme, le piston commencerait à recevoir la poussée de l'explosion trop tard : il serait déjà en train de descendre vers le PMB, ce qui rendra la puissance de l'explosion moins faible, et le moteur avec moins de couple. Tout cela nous amène à dire qu'il faudra faire jaillir l'étincelle avec une certaine avance, en d'autre terme de déclencher la combustion un peu avant que le piston arrive au PMH en vue d'obtenir la pression maximale sur le piston. C'est ce qu'on appelle « avance à l'allumage ». Elle est en réalité définie par l'angle de rotation volant qui sépare l'instant d'étincelle du PMH : lorsque le maneton du vilebrequin et la bielle forment un angle de 90°. De ce fait, le mélange air-essence

s'enflamme un peu avant PMH et le début de l'explosion elle-même a lieu au PMH. Cette avance dépend du régime du moteur et doit augmenter avec celui-ci.

Il existe des automatismes mécaniques sur l'allumeur pour modifier l'avance en fonction de la charge et de la vitesse du moteur :

- L'avance à dépression : il a pour rôle d'influer sur la position de la platine portant le rupteur (vis platinées), afin de modifier l'avance en fonction de la charge du moteur.
- L'avance centrifuge : quand la vitesse de rotation du moteur augmente, des masselottes s'écartent et décalent l'arbre de commande de quelques degrés augmentant ainsi l'avance.

Il est déconseillé de donner trop d'avance à allumage, sinon l'explosion commencera avant le PMH, aussi la fin de remontée du piston sera freinée par l'explosion. En plus de perdre énormément de puissance, ce phénomène engendre prématièrement la détérioration du moteur. C'est le cliquetis.

En effet, un décalage du point d'allumage en direction du PMH correspond à une variation dans le sens retard et une correction dans l'autre sens, à une variation dans le sens avance. La figure ci-après montre la représentation schématique de l'avance à l'allumage : [3] [7] [8]

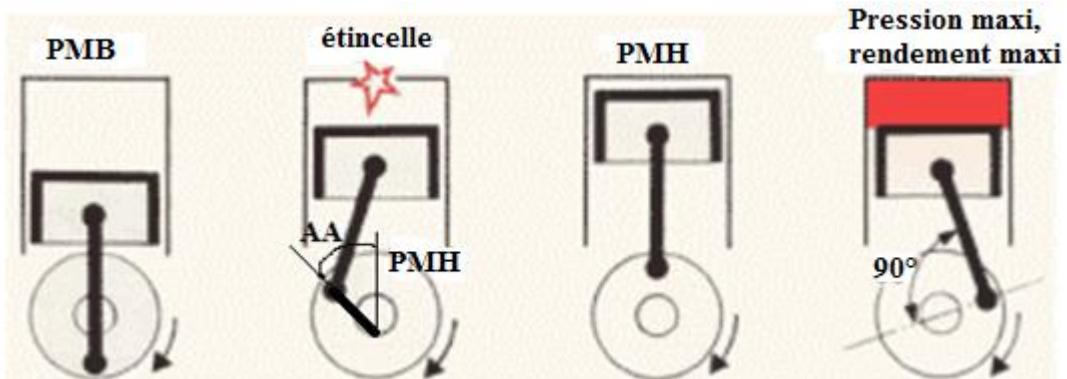


Figure 2.26 : Représentation de l'avance à l'allumage

Si les bougies ne produisaient les étincelles d'amorçage de la combustion qu'une fois que le piston aura atteint le PMH, ce dernier aura le temps d'amorcer sa descente vers le PMB avant la détente des gaz et une perte de puissance s'en suivrait. L'avance à l'allumage revient donc à générer l'impulsion HT, par ouverture du circuit primaire de la bobine, avant que le piston n'arrive au PMH. Cette condition est satisfaite par un positionnement adéquat de la came de rupture par rapport au plateau support des vis platinées. [3] [7] [8]

2.4.6 Le système d'allumage électronique

L'allumage classique présente quelques inconvénients essentiellement liés à la rupture mécanique du circuit primaire :

- Intensité primaire limitée pour éviter la détérioration des contacts
- Problèmes de rebondissement du linguet mobile à haute vitesse
- Déréglage du point d'avance lors de l'usure des contacts

La solution serait alors de remplacer le rupteur mécanique par un rupteur électronique commandé par un très faible courant permettant un courant primaire plus important.

Le système d'allumage électronique comprend :

- Une bobine d'allumage dont les caractéristiques sont :
 - Intensité primaire augmentée
 - Rapport du nombre de spires augmenté d'où l'obtention d'une tension secondaire d'environ 50 000V (meilleure étincelle)
- Un distributeur identique à celui d'un allumage classique
- Un boîtier électronique qui amplifie le courant émis par l'impulseur et calcule, en fonction des paramètres de vitesse et de charge, le point d'allumage
- Un capteur de position et de vitesse qui provoque la commande du boîtier électronique et lui fournit le paramètre vitesse de rotation
- Un capteur de dépression qui fournit le paramètre charge du moteur au boîtier électronique

Un tel système ne présente plus de pièces mécaniques en contact et ne nécessite aucun réglage. [3] [7] [8]

2.4.6.1 Système d'allumage à rupteur transistorisé

La figure ci-dessous illustre le fonctionnement d'un allumage à rupteur transistorisé dans lequel l'allumeur-distributeur reste classique :

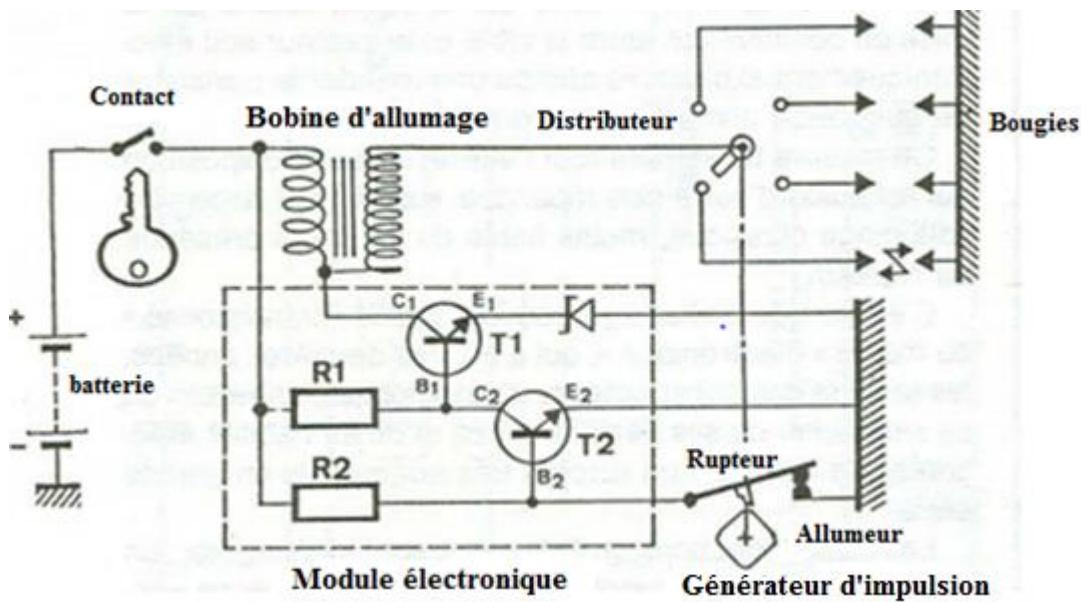


Figure 2.27 : Schéma de principe de l'allumage transistorisé

Fonctionnement du système

Pour ce type, le rupteur est représenté par un interrupteur électronique appelé aussi : transistor qui, logé dans le module d'allumage électronique. L'instant d'ouverture et de fermeture du circuit primaire est en fait, défini par l'unité de commande électronique du module d'allumage à partir du signal envoyé par le générateur d'impulsions qui fournit les informations régime moteur et instant du déclenchement de l'étincelle au module d'allumage.

Tout d'abord, le stator et le rotor comporte autant de griffes qu'il y a de cylindres. En effet, le rotor à griffes (6) est entraîné en rotation par l'arbre de l'allumeur. Cette rotation provoque la variation d'entrefer entre le rotor et le disque polaire (stator) et donc une variation de flux magnétique dans les enroulements (8) fixés sur le disque polaire. Cette variation de flux produit dans enroulements une tension induite E_g variable. Quand les griffes du stator et du rotor sont face à face, le flux magnétique est maximal résultant de la variation de flux nulle d'où la valeur de tension E_g nulle. Ce point de tension nulle est en fait, le point de référence correspondant à l'instant d'étincelle. [3] [7] [8]

2.4.6.2 Système d'allumage électronique intégral

L'allumage électronique intégral ne comporte aucune pièce en mouvement. Un certain nombre de capteurs émettent des signaux électriques reçus par un calculateur électronique. Après traitement des informations celui-ci transmet au bobinage primaire des variations de courant permettant

l'obtention d'une force électromagnétique (f.é.m.) induite élevée au moment le mieux adapté aux conditions instantanées de fonctionnement. Un ou plusieurs capteurs sont fixés dans des positions angulaires précises sur un carter, à proximité immédiate du volant moteur. Un ou plusieurs plots métalliques sont fixés sur le périphérique du volant. Lorsqu'un plot passe sous un capteur, ce dernier émet un signal électrique transmis au calculateur. La position des capteurs et la valeur des signaux émis permettent de détecter : [3] [7] [8]

- La vitesse de rotation du moteur
- Le point d'avance initiale
- Le point d'avance maximale

Le calculateur, après analyse de données, détermine avec précision le point d'allumage.

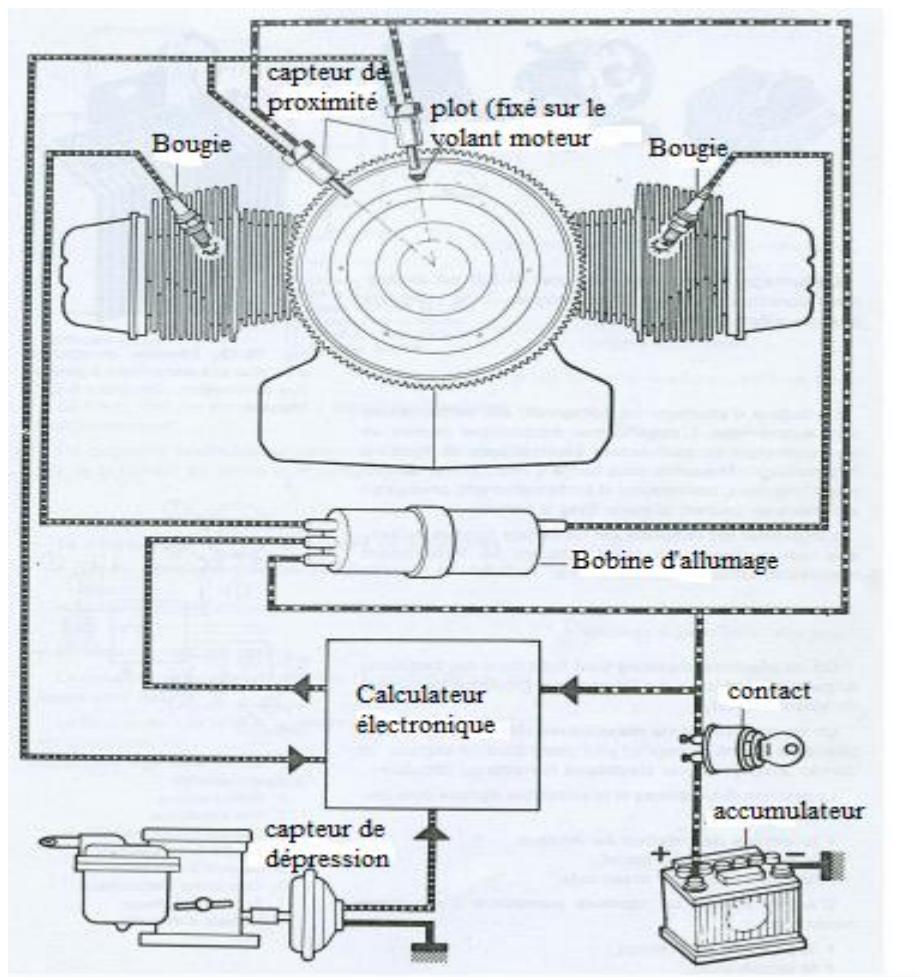


Figure 2.28 : Système d'allumage électronique intégral

2.4.1 Les faisceaux et les câbles électriques

Les organes électriques du véhicule sont liés entre elles par l'intermédiaire des câbles. En effet, ses câbles sont constitués de brins de cuivre torsadés et d'un isolant en thermoplastique. Pour certaines connexions à la masse (batterie, moteur...), on utilise des tresses de cuivre permettant d'obtenir une grande section d'un conducteur très souple. Ces câbles électriques sont placés l'un à côté de l'autre dans une gaine ou par un enrubannage pour former le faisceau électrique du véhicule. [3] [4] [7]

La section des câbles (en mm^2) est déterminée en fonction de l'intensité du courant qu'elle doit conduire. Elle est obtenue par la relation :

$$S = \frac{\rho L}{R} \quad (2.11)$$

Avec : R : résistance du câble

ρ : Résistivité, L : longueur du câble

En général, on tolère une chute de tension de 2.5%. Le tableau ci-après résume la densité de courant admis pour le circuit d'éclairage, confort et le démarrage :

Circuit	Chute de tension en volt admis en %	Chute de tension en volt admis	Densité de courant admis
Eclairage et confort	2.5%	0.3V	5 A par mm^2
Démarrage	2.5 à 4%	0.3 à 0.5V	15 A par mm^2

Tableau 2.01: Chute de tension

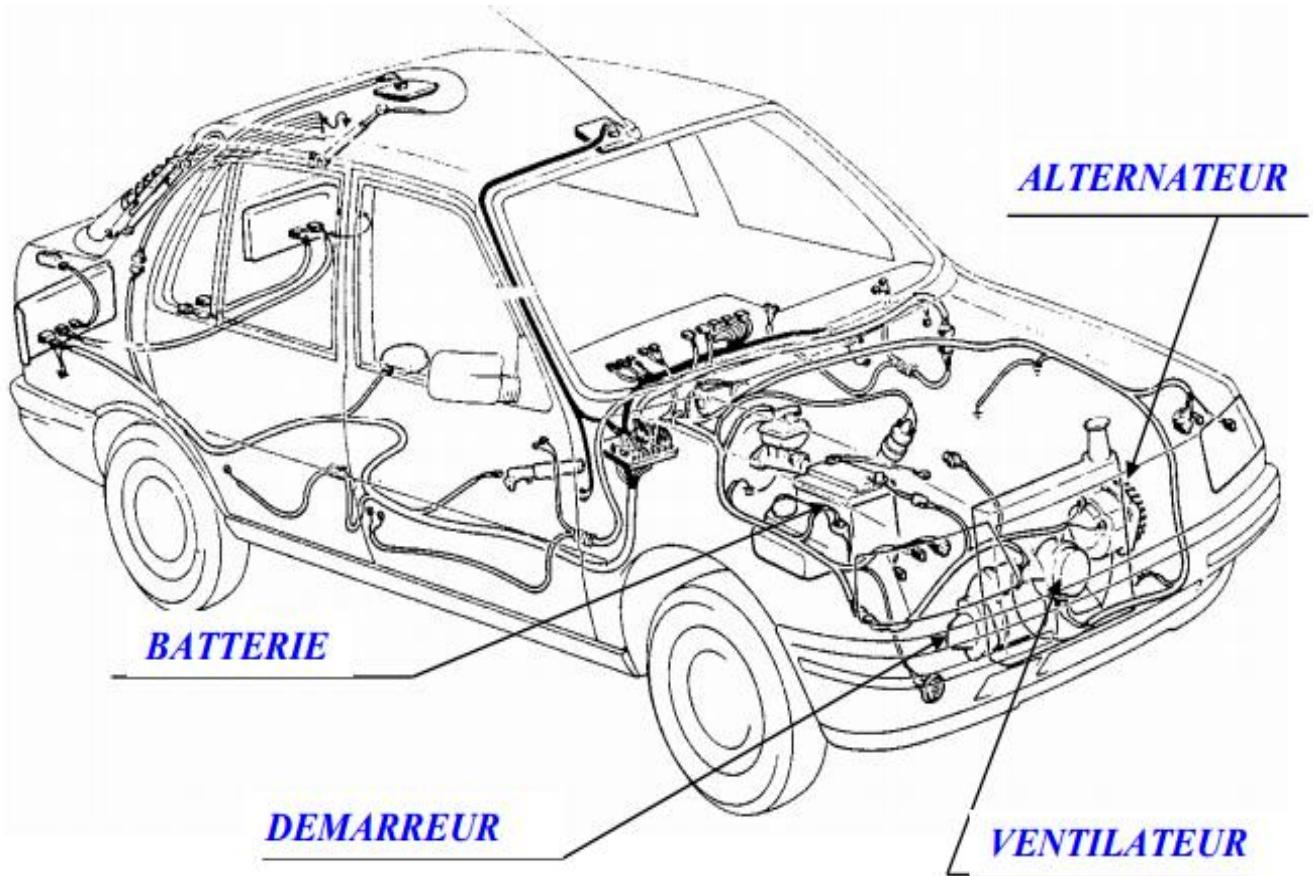


Figure 2.29 : Ensemble des câbles dans le véhicule

2.4.2 *Les boitiers d'interconnexion*

La liaison entre les faisceaux est réalisée dans le boîtier d'interconnexion appelé aussi : platine de servitude ou Boîtier Servitude Intelligent (BSI). Ce boîtier supporte aussi les relais, le centrale clignotant etc. [3] [8]

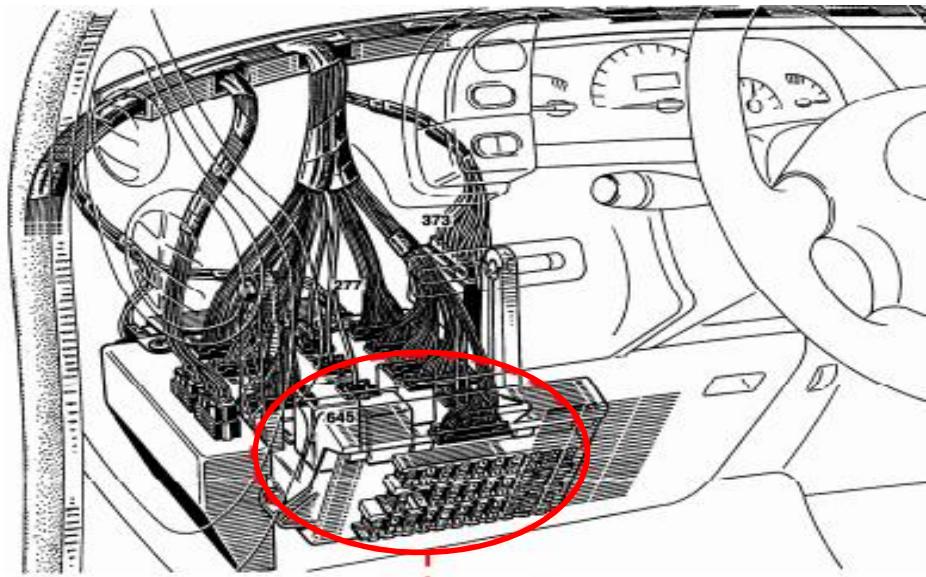


Figure 2.30 : Boîtier électronique d'un véhicule

2.4.3 La protection des circuits électriques

Lorsque le câble est accidentellement réuni avec la masse, il y a un court-circuit. Le câble s'échauffe puis fond d'où un risque d'incendie. Afin d'éviter ces conséquences néfastes, on intercale des fusibles sur les circuits. En effet, le fusible est un fil d'alliage spécial placé en série sur le circuit électrique à protéger. Il coupe la circulation du courant en fondant lorsque l'intensité est supérieure à sa valeur appelée : calibre du fusible. Ainsi, un fusible a pour fonction la protection d'un circuit d'alimentation vis-à-vis de court-circuit ou de surintensités générées par une défaillance de la charge alimentée. Les fusibles pour voiture (certains sont appelés fusibles à languette ou fusible à lamelle) ont souvent un calibre en courant important, car les appels de courant des divers organes électriques d'une voiture sont parfois très élevés, et ils ne doivent pas pour cela lâcher "trop vite". Le tableau ci-dessous présente quelques équipements électriques typiques d'un véhicule en fonction de la section de leurs câbles ainsi que le calibre du fusible de protection respectif : [3] [7] [8]

Equipements 12v	Section en mm ²	Fusible de protection
Feux de route	1.5	10 A
Feux de croisement	1.5	10 A
Feux de position	1	10 A
Feux antibrouillard	1.5	10 A
Feux indicateur de direction	1.5	10 A
Circuit d'essuie-glace	2.5	25 A
Avertisseur	1.5	15 A
Lunette dégivrage	2.5	30 A
Câble de la batterie vers le boîtier interconnexion	4	50 A à 70 A
Câble du démarreur	25 à 75	Aucun

Tableau 2.02: Section du câble et calibre de fusible respectif des équipements électriques

2.4.4 Les relais

Les relais sont essentiellement des interrupteurs électriques qui utilisent un électro-aimant pour déplacer un mécanisme interrupteur par lequel un ou plusieurs contacts sont commutés. Ils sont utilisés là où un ou plusieurs circuits de puissance doivent être activés/désactivés par un signal de commande. La séparation complète entre le circuit de commande et le circuit de puissance est caractéristique d'un relais électromécanique.

En effet, le relais est un interrupteur commandé car au lieu de s'enclencher par la pression du doigt, il va fermer le circuit sur ordre d'un autre appareil (module, sonde...) ou interrupteur. Le relais est en fait, composé de deux parties bien distinctes : la partie commande et la partie puissance. Ces deux parties sont normalement alimentées par deux circuits électriques indépendants. La partie puissance alimente l'appareil qui sera branché en sortie (moteur de ventilation, lumières, pompe à essence). Elle fournit la puissance électrique. La partie commande quant à elle, est "le doigt" qui va presser sur l'interrupteur. Elle se compose d'une petite bobine, et d'un axe qui se trouve en son centre. Lorsque la bobine est parcourue par un courant, l'axe qui se trouve en son centre devient un aimant. Cet aimant va pousser ou tirer sur le bras du contacteur. Ceci aura pour effet de fermer le circuit (relais classique). [3] [7] [8]

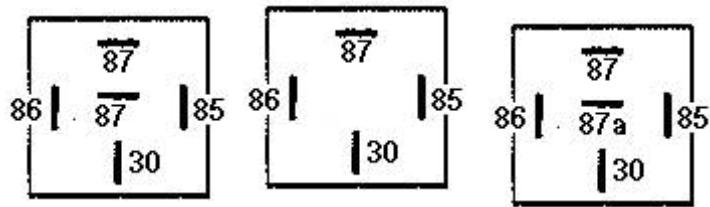


Figure 2.31 : *Représentation d'un relais*

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre les différents circuits électriques constitutifs d'une automobile et leur fonctionnement respectifs. Ce chapitre nous a également présenté l'interaction entre ces divers circuits. La source d'énergie électrique d'un véhicule est représentée par l'alternateur à griffes qui produit de l'électricité par le principe d'induction électromagnétique. Elle assure l'alimentation de l'ensemble des appareillages électriques et dispositifs électroniques comme : le circuit d'éclairage, de signalisation, de confort, la multimédia uniquement durant la marche de la voiture. La batterie qui est un réservoir d'énergie électrique prend le relais effectivement pendant l'arrêt du moteur et également lorsque la demande en électricité excède celle produite par l'alternateur. En outre, la batterie fournit le courant nécessaire pour actionner le démarreur. Le chapitre suivant est consacré à la modélisation de l'alternateur et de la batterie automobile.

CHAPITRE 3 MODELISATION DU CIRCUIT DE CHARGE AUTOMOBILE

3.1 Introduction

L'électrification contribue à l'amélioration constante du confort et l'agrément des véhicules. La demande en électricité de l'automobile ne cesse de s'accroître depuis des années, comme représenté sur la figure ci-dessous. Cette croissance s'explique par les divers dispositifs électroniques et appareillages présents dans les voitures actuelles.

3.2 Description d'un réseau électrique automobile

D'un point de vue global, un réseau électrique embarqué d'un véhicule peut être considéré comme un système composé de source et des charges. Les sources produisent l'énergie électrique, ce sont les générateurs (alternateurs, génératrice asynchrone) qui sont entraînés par des dispositifs mécaniques (moteurs thermiques). Quant aux consommateurs ou charges, elles sont de natures diverses linéaires ou non linéaires, de constantes de temps différentes et de paramètres souvent mal connus. Notons également que les interactions entre les différents composants du réseau sont très importantes. Au vu de ces caractéristiques, il paraît intéressant de développer des modèles permettant d'étudier et de simuler le comportement de ce type de réseaux électriques. Le réseau électrique automobile peut être schématisé comme suit : [10] [12] [13]

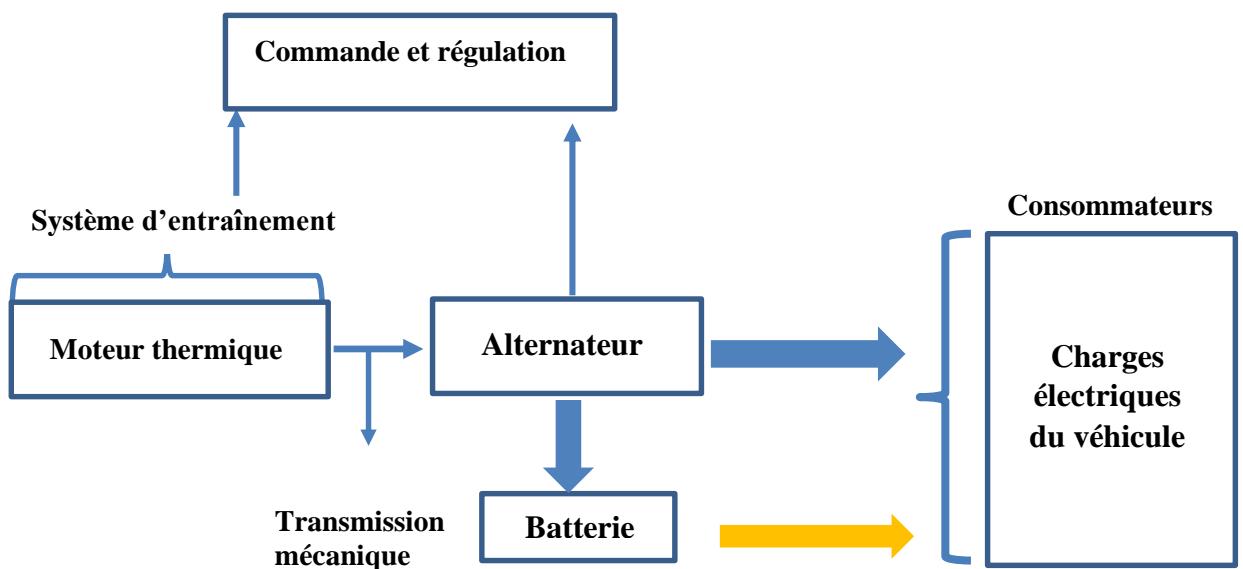


Figure 3.01 : Schéma général d'un système de production-consommateur d'énergie d'un navire

Le réseau est constitué d'un générateur et de plusieurs charges connectées entre eux à travers des lignes. Afin de modéliser ce système, il est nécessaire de disposer des modèles des différents composants établis selon la précision désirée. Le système d'entraînement est représenté par le moteur thermique sur lequel est couplé l'alternateur par courroie de distribution. La puissance mécanique fournie aux alternateurs y est convertie en puissance électrique puis mise à disposition des consommateurs. Il est important de noter que dans ce type de réseau, toute variation de la consommation ou de la topologie du réseau a un impact important sur le système entier (tension, puissance, fréquence...). Par conséquent, le système de commande et de régulation se doit de garantir une tension constante en agissant sur les excitations des alternateurs ainsi qu'une fréquence constante en agissant sur les puissances mécaniques fournies par les turbines et ceci quelles que soient les conditions de fonctionnement et les variations des charges.

En effet, le principe de fonctionnement de ce système repose la tension de sortie disponible au générateur et le niveau de tension au niveau de stockage d'énergie :

- Si la tension de sortie de l'alternateur se trouve inférieure au niveau de tension de la batterie, cas rencontré lorsque le moteur thermique est éteint ou la voiture se trouve au ralenti : C'est la batterie qui fournit l'énergie électrique nécessaire aux consommateurs électriques du véhicule (le courant va de la batterie aux charges)
- Si la tension de sortie de l'alternateur est d'autant plus grande que celle de la batterie, dans ce cas l'alternateur assure l'alimentation électrique de toutes les charges du véhicule ainsi que la recharge de la batterie. [13] [14] [17] [21]

3.3 Distribution de puissance par une courroie

L'alternateur est accouplé mécaniquement au moteur thermique via une courroie dite trapézoïdale, comme illustré sur la figure suivante :

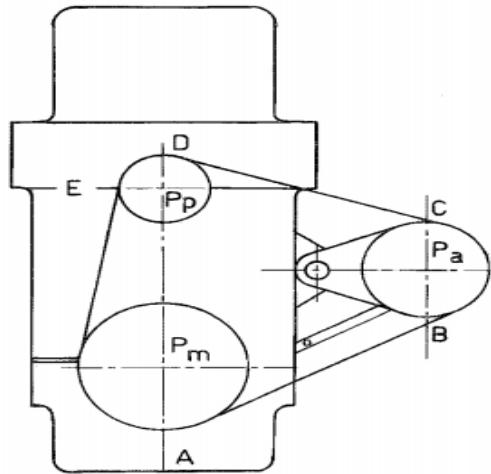


Figure 3.02 : Entraînement des auxiliaires d'un moteur à explosion

Le mouvement du rotor de l'alternateur dépend de la vitesse de rotation du moteur. Si l'alternateur doit tourner à 1.8 fois plus vite que le moteur et la pompe à eau à 1.5 fois, alors leur vitesse de rotation respective s'exprime : [11] [12] [15]

$$\omega_a = 1.8 \omega_m \text{ et } \omega_p = 1.5 \omega_m \quad (3.01)$$

La caractéristique d'une courroie est de transmettre (au rendement près) sa vitesse tangentielle v aux poulies, on a alors :

$$v = \frac{\omega_a d_a}{2} = \frac{\omega_p d_p}{2} = \frac{\omega_m d_m}{2} \quad (3.02)$$

Si bien que les diamètres des poulies doivent être en rapport inverses des vitesses angulaires :

$$d_p = \frac{d_m}{1.5} \text{ et } d_a = \frac{d_m}{1.8} \quad (3.03)$$

L'effort actif d'une courroie sur une poulie est obtenu par le rapport :

$$\sigma_a = \frac{P_a}{v}, \sigma_p = \frac{P_p}{v}, \sigma_m = \frac{P_m}{v} \quad (3.04)$$

Avec

$$P_m = P_a + P_p \quad (3.05)$$

3.4 Modélisation de l'alternateur automobile

3.4.1 Circuit électrique équivalent de l'alternateur

La figure ci-après représente le circuit équivalent d'une phase d'un alternateur :

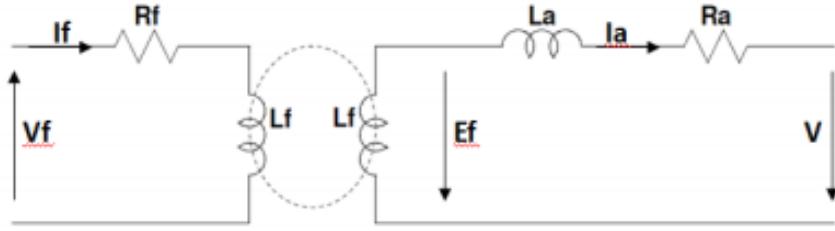


Figure 3.03 : Circuit équivalent simplifié d'une phase d'un alternateur

La transformation de Park permet le changement de l'axe statique 'abcf' à l'axe rotative 'dqof'.

[15] [16] [17]

$$[T^{-1}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (3.06)$$

Sa transformation inverse est :

$$[T] = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (3.07)$$

En appliquant la loi de Kirchhoff au circuit équivalent d'une phase précédemment, on obtient la relation entre la tension, le courant et le flux ci-dessous :

$$[V_{abcf}] = [R_{abcf}][i_{abcf}] + \frac{d}{dt}[\phi_{abcf}] \quad (3.08)$$

Dans le repère 'dqof', cette relation devient :

$$[V_{dqo}] = [R_{dqo}][i_{dqo}] + [T] \frac{d}{dt} [T]^{-1} \cdot [L_{dqof}] \cdot [i_{dqof}] + [L_{dqof}] \cdot \frac{d}{dt} ([i_{dqof}]) \quad (3.09)$$

Où :

$$[L_{dqof}] = [T][L_{abcf}][T]^{-1} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 & M_{fd} \\ 0 & L_q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_0 & 0 \\ M_{fd} & 0 & 0 & L_f \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$[R_{dqo}] = [T][R_{abcf}][T]^{-1} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

En ajoutant une charge RL aux bornes du stator, la nouvelle matrice de la résistance et de l'inductance dans le repère 'dqof' devient :

$$[R_{load}] = \begin{bmatrix} R_C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Ainsi :

$$[R_{dqo}] = [R_{dqo}] + [R_{load}] = \begin{bmatrix} R_s + R_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s + R_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s + R_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_s + R_c \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Pour l'inductance :

$$[L_{load}] = \begin{bmatrix} L_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$[L_{dqof}] = [L_{dqof}] + [L_{load}] = \begin{bmatrix} L_d + L_c & 0 & 0 & M_{fd} \\ 0 & L_q + L_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_0 + L_c & 0 \\ M_{fd} & 0 & 0 & L_f \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Ainsi l'équation devient :

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_o \\ v_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + R_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s + R_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s + R_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \\ i_f \end{bmatrix} + \\
\begin{bmatrix} 0 & -\omega(L_q + L_c) & 0 & 0 \\ \omega(L_d + L_c) & 0 & 0 & \omega M_{fd} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \\ i_f \end{bmatrix} \\
+ \begin{bmatrix} L_d + L_c & 0 & 0 & M_{fd} \\ 0 & L_q + L_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_o + L_c & 0 \\ M_{fd} & 0 & 0 & L_f \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \\ i_f \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Le courant des 3 phases du stator est symétrique et le courant homopolaire est égal à zéro, ainsi le composant homopolaire peut être négligé et l'équation prend la forme :

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + R_c & -\omega(L_q + L_c) & 0 \\ \omega(L_d + L_c) & L_q + L_c & \omega M_{fd} \\ 0 & 0 & L_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

3.4.2 Equation du circuit magnétique

Cette partie permet de déterminer l'équation de la tension induite qui découle par l'identification du circuit du flux magnétique. En effet, le flux magnétique résulte du circuit d'excitation et de chaque griffe du rotor ou pôles. Le flux magnétique passe à travers l'espace entre les griffes du rotor jusqu'au stator. Ainsi, la figure ci-dessous illustre les chemins basiques empruntés par les flux magnétiques (gauche) et la géométrie d'une griffe d'une pièce polaire (droite) : [13] [17] [18] [19] [20]

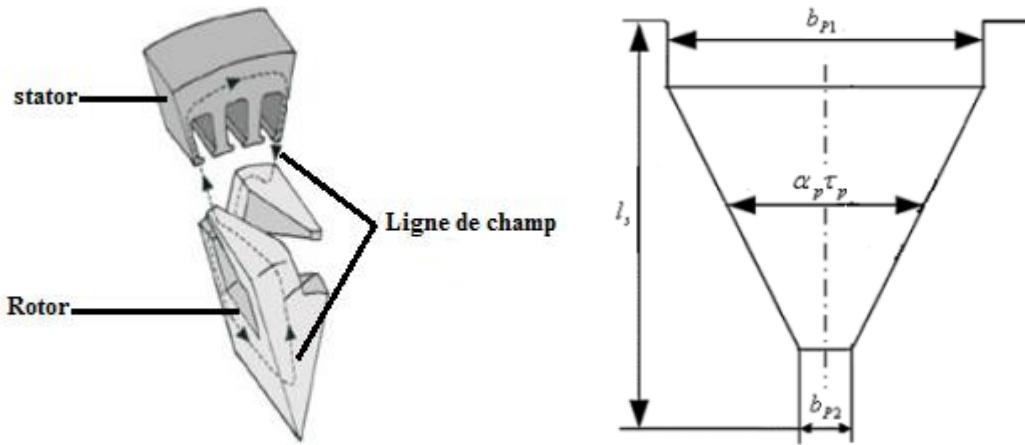


Figure 3.04 : Chemins empruntés par les lignes de champ du rotor-stator (gauche) et géométrie de la griffe (droite)

Les principaux paramètres qui décrivent les caractéristiques de l'alternateur automobile sont représentées sur le tableau suivant :

Constante, basée sur la dimension de la machine		Variables	
p	nombre de poles	ω_s	Fréquence électrique (rad/sec)
N_s	nombre de spires par phase statorique	ω_G	Vitesse mécanique (rad/sec)
N_f	Nombre de spires d'enroulement de champ	I_f	Courant d'excitation (A)
r_g	Rayon du stator	f	Fréquence (Hz)
μ_0	Perméabilité de l'entrefer	ϕ_f	Flux magnétique/pôle due au courant d'excitation (Wb)
k_w	Facteur d'enroulement	n	Vitesse de rotation du rotor (rpm)
l_g	Distance d'entrefer (mm)	k_s	Niveau de saturation (fonction du courant de champ)
B_{p1}	Largeur de griffe de pole du rotor à la base (mm)	E_f	Tension par phase
		B_g	Densité de flux fondamental d'entrefer

Tableau 3.01: Caractéristiques de l'alternateur automobile

Ainsi, la fréquence électrique s'exprime par :

$$f = \frac{n \cdot p}{120} = \frac{\omega_s}{2\pi} = \frac{p \cdot \omega_G}{4\pi} \quad (3.18)$$

La tension induite par phase s'exprime :

$$E_f = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} k_w N_s f \phi_f \quad (3.19)$$

En remplaçant la fréquence f par l'expression précédente, on obtient :

$$E_f = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} k_w N_s \frac{p \cdot \omega_G}{4\pi} \phi_f = k_w N_s \frac{p \cdot \omega_G}{2\sqrt{2}} \phi_f \quad (3.20)$$

Le flux magnétique par pôle est décrit par la relation suivante :

$$\phi_f = B_g \frac{2}{\pi} \tau_p l_s \quad (3.21)$$

Où la densité du flux s'exprime :

$$B_g = \frac{4 N_f I_f}{\pi} \frac{\mu_0}{2 l_g k_s k_c} \sin\left(\alpha_p \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.22)$$

Ainsi, la tension induite par phase peut s'écrire :

$$E_f = \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} p k_w N_s \tau_p l_s \sin\left(\alpha_p \frac{\pi}{2}\right) \frac{N_f \mu_0}{l_g k_s k_c} \right) I_f \omega_G \quad (3.23)$$

Comme tous les paramètres dépendent de la dimension de la machine à l'exception d' I_f et ω_G , alors la tension peut prendre la forme suivante :

$$E_f = K_M I_f \omega_G \text{ où } K_M \text{ représente la constante de la machine}$$

3.4.3 Modèle du redresseur

L'étude du redresseur de l'alternateur automobile repose sur l'hypothèse que le redresseur reçoit du courant alternatif et produit du courant continu. La figure ci-dessous représente le circuit équivalent de l'alternateur automobile avec le redresseur : [18] [19] [20]

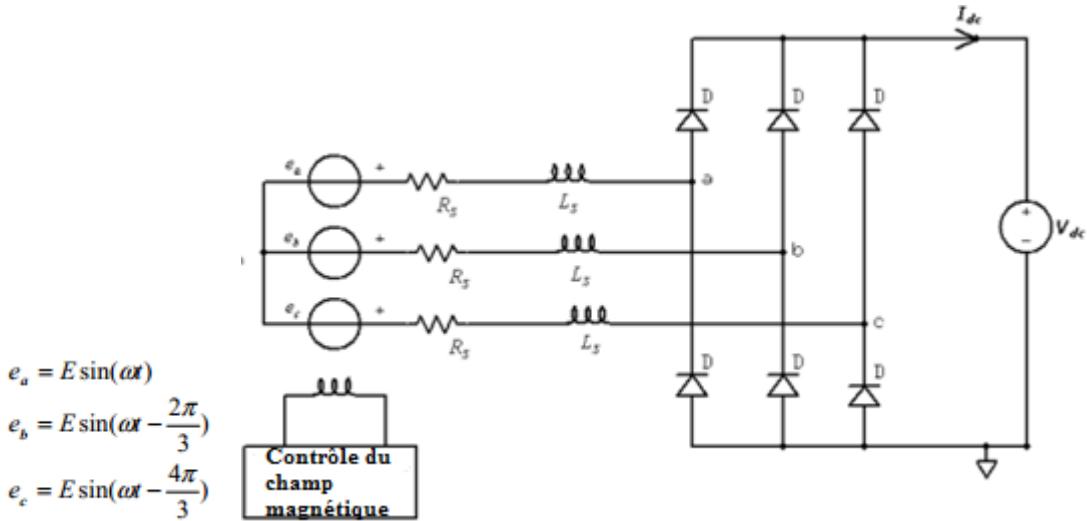


Figure 3.05 : Circuit équivalent de l'alternateur avec le redresseur

Le courant de phase fondamental est considéré sinusoïdal (configuration étoile), comme illustré sur la figure ci-après. A bas régime (faible vitesse), il a tendance à être rectangulaire et discontinu.

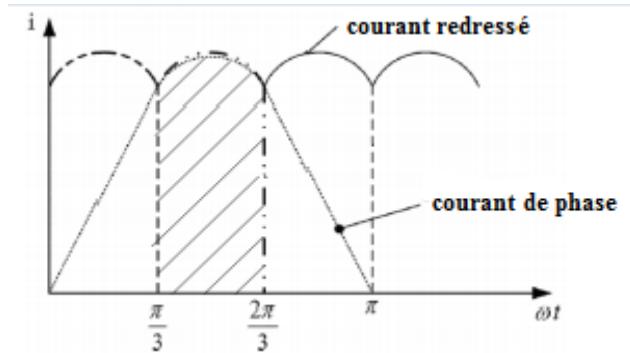


Figure 3.06 : Forme d'onde du courant de l'alternateur (couplage étoile)

La tension par phase et le courant fondamental a pour expression :

$$E_s = \frac{E}{\sqrt{2}} \text{ et } I_s = \frac{I_s}{\sqrt{2}} \quad (3.24)$$

En tenant compte de la forme d'onde du courant sur la figure 3.08 et de l'intervalle :

$$i_{dc} = \sqrt{2} I_s \sin \omega t \text{ pour } \frac{\pi}{3} < \omega t < \frac{2\pi}{3}$$

L'intégration i_{dc} nous fournit la quantité d'électricité sur la zone A

$$A = \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} I_s \sin \omega t d(\omega t) = \sqrt{2} I_s \quad (3.25)$$

Par conséquence, le courant moyen continu I_{dc} est obtenu en divisions la quantité d'électricité dans la zone A par l'intervalle ($\pi/3$) :

$$I_{dc} = \frac{\sqrt{2} I_s}{\frac{\pi}{3}} = \frac{3\sqrt{2} I_s}{\pi} \quad (3.26)$$

En faisant le bilan de puissance en tenant compte le redresseur :

$$3I_s E_s \cos \phi - P_{Redr+cu,S} = V_{dc} I_{dc} \quad (3.27)$$

Où $P_{Redr+cu,S}$ représente la perte au niveau du redresseur et du stator, et a comme expression :

$$P_{Redr+cu,S} = 3V_d I_s + 3 I_s^2 R_s \quad (3.28)$$

Ainsi la tension en sortie du redresseur s'exprime :

$$V_{dc} = \frac{3I_s(E_s \cos \phi - V_d - I_s R_s)}{\frac{3\sqrt{2}}{\pi} I_s} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} (E_s \cos \phi - V_d - I_s R_s) \quad (3.29)$$

3.5 Modélisation de la batterie

La figure ci-après décrit la représentation schématique de la batterie. Ses paramètres d'entrées sont l'intensité du courant et la température ambiante. Le niveau de tension, l'état de charge ainsi que la température d'électrolyte représentent ses paramètres d'évaluation ou de sortie. [9] [12] [21]

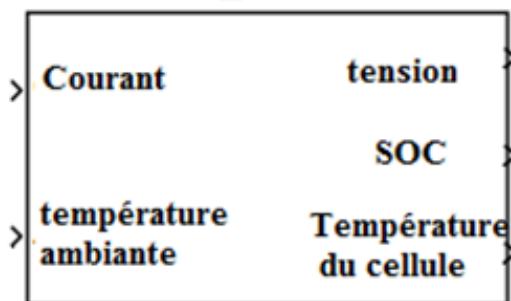


Figure 3.07 : Représentation de la batterie

Par ailleurs, le schéma ci-dessous représente la structure détaillée d'une cellule de la batterie. Afin de bien identifier son comportement, 3 modèles sont à prendre en compte:

- Le modèle thermique
- Le modèle de la charge et de la capacité
- et le modèle du circuit équivalent de la cellule

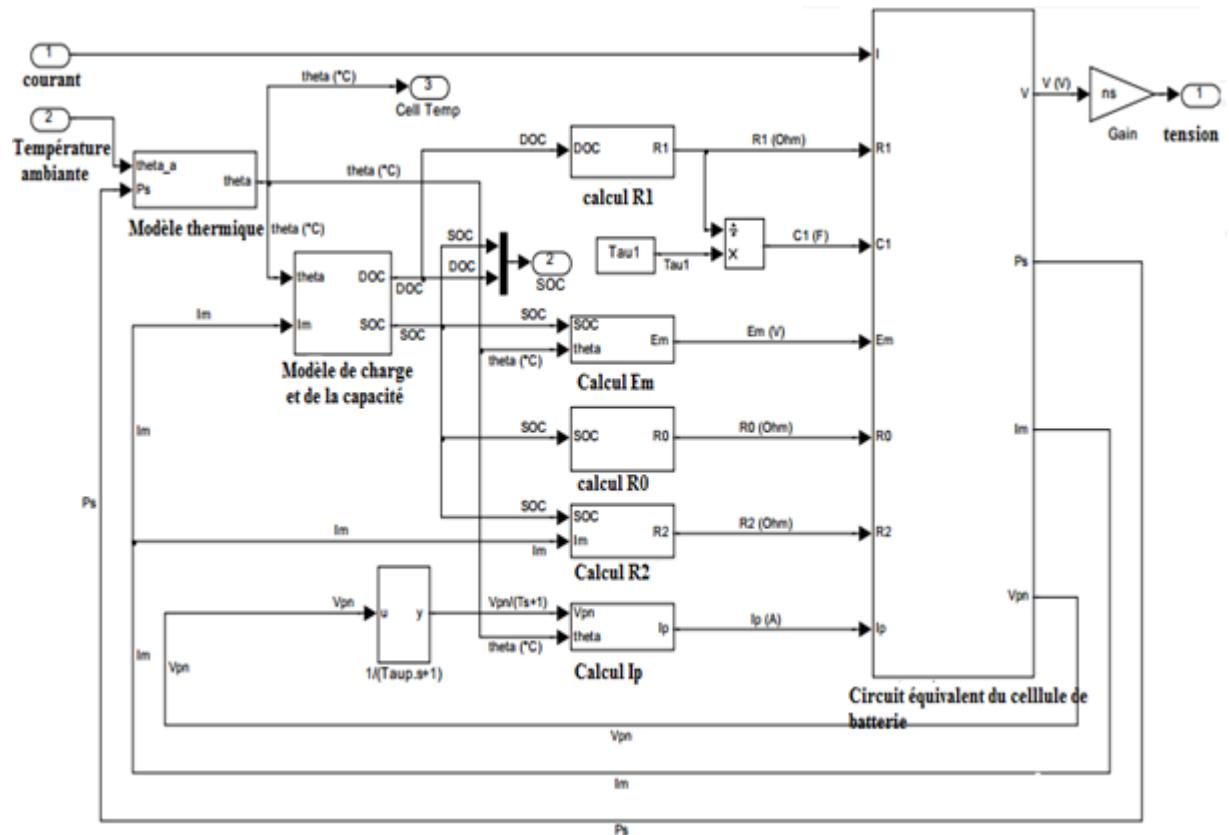


Figure 3.08 : Structure détaillée d'une cellule de la batterie

3.5.1 Circuit équivalent de la batterie

Dans ce modèle, la cellule de la batterie est représentée par un circuit équivalent non-linéaire. En effet, ce circuit ne découle pas de la réaction chimique qui se passe dans la batterie mais provient d'une approximation empirique du comportement observé au niveau de ses bornes. Ainsi, ce circuit se compose de deux parties: [9] [12] [21]

- La branche principale: donne approximativement le comportement général de batterie
- La branche parasite: décrit le comportement de la batterie à la fin de charge, en d'autre terme lorsque la batterie se trouve complètement chargée.

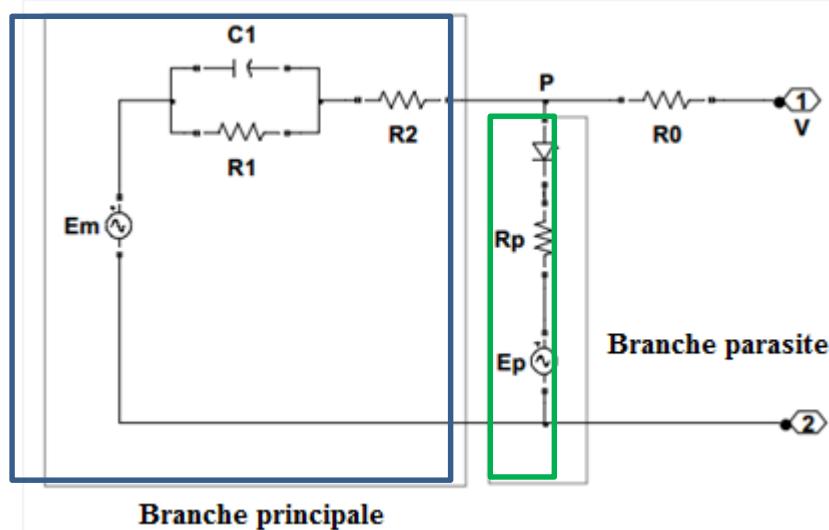


Figure 3.09 : Circuit équivalent d'une cellule de la batterie

L'équation non-linéaire inclut plusieurs paramètres et états. Les paramètres dépendent en effet des constantes empiriques tandis que les états à leur tour, englobent la température de l'électrolyte, l'énergie stockée et effectivement les tensions et courant aux bornes du circuit.

Equations de la branche principale

3.5.1.1 Tension

Cette première équation désigne approximativement la force électromotrice interne ou de la tension à circuit ouvert d'une cellule électrochimique. Sa valeur est constante quand la batterie est chargée. Par ailleurs, la force électromotrice varie en fonction de la température et l'état de charge. Ainsi, son expression est la suivante : [9] [12] [21]

$$E_m = E_{m0} - K_E (273 + \theta)(1 - soc) \quad (3.30)$$

Avec : E_m la tension en circuit ouvert [V]

E_{m0} la tension en plein de charge en circuit ouvert [V]

K_E constante en [V]/°C

θ la température de l'électrolyte

soc état de charge de la batterie

3.5.1.2 Résistance aux bornes de la batterie

L'équation suivante désigne l'expression de la résistance sur les bornes de la batterie. Elle ne dépend pas de la température mais varie en fonction de l'état de charge. [9] [12] [21]

$$R_0 = R_{00} [1 + A_0 (1 - SOC)] \quad (3.31)$$

Où : R_0 : la résistance entre les bornes de la batterie [Ω]

R_{00} : la valeur de R_0 pour $SOC = 1$, [Ω] , A_0 : Constante

3.5.1.3 Résistance R_1

Elle dépend de la profondeur de décharge ou DOC. Cette résistance augmente exponentiellement au fur et à mesure que la batterie se met à décharger.

$$R_1 = -R_{10} \ln(DOC) \quad (3.32)$$

Avec: R_1 : résistance au niveau de la branche principale [Ω]

R_{10} : constante [Ω] , DOC : Profondeur de décharge

3.5.1.4 Capacité C_1

Elle est exprimée par la relation suivante:

$$C_1 = \frac{\tau_1}{R_1} \quad (3.33)$$

Où : C_1 : la capacité de la branche principale [F]

τ_1 : Constante de temps dans la branche principale [s]

3.5.1.5 Résistance R_2

Cette résistance augmente de façon exponentielle à force que l'état de charge de la batterie accroît. En outre, elle varie également en fonction de l'intensité du courant qui circule dans la branche principale. La résistance affecte uniquement la batterie pendant la charge mais devient relativement insignifiant durant la décharge. Ainsi, son expression est représentée par la relation suivante : [9] [12] [21]

$$R_2 = R_{20} \frac{\exp[A_{21}(1 - SOC)]}{1 + \exp(A_{22} \frac{I_m}{I^*})} \quad (3.34)$$

Avec : R_2 : résistance de la principale [Ω] , I^* : Intensité nominal de la batterie [A]

R_{20} , A_{21} , A_{22} : constante

I_m : Intensité de courant de la branche principale [A]

Branche parasite du circuit équivalent

3.5.1.6 Courant dans la branche parasite

Ce courant représente en effet, l'intensité de courant perdu ou dite: parasite, qui survient lorsque la batterie vient d'être chargée. Elle dépend de la température de l'électrolyte et de la tension dans la branche parasite. En fait, sa valeur est très petite, excepté dans le cas où l'on charge la batterie avec un état de charge encore élevée. Elle est obtenue par l'expression suivante : [9] [12] [21]

$$I_p = V_{PN} G_{P0} \exp\left(\frac{V_{PN}/(\tau_p s + 1)}{V_{P0}} + A_p \left(1 - \frac{\theta}{\theta_f}\right)\right) \quad (3.35)$$

Avec : I_p : intensité de courant perdue dans la branche parasite [A]

V_{PN} : la tension dans la branche parasite [V]

G_{P0} : Constante en [s], A_p : Constante, V_{P0} : Constante en [V]

τ_p : Constante de temps dans la branche parasite [s]

θ : Température de l'électrolyte en [$^{\circ}C$]

θ_f : Température de congélation de l'électrolyte en [$^{\circ}C$]

3.5.2 Modèle de la charge et de la capacité [6][7]

3.5.2.1 La charge

L'équation ci-dessous désigne la quantité de charge extrait de la batterie. En effet, elle est représentée par l'intégration de l'intensité du courant qui circule dans la branche principale ou celle en dehors de la branche. Son expression est donnée par la suivante: [9] [12] [21]

$$Q_e(t) = Q_{e \text{ init}} + \int_0^t -I_m(\tau) d\tau \quad (3.36)$$

Où : Q_e : quantité de charge extrait [A/s]

τ : variation du temps

$Q_{e init}$: Quantité initial de charge extrait [A/s]

t : temps de la simulation [s]

I_m : Intensité de courant dans la branche principale [A]

3.5.2.2 La capacité total C

L'équation présentée ci-après donne la valeur de la capacité de la batterie obtenue en fonction du courant de décharge et la température de l'électrolyte. Toutefois, la capacité dépend du courant spécialement durant la décharge de la batterie. Pendant la charge, le courant de décharge est égal à 0. [9] [12] [21]

$$C(I, \theta) = \frac{K_C C_0^*}{1 + (K_C - 1) \left(\frac{I}{I^*}\right)^\delta} \left(1 - \frac{\theta}{\theta_f}\right)^\varepsilon \quad (3.37)$$

Avec : K_C constante, δ et ε sont des constantes

C_0^* capacité de la batterie sans charge à 0°C

I courant de décharge

3.5.2.3 Etat de charge (SOC) et profondeur de décharge (DOC)

Les équations suivantes correspondent à l'état de charge et à la profondeur de décharge de la batterie. En effet, l'état de charge mesure la quantité d'énergie restante dans la batterie tandis que la profondeur de charge désigne la quantité d'énergie déchargée de la batterie. [9] [12] [21]

$$SOC = 1 - \frac{Q_e}{C(0, \theta)} \quad (3.38)$$

Où : Q_e : quantité de charge de la batterie [A/s]

C : Capacité de la batterie [A/s]

$$DOC = 1 - \frac{Q_e}{C(I_{moy}, \theta)} \quad (3.39)$$

I_{moy} : Courant de décharge moyen [A]

3.5.2.4 Estimation du courant moyen de décharge :

L'intensité de courant moyen de décharge est donnée par l'équation suivante :

$$I_{moy} = \frac{I_m}{(\tau_1 s + 1)} \quad (3.40)$$

3.5.3 Modèle thermique

3.5.3.1 Température de l'électrolyte

Le bloc du modèle thermique représenté dans la figure 3.04 a pour objectif de capturer la température de l'électrolyte de la batterie. Ainsi, l'équation suivante a été modélisée afin de visualiser le changement de la température au niveau de l'électrolyte due à la température ambiante et la perte engendrée par la résistance interne. [9] [12] [21]

$$\theta(t) = \theta_{init} + \int_0^t \frac{\left(P_s - \frac{(\theta - \theta_a)}{R_\theta} \right)}{C_\theta} d\tau \quad (3.41)$$

Avec θ : température de la batterie [$^{\circ}C$]

θ_a : Température ambiante [$^{\circ}C$], θ_{init} : Température initiale de la batterie

P_s : Perte joule de R_2, R_0 [W], R_θ : Résistance thermique $\left[^{\circ}C/W \right]$

C_θ : Capacité thermique [$J/^{\circ}C$]

3.6 Les charges électriques d'un véhicule

Les charges électriques définies tous les appareils nécessitant de l'énergie électrique pour leur fonctionnement. En effet, les consommateurs automobiles se présentent en trois catégories, en fonction de leur temps de nécessité de courant : [16] [19]

- Les récepteurs à consommation permanent
- Récepteur à consommation prolongé
- Et ceux à consommation temporel et occasionnel

Le tableau ci-dessous montre les équipements électriques typiques d'un véhicule :

Charges	Puissance (W)	Courant à 14V

Système d'allumage	30	2
Injection de carburant	70	5
Pompe d'alimentation	70	5
Divers mécanismes	10	1

Tableau 3.02: *Liste des récepteurs à consommation continue*

Charges	Puissance	Intensité
Feux arrières	30	2
éclairage plaque d'immatriculation	10	1
Feu de route	200	15
Feu de croisement	160	12
Tableau de bord	25	2
Radio/CD	15	1

Tableau 3.03: *Liste de récepteurs à consommation prolongée*

Charges	Puissance	Intensité du courant
Système de chauffage	50	3.5
Cligotants	50	3.5
Feu de stop	40	3
Essuie-glace avant	50	6
Essuie-glace arrière	50	3.5
Lève-vitres	150	11
Refroidisseur	150	11

Ventilateur moteur	80	6
Lumière intérieure	10	1
Klaxon	40	3
Feu anti-brouillard arrière	40	3
Feux de recul	40	3
Lampes auxiliaires	110	8
Mouvement auto chaise	150	11
Chauffage chaise	200	14
Toit ouvrant	150	11
Rétroviseur	10	1

Tableau 3.04: *Liste de récepteurs à consommation temporaire*

3.6.1 Schémas de branchement des circuits électriques d'un véhicule

La figure suivante représente le branchement des différents circuits électriques sous le capot de l'automobile : [14] [16]

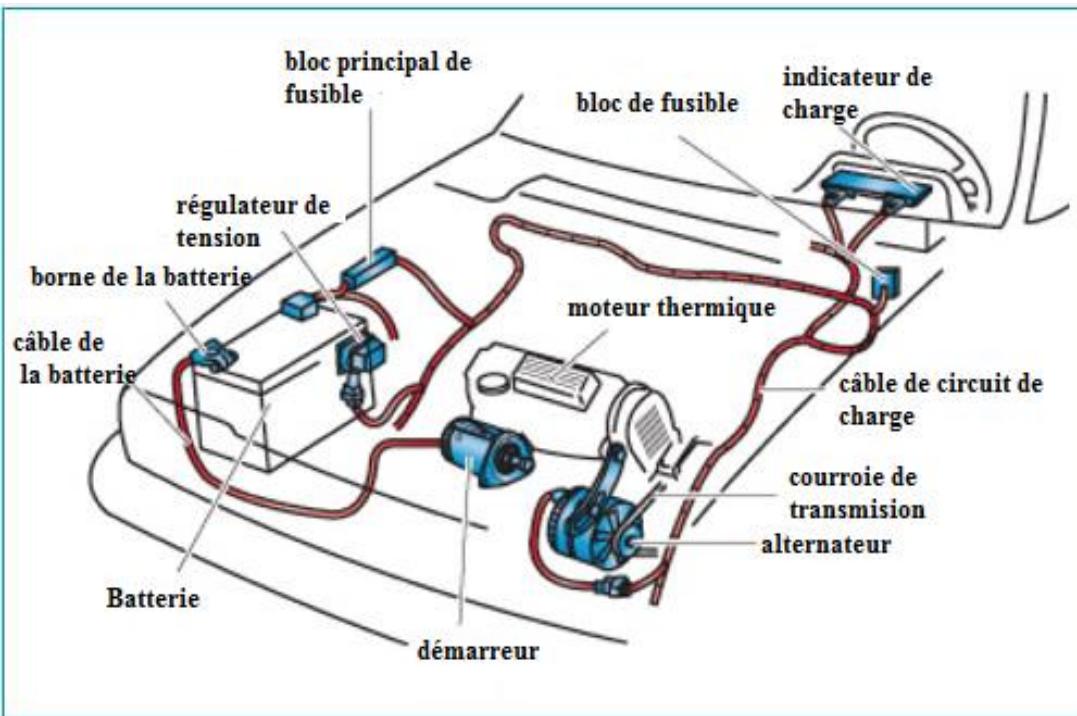


Figure 3.10 : Schéma de câblage du circuit de charge avec le démarreur

La figure suivante quant à elle représente le schéma électrique intégral du câblage des différents circuits électriques de l'automobile depuis la source d'énergie jusqu'aux divers consommateurs.

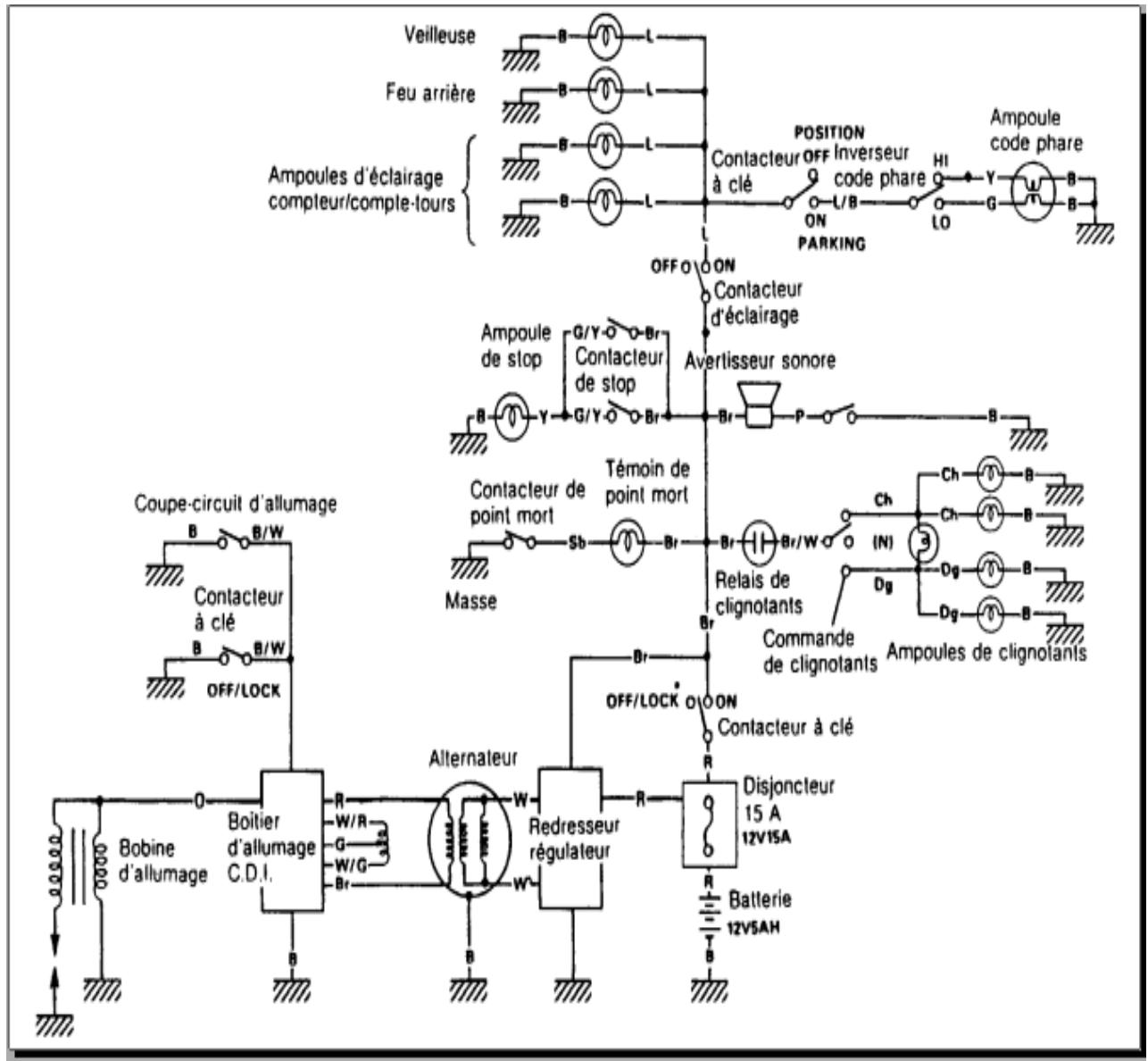


Figure 3.11 : Câblage des différents circuits électriques

Conclusion

Pour conclure, cette partie nous a présenté la modélisation de l'alternateur et de la batterie. Les modèles présentés vont nous servir comme outil essentiel afin de simuler le fonctionnement du circuit de charge d'un véhicule. Cette partie nous a également évoquées les différentes catégories de charges électriques typiques présentes dans une voiture suivie de leurs caractéristiques électriques respectives. Le système de protection de circuit électrique et la caractéristique des conducteurs électriques ont été abordés. Le chapitre suivant nous conduit à la simulation de notre travail.

CHAPITRE 4 SIMULATION ET PRESENTATION DU RESULTAT

4.1 Objectif de la simulation

L'objectif de notre simulation est de montrer le fonctionnement des équipements électriques dans un véhicule. Pour ce faire, cette simulation tient compte des différents paramètres que nous appelons : paramètres d'entrées qui présentent d'importante influence sur la qualité et quantité de l'énergie disponible au niveau de l'alternateur et de la batterie destiné à alimenter les consommateurs électriques d'un véhicule. Ceci étant illustré sur la figure ci-après :

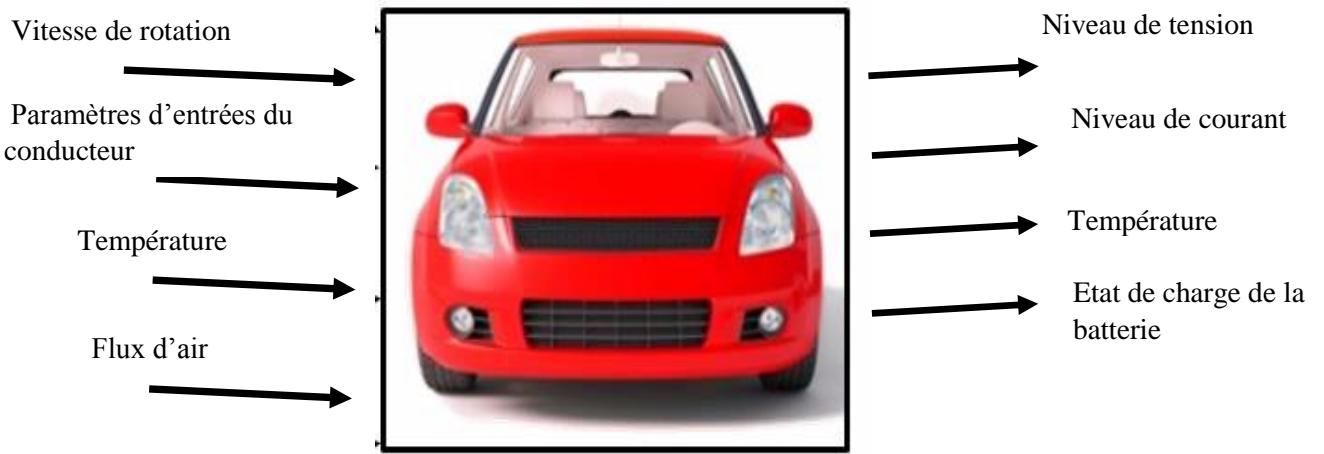


Figure 4.01 : Paramètres d'entrée et de sortie du véhicule

Les paramètres de sorties citées sur la figure ci-dessus permettent de voir les impacts engendrés par les paramètres d'entrées au niveau de l'alternateur et la batterie (niveau de tension, courant, état de charge).

4.2 Présentation de l'environnement du travail

La figure présentée ci-dessous désigne le bloc de l'alternateur dans notre simulation. Ses paramètres d'entrées sont : la température du milieu et la vitesse de rotation du rotor qui dépend exclusivement de la vitesse de rotation du moteur thermique. Ces paramètres ont d'importante influence sur la tension de sortie de l'alternateur. Comme ce bloc intègre déjà le redresseur et le régulateur, sa sortie est alors représentée par la tension continue qui alimente directement les consommateurs ainsi que la charge de la batterie.

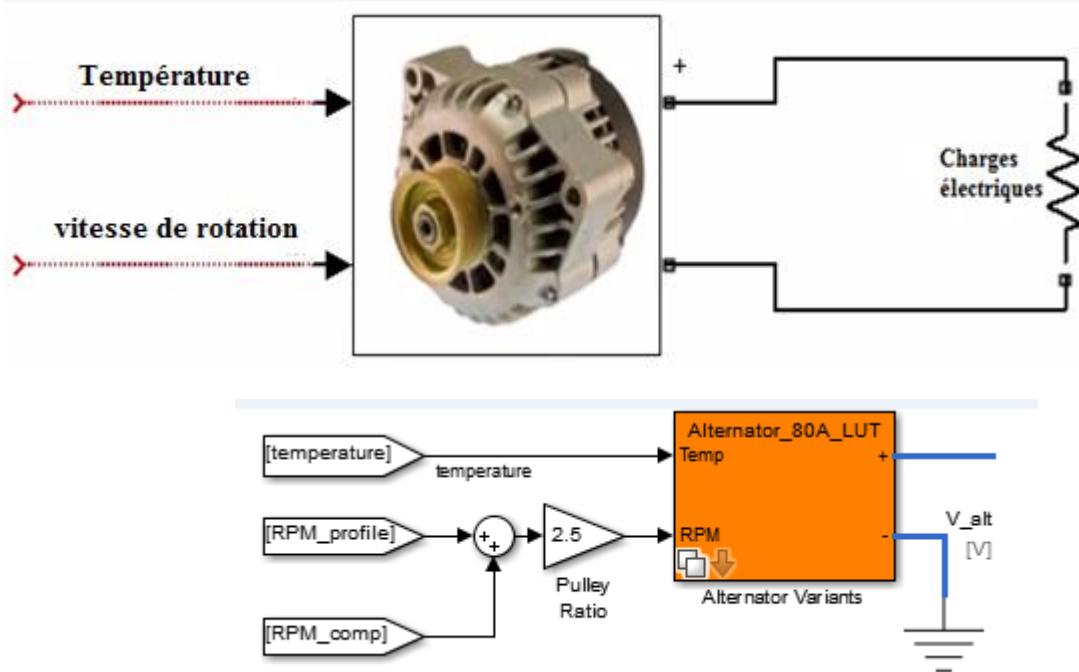


Figure 4.02 : Bloc de l'alternateur sur la simulation

Le bloc « pulley ratio » représente le rapport de la distribution de la vitesse de rotation du moteur thermique par celui transmis à l'alternateur.

Quant à la batterie, elle est représentée par le bloc montré sur la figure 4.03. Sa borne positive est raccordée à la fois à l'alternateur dans le but d'assurer sa recharge mais également aux différents consommateurs dont elle fournit l'énergie électrique dans le cas où la voiture se met à ralentir voire pendant son arrêt. Pour le cas de la batterie, c'est la température de l'électrolyte qui se présente comme son paramètre influent.

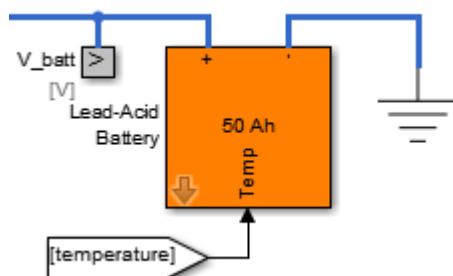


Figure 4.03 : Bloc de la batterie

La figure suivante représente les différentes charges électriques branchées sur l'alternateur et la batterie. Pour notre simulation, nous avons pris 10 charges dont :

- Une charge à consommation continue : système d'allumage et pompe d'injection englobés dans le bloc moteur
- Charges à consommation prolongée : la multimédia, feu de route, tableau de bord, feu antibrouillard
- Charges à consommation intermittente : lève-vitre électrique, souffleur-radiateur, lampe intérieure

En effet, les charges à consommation prolongée et intermittente sont représentées avec une interrupteur du fait que leur fonctionnement dépend du choix et l'entrée du conducteur sur le véhicule.

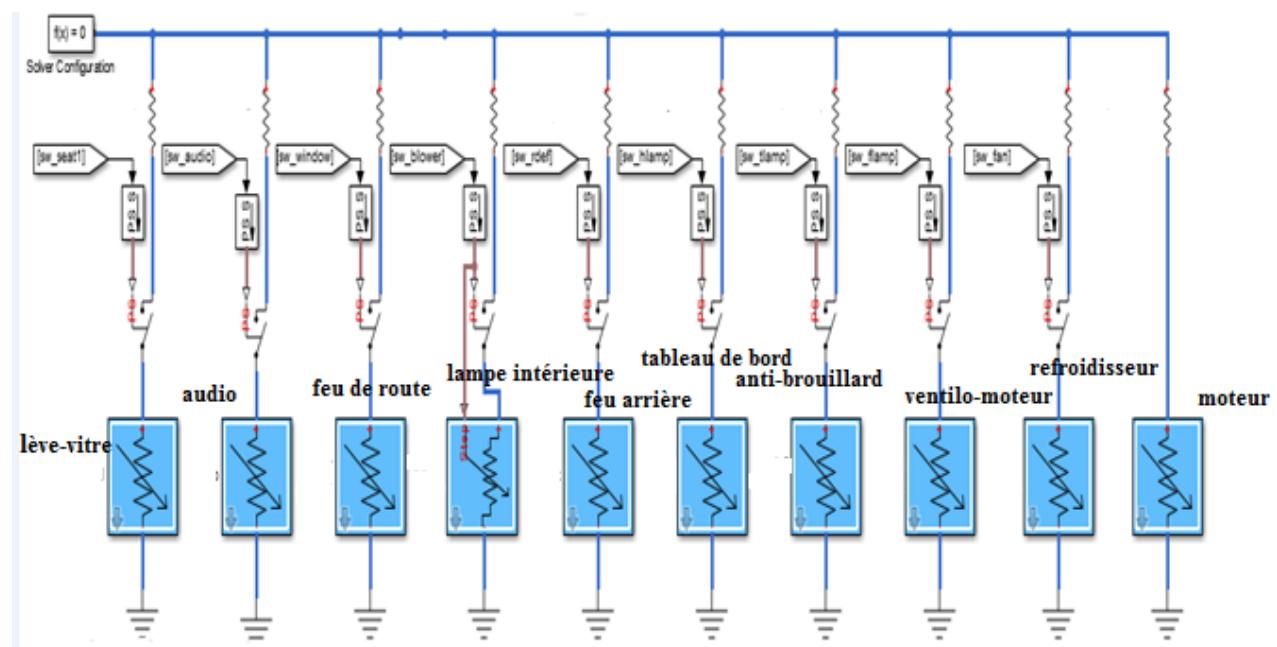


Figure 4.04 : Branchement des différentes charges

La figure ci-après illustre le montage intégral de notre simulation : la principale source d'énergie électrique représentée par l'alternateur, la batterie de stockage et les consommateurs électriques.

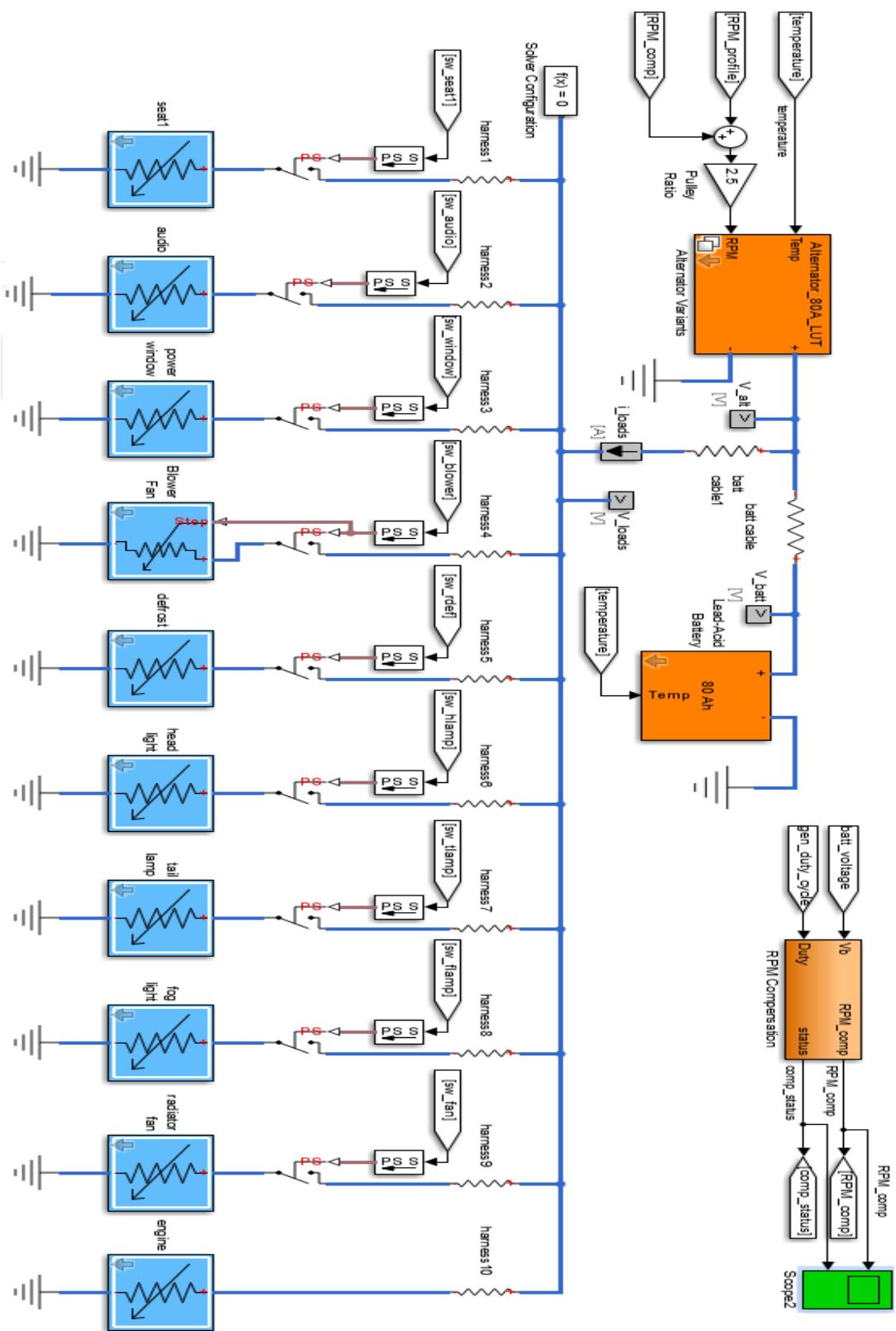


Figure 4.05 : Schéma de l'ensemble de l'équipement électrique d'un véhicule

4.3 Simulation et résultats

La simulation consiste à voir l'influence des différents paramètres d'entrées : paramètres entrées par le conducteur et ceux issus du véhicule, sur la tension et le courant disponible au niveau de l'alternateur et par déduction sur la batterie (SOC). La compréhension de ce fonctionnement nous permet d'optimiser le dimensionnement de l'alternateur et de la batterie en fonction de différentes charges électriques imposées à la voiture en tenant compte de la température du milieu et de la vitesse de conduite.

4.3.1 Paramètres d'entrées par le conducteur

La figure ci-après montre un bloc regroupant les charges électriques de notre simulation. En d'autre terme, il représente l'interface de commande entre le conducteur et les appareils électriques. C'est à travers cette commande que le conducteur agit afin bénéficier l'utilisation des appareillages électriques de l'automobile.

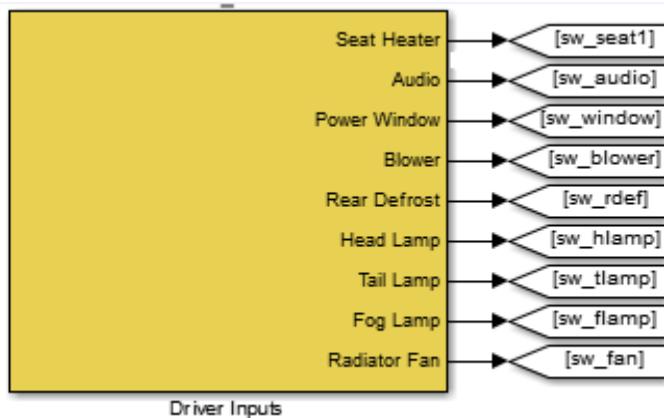


Figure 4.06 : La commande des charges par le conducteur

La figure suivant représente les impulsions d'entrée de chaque charge en fonction de leur temps d'utilisation respectifs. La commande de marche/arrêt de chaque équipement électrique dépend du choix du conducteur et également l'environnement de conduite.

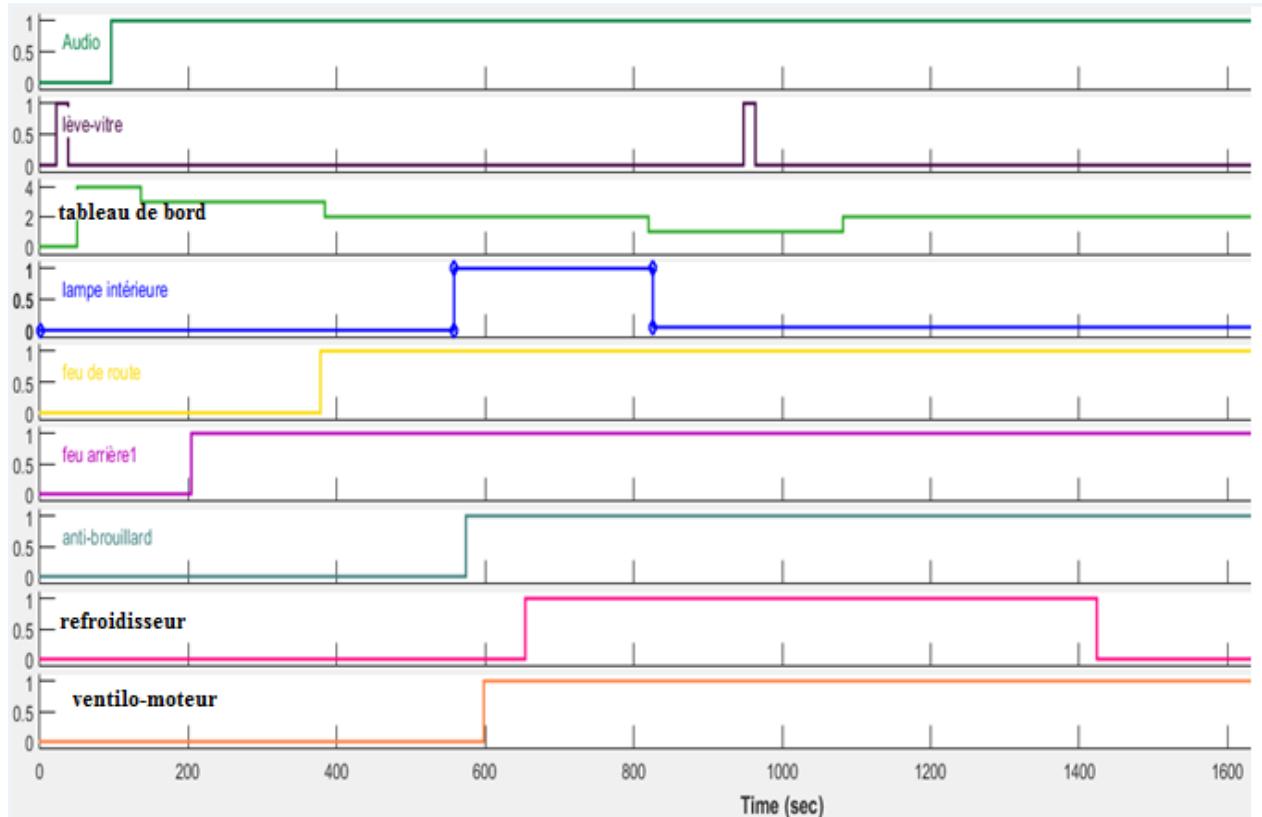


Figure 4.07 : Impulsion de commande des charges

4.3.2 Paramètres d'entrées du véhicule

La figure suivante indique les deux paramètres d'entrées du véhicule qui ont une grande influence à la tension disponible au niveau de l'alternateur :

- La température
- La vitesse de rotation du rotor

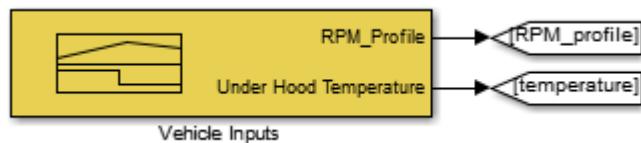


Figure 4.08 : Paramètres d'entrée par le véhicule

En cliquant sur ce bloc, on fait apparaître une fenêtre qui nous communique deux graphes : l'un de la vitesse de rotation du rotor et l'autre de la température de l'environnement où se trouve le moteur. En effet, on peut varier la rpm du premier graphe afin de bien visualiser le fonctionnement du circuit de charge de l'automobile dans diverses circonstances. Ainsi pour notre simulation, nous adopterons les deux scénarios suivants :

- Cas de la voiture en marche avec une variation de rpm
- Cas de la voiture au ralenti

Ensuite, nous allons voir les impacts qu'engendrent ces deux cas sur les sorties de l'alternateur et la batterie.

4.3.2.1 Cas d'un véhicule en marche subissant une variation de vitesse

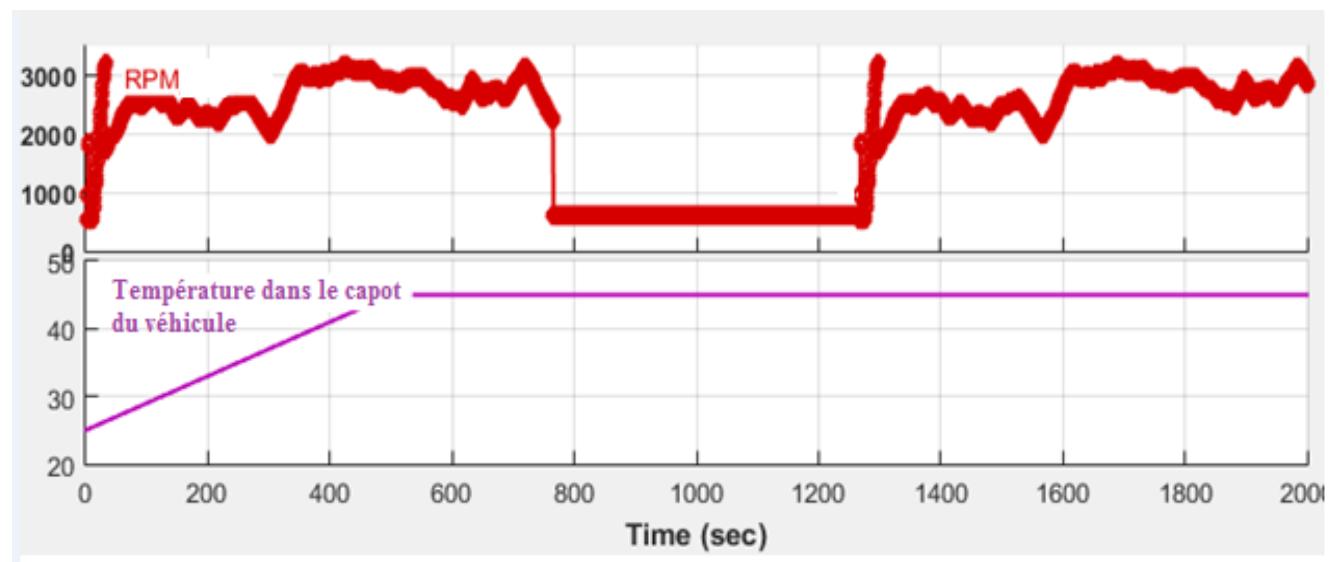


Figure 4.09 : Variation de la RPM

- A un premier temps entre 0 et 700s de marche, la vitesse de rotation de l'alternateur se trouve au environ de 3000tr/min
- A plein conduite, de 700 à 1300s, la voiture se décélère et sa vitesse de rotation devient 650 tr/min
- Puis dans un dernier temps, à partir de 1300s jusqu'à 2000s, la fin de notre durée de conduite sur la simulation, la voiture accélère en reprenant sa vitesse de rotation au environ de 3000tr/min.

Afin de voir l'efficacité de notre travail, ce véhicule est soumis à de différentes charges électriques suivie de leur temps d'utilisation respectifs, comme illustrées sur la figure 4.07. Voyons maintenant l'impact qu'infligeront ces deux paramètres d'entrées au niveau de la sortie de l'alternateur et de la batterie.

Résultat au niveau de l'alternateur

Ce résultat représente en effet, le niveau de tension et l'intensité de courant disponible à la sortie de l'alternateur vis-à-vis de la variation de son paramètre influent, qui est la vitesse de rotation. Ainsi, durant la première phase de t_0 à peu près t_{800s} où la vitesse de rotation se trouve aux environs de 3000rpm, l'intensité de courant mesuré est dans les 80A et plus. Quant à la tension, elle se trouve aux alentours de 14V, qui est une tension déjà régulée. Pendant la décélération du véhicule de t_{800} à t_{1300s} , la tension et l'intensité subit une importante baisse suite à une à la diminution de la vitesse de rotation de l'alternateur. Après cette période, la voiture se met à accélérer, d'où une augmentation de vitesse de rotation de l'alternateur. La tension et l'intensité reprend sa valeur normale.

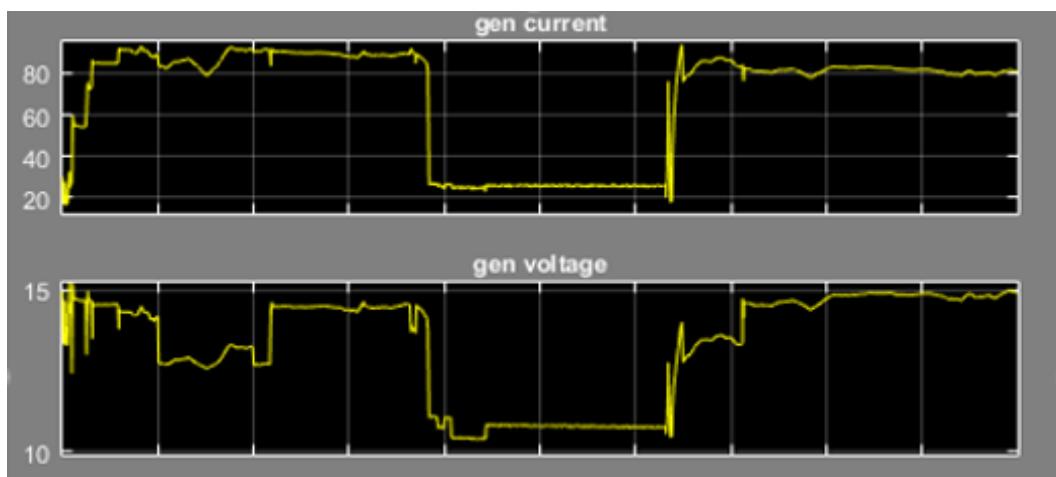


Figure 4.10 : Résultat au niveau de l'alternateur

Résultat au niveau de la batterie

Comme l'alternateur a été impacté par cette variation de la vitesse de rotation du rotor, alors ceci aura également une conséquence sur la batterie.

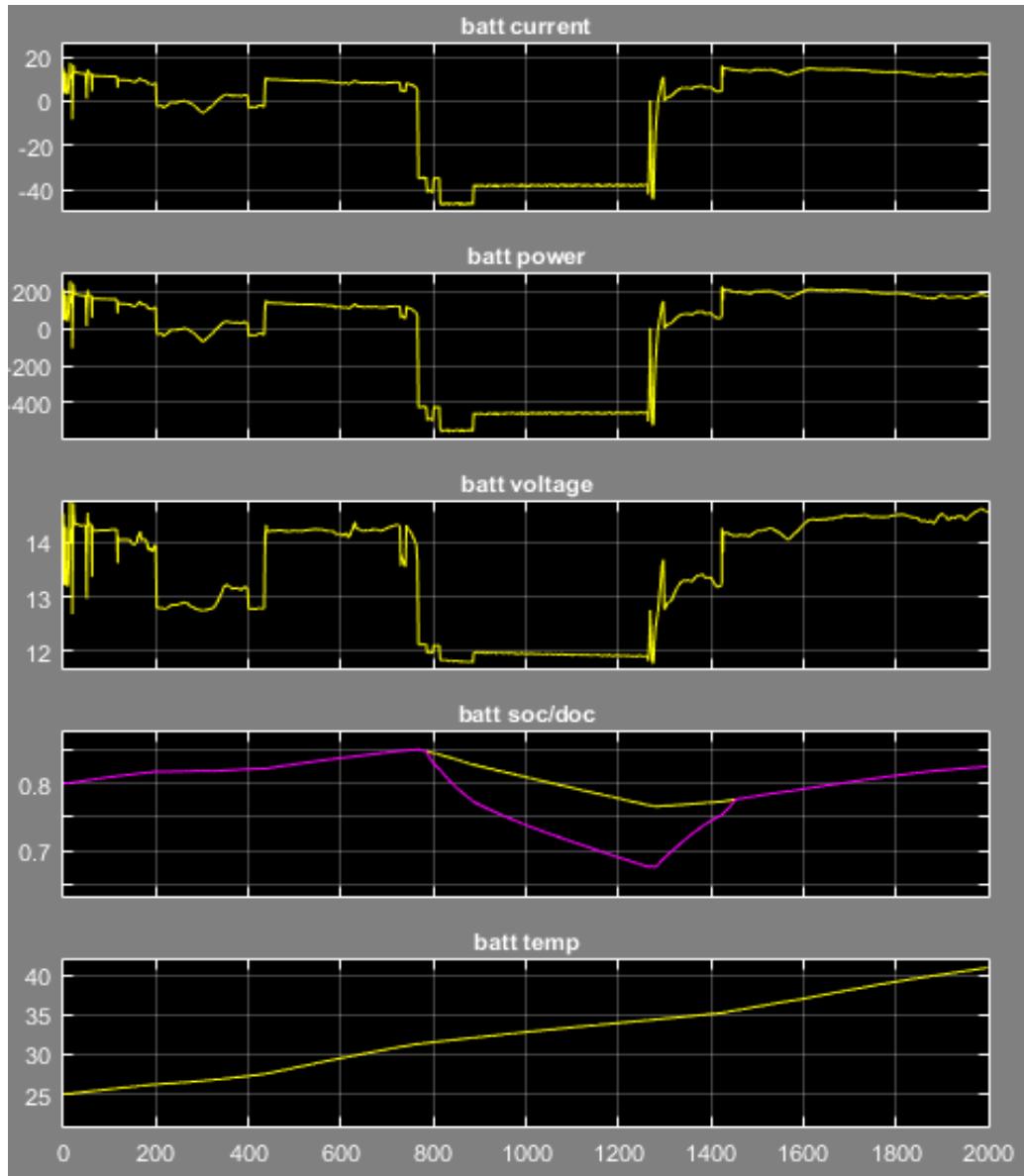


Figure 4.11 : Résultat au niveau de la batterie

L'état de charge de la batterie dépend essentiellement de la tension disponible au niveau de la batterie. D'après ce résultat, le SOC de la batterie va de 80% jusqu'à peu près les 90%. Cette augmentation de l'énergie disponible au niveau de la batterie indique en sus d'alimenter les charges électriques qui est en action pendant cette période t_0 à t_{800s} , l'alternateur se met à charger la batterie. En d'autre terme, l'énergie produit en sortie de l'alternateur est largement supérieur à celle demandée par les charges. Par contre, entre t_{800} à peu près t_{1300s} , on remarque une baisse de l'état de charge de la batterie, de 90% à 75%, ceci s'explique par le fait que, durant cette période, la voiture subit une décélération d'où une diminution de vitesse de rotation de l'alternateur (à environ 600 rpm) qui se traduit par un faible niveau de tension à sa sortie. Suite à cela, l'alternateur ne parvenant

pas à satisfaire la demande en énergie des charges en action pendant, ainsi la batterie lui vient en aide, d'où la diminution de l'état de charge de la batterie. Ensuite, la voiture reprend son allure et se met à accélérer. Pendant cette dernière phase, au fur et à mesure que la vitesse de rotation augmente, ainsi l'alternateur produit suffisamment de tension disponible à la fois pour les consommateurs actionnés pendant cette période que pour la recharge de la batterie, d'où son SOC qui se met à accroître.

4.3.2.2 Cas du véhicule au ralenti :

Dans ce deuxième cas, nous avons changé la vitesse de rotation du rotor à 600 tr/min en supposant que la voiture se met à ralentir durant tout le parcours de t_0 à t_{2000} . Ainsi, nous allons observer ce qui se passe au niveau de la sortie de l'alternateur ainsi que l'impact sur la batterie. Cela, avec les mêmes consommateurs d'énergie électriques comme le cas précédent.

La figure ci-dessous montre l'entrée au niveau de l'alternateur pour le cas d'un véhicule au ralenti :

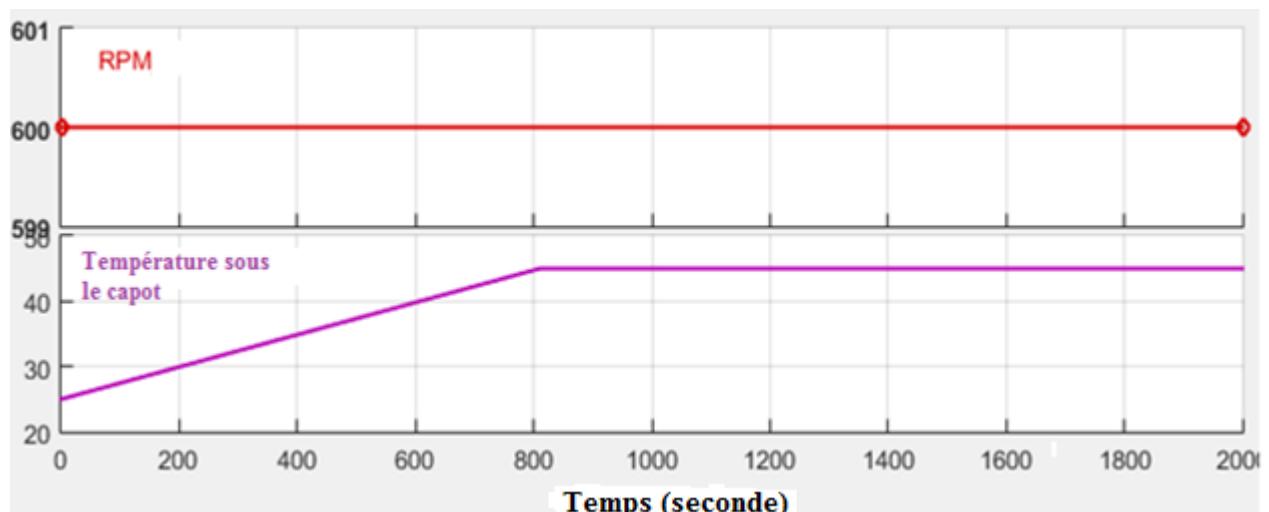


Figure 4.12 : Paramètre d'entrée du véhicule au ralenti

Résultat au niveau de l'alternateur

Face à cette vitesse de rotation largement faible, la conséquence se voit clair sur la sortie de l'alternateur tant sur l'intensité du courant que sur la tension qui se trouve en dessous de 14V.

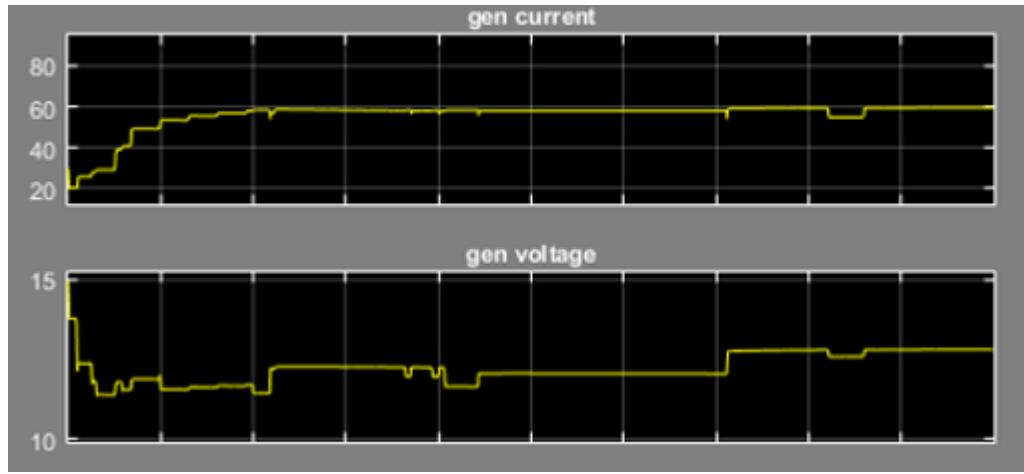


Figure 4.13 : Sortie de l'alternateur

Résultat au niveau de la batterie

Comme la tension et l'intensité disponible à la sortie de l'alternateur sont tous deux insuffisantes émanant de sa faible vitesse de rotation (600rpm), alors celui-ci ne pourra pas satisfaire la demande en électricité des consommateurs (figure 4.07) et la recharge de la batterie. Par conséquent, c'est la batterie qui vient en aide à l'alternateur pour assurer l'approvisionnement en énergie électrique des différentes charges de l'automobile en action. Cela est justifié par la profondeur de charge de la batterie qui est aux alentours de 70% qui signifie que la batterie est déchargée à 70% et que l'énergie restante est au environ de 30% (SOC).

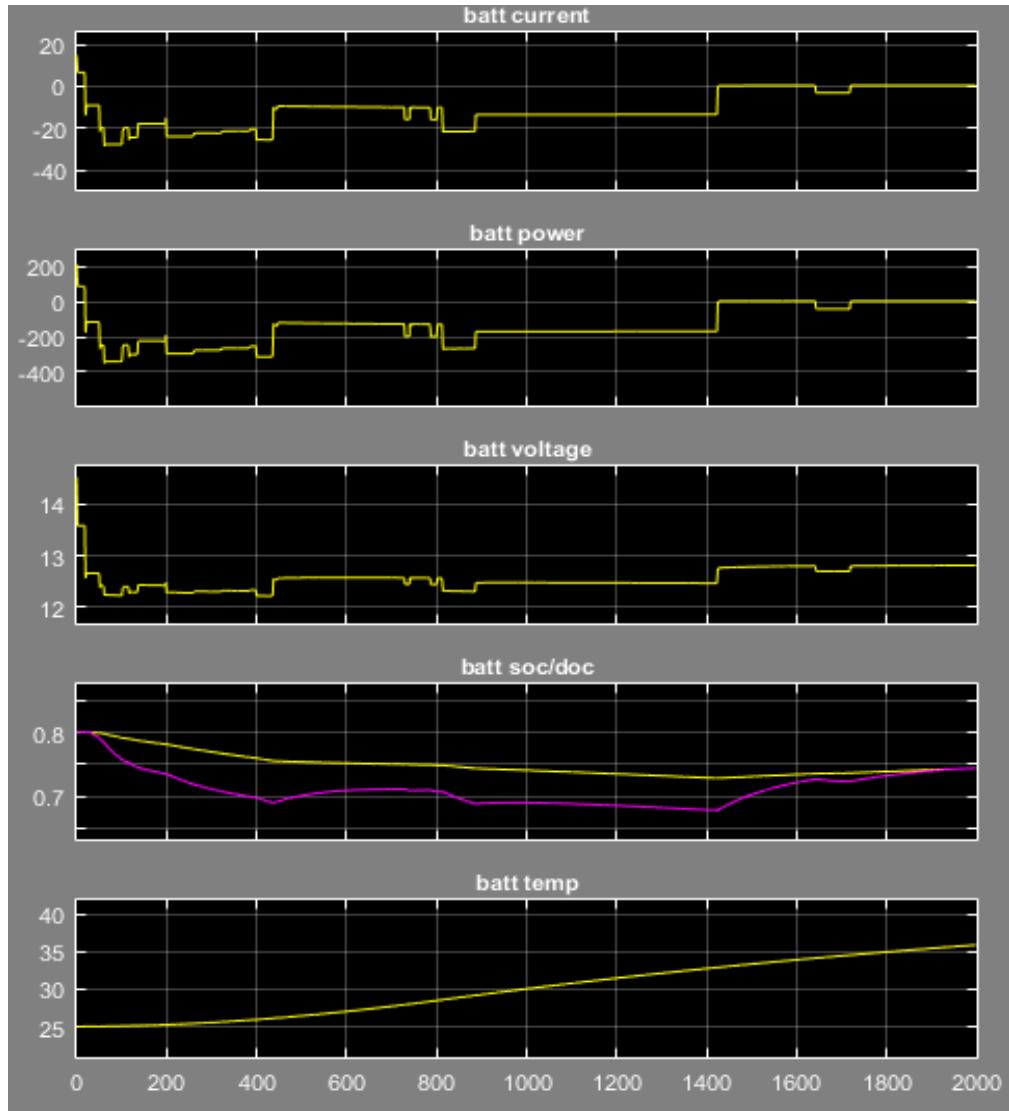


Figure 4.14 : Sortie au niveau de la batterie

Conclusion

En guise de conclusion, nous avons présenté dans ce chapitre la simulation sous SIMULINK du fonctionnement du système de charge d'une voiture. La simulation nous a montré que la tension de sortie au niveau de l'alternateur ainsi que l'intensité du courant varient en fonction du régime moteur. Les deux cas que nous avons pris nous ont permis de vérifier cela. Ainsi, les résultats obtenus permettent d'optimiser les caractéristiques de l'alternateur et de la batterie en fonction des charges électriques soumises à la voiture.

CONCLUSION GENERALE

Le travail que nous avons effectué consiste à faire une étude sur la mise en place d'un système électrique dans une voiture légère. Les circuits de charges constitués par l'alternateur et de la batterie représentent le cœur du système électrique d'un véhicule. L'alternateur assure la principale source d'énergie électrique du véhicule grâce au mouvement d'un aimant appelé rotor dans une bobine dénommée : stator. Dans l'automobile, l'alternateur est couplé au moteur thermique au moyen d'une poulie qui transmet le mouvement du vilebrequin du moteur thermique vers le rotor. Par ailleurs, la tension induite par le stator dépend fondamentalement de la vitesse de rotation du rotor qui lui-même découle du régime moteur, en d'autre terme elle accroît avec le régime du moteur. Le régulateur qui est un interrupteur contrôle et stabilise la tension de sortie en réduisant le courant d'excitation injecté au rotor afin de corriger la variation de tension émanant du régime moteur, qui pourrait dépasser le seuil admis par la batterie : 14.2V

L'alternateur fournit l'énergie électrique nécessaire à l'ensemble des équipements électriques dans la voiture notamment durant la conduite. La batterie a pour fonction de stocker l'électricité issue de l'alternateur sous forme électrochimique dans le but de la restituer à l'arrêt du moteur pour assurer l'alimentation des équipements électriques et également pour actionner le démarreur. En outre, la batterie seconde l'alternateur à satisfaire les consommateurs lorsque la demande en électricité excède le rendement de celle-ci, cas du véhicule au ralenti ou à très bas régime.

Le défi majeur est d'assurer le dimensionnement de l'alternateur et la batterie afin de fournir l'énergie électrique nécessaire aux charges électriques soumis aux véhicules sous diverses conditions. L'intérêt de cette étude par le biais de la simulation qui est un outil précieux est de permettre un gain de temps important lors des phases de conception et de validation et également de diminuer le nombre de prototype physique à fabriquer. La simulation passe par une phase préliminaire destinée à concevoir des modèles pertinents des organes du circuit de charge. L'étude fait dans ce mémoire respecte bien les cahiers de charge pour la conception d'un système électrique d'une voiture. Nous avons tenu compte de tous les paramètres influent la tension de sortie au niveau de l'alternateur tels que la variation de la vitesse de l'automobile, la température dans le capot, mode de consommation des charges qu'il soit prolongé, continu ou intermittent.

ANNEXE 1 Le système d'éclairage et de signalisation d'un véhicule

Le système d'éclairage d'une voiture

Comme tout circuit électrique, il comprend :

- Un générateur statique, la batterie ; un générateur dynamique, l'alternateur qui débite en parallèle avec la batterie (1)
- Un interrupteur, le combiné d'éclairage (2)
- Un ou des récepteurs (3)
- Des conducteurs d'alimentation et de retour de courant (4)

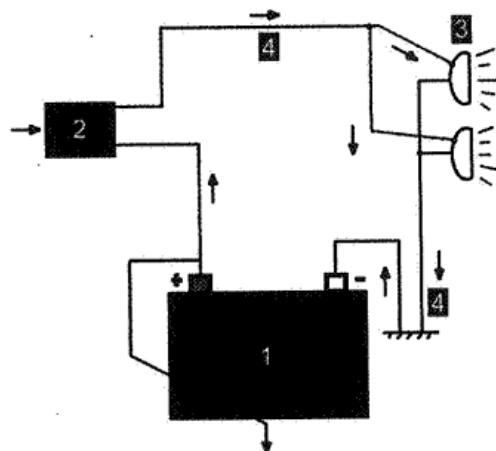


Figure A.1.1 : Principe d'éclairage

D'après la figure ci-dessous, nous voyons que :

- 1- Le courant continu venant du circuit de charge est stocké dans la batterie d'accumulateurs
- 2- Le conducteur agit sur le combiné d'éclairage
- 3- Les projecteurs s'allument et diffusent un faisceau lumineux

→ Le système d'éclairage comprend les appareils électriques permettant au conducteur de voir la route lorsque le soleil se couche. Les projecteurs constituent en effet, les éléments de base du système. Il a pour fonction d'éclairer l'avant du véhicule en transformant l'énergie électrique en énergie lumineuse en d'autre terme, il constitue l'ensemble des feux nécessaires à la circulation de nuit qui permettent au véhicule d'être visible par les autres conducteurs.

Ainsi, le système d'éclairage est composé de :

- Deux feux de route : qui doivent éclairer efficacement la route à une distance minimale de 100 m par temps clair
- Deux feux de croisement de couleur jaune ou blanche dont le faisceau rabattu doit éclairer à 30 m minimum sans éblouir les autres usagers

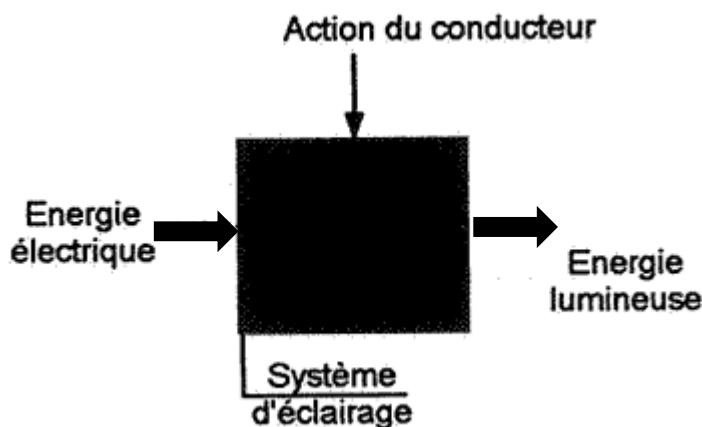


Figure A.1.2 : Fonctionnement du système d'éclairage

Le système de signalisation

La signalisation quant à lui, regroupe les feux permettant au conducteur de signaler aux autres usagers, de jour comme de nuit, ses modifications de conduite : changement de direction ou freinage.

Pour l'emplacement, la signalisation existe à l'avant et à l'arrière du véhicule :

- **Signalisation à l'avant :**
 - Deux feux de position visible à 150 m, par temps clair de couleur blanche ou orangée
 - Deux indicateurs de changement de direction, les clignotants de couleur blanche ou orangée
- **Signalisation à l'arrière, composée de :**
 - Deux feux rouges, non éblouissants, visibles à 150 m, par temps clair
 - Un dispositif éclairant la plaque d'immatriculation et la rendant lisible à 20 m par temps clair.
 - Deux feux stop, orangés ou rouge, non éblouissant.

- Deux indicateurs de changement de direction
- Deux dispositifs réfléchissants une lumière rouge lorsqu'ils sont éclairés par les feux de route d'une voiture suiveuse (visible à 100m)

Les feux rouges arrière et l'éclairage de plaque s'allument en même temps que l'éclairage avant.

Eléments constitutifs d'un projecteur

Un projecteur comprend principalement :

- d'un bloc optique composé d'un miroir parabolique et d'une glace
- d'un porte-lampe fixé sur le bloc optique
- d'une lampe dont le type et la puissance sont adaptés au porte-lampe qui la positionne dans le bloc optique.
- D'un cuvelage fixé sur un élément de la carrosserie, il supporte l'optique de phare. Les points de fixation de l'optique comportent un dispositif de réglage pour les projecteurs principaux.

ANNEXE 2 Les différentes pertes de l'alternateur

Les pertes dans toute machine électrique spécialement de l'alternateur d'un véhicule se traduisent toujours par un échauffement qui doit être limité si on ne veut pas détruire les matériaux constituant les différentes parties de la machine. Ainsi, il existe au sein de l'alternateur plusieurs types de pertes à savoir :

- **Les pertes par effet joule dans l'induit et dans l'inducteur :** Tout courant passant dans un fil conducteur provoque l'échauffement du conducteur. Les courants passant dans l'enroulement du stator et dans l'enroulement du rotor produiront donc un échauffement des conducteurs. La quantité de chaleur dégagée est proportionnelle au carré de l'intensité (I) du courant qui circule dans le conducteur, à la résistance électrique (R) du conducteur au temps (t) de passage du courant dans ce dernier. La résistance d'un conducteur est proportionnelle à :
 - Un coefficient ρ qui est une caractéristique du conducteur, il croît quand la température du conducteur augmente.
 - La longueur L du conducteur
 - L'inverse de la section S du conducteur.

Elle est exprimée par : $R = \rho L / S$

L'énergie transformée en chaleur est donnée par : $R I^2 t$

La puissance P correspondant à cette perte est égale à : $P = R I^2$

- Pertes joule dans l'inducteur :

Comme l'inducteur est alimenté en courant continu, la puissance perdue par effet joule dans le circuit d'excitation est alors :

- Pertes joule dans l'induit : Ces pertes dépendent de la résistance de l'enroulement statoriques, de la température du cuivre ainsi que de la valeur du courant efficace qui circule dans une phase. Elle est donnée par les relations suivantes :

Pour une phase de résistance r on a : $P_{JS} = r I^2$

Pour l'ensemble des trois phases : $P_{JS} = 3 r I^2$

Si R est la résistance mesurée entre deux phases du stator : $P_{JS} = 3/2 R I^2$

- **Les pertes fer :**

- **Les pertes par courant de Foucault** : ces pertes sont provoquées par le passage du flux magnétique dans les matériaux qui composent le stator/rotor. En fait, les tôles du circuit magnétique du stator sont balayées par le champ tournant. Des forces électromotrices sont ainsi, engendrées à l'intérieur même des tôles et font circuler dans ceux-ci des courants appelés : courant de Foucault, qui produisent un échauffement des tôles par effet Joule.
- **Les pertes par hystérésis** : le champ variable qui parcourt les tôles du circuit magnétique fait varier l'aimantation de celles-ci. En conséquence, cette variation provoque un échauffement supplémentaire des tôles.

- **Les pertes par ventilation de l'alternateur** : Afin d'évacuer la chaleur produite par les pertes de l'alternateur, on fait circuler un fluide gazeux (air ou hydrogène) dans les canaux de ventilation du rotor et du stator. La circulation du fluide est produite au moyen de deux ventilateurs calés sur l'arbre du rotor de part et d'autre des extrémités. Une certaine puissance est donc nécessaire pour vaincre toutes les forces de frottement du fluide sur les parties métalliques et les enroulements qu'il rencontre sur son passage. Ainsi, on voit que l'énergie dépensée pour faire tourner les ventilateurs se transforme en chaleur.
- **Les pertes mécaniques** : Ils sont dus aux roulements à billes et aux frottements entre les bagues et les balais.
- **Les pertes supplémentaires** : Ces pertes correspondent aux courants produits par les forces électromotrices qui résultent d'une répartition inégale du champ magnétique particulièrement dans la profondeur des encoches du stator. Ces courants produisent un échauffement par effet Joule.

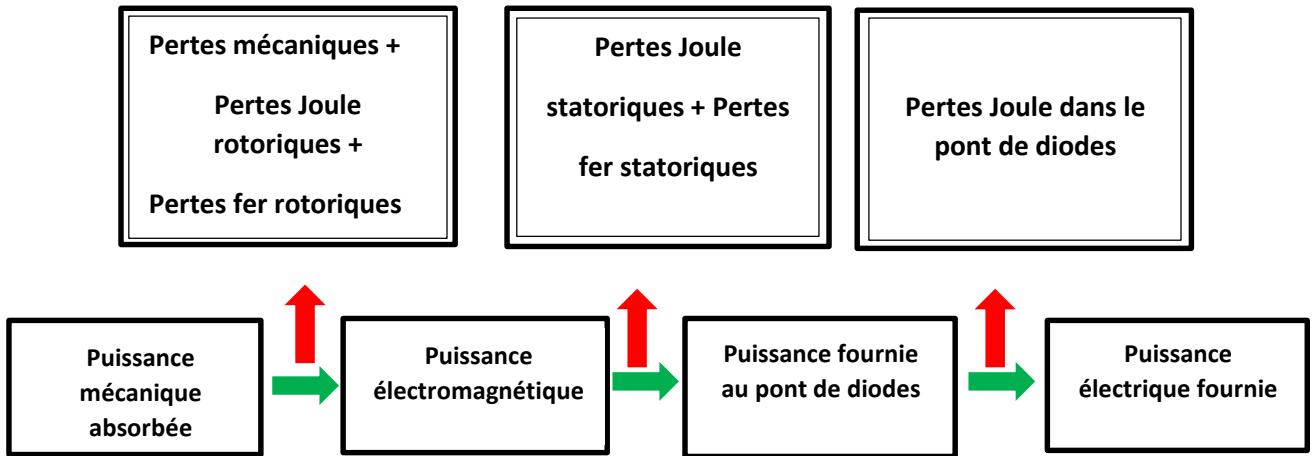


Figure 4.15 : Bilan énergétique de l'alternateur

Rendement d'un alternateur

La puissance P nécessaire pour l'entraînement de l'alternateur est égale à la puissance utile augmentée des pertes. Ainsi, on peut dire que le rendement est égal au rapport de la puissance utile à la puissance utile augmentée des pertes totales, comme exprimé ci-dessous :

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + \text{pertes}} = \frac{\sqrt{3}UI \cos \varphi}{\sqrt{3}UI \cos \varphi + P_{fer} + P_{méc} + P_{js} + P_{jc}}$$

Avec : I = courant de ligne

$P_{méc}$: perte mécanique

P_{js} : pertes joules dans l'induit

P_{jc} : pertes joules dans l'inducteur

BIBLIOGRAPHIES

- [1] Pierre D., « Le système véhicules et ses constituants » Université de Liège
- [2] Memeteau H., « Technologie fonctionnelle de l'automobile » Tome 2, Dunod 2002.
- [3] Ribbens W. B., Ph.D « Understanding automotive electronics » 6^{ème} édition, 481 pages.
- [4] Benabdessalam D., « Electricité automobile » 1996
- [5] Sen, P.C., « Principles of Electric machines and Power Electronics » 2^{ème} edition, John Wiley & Sons, USA.
- [6] Guy H., « Electricité : Batterie, Alternateur, Démarreur » Tome 2, 3^{ème} édition, 2006
- [7] Crouse, W. H « Automotive Electrical Equipment »7. McGraw-Hill. USA
- [8] Tom D., « Automobile Electrical and Electronic Systems » 3^{ème} édition
- [9] Robyn A. Jackey, « A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection » 2007.
- [10] Anthony G., « Contribution à l'étude d'alternateurs automobiles : caractérisation de pertes en vue d'un dimensionnement optimal » Thèse de l'université de Compiègne, Fév 2011
- [11] Ajayi O.A., « Application of Automotive Alternators in Small Wind Turbines », MSc. Thèse. Delft University of Technology, Nederland.
- [12] Ceuca, E., Joldes R. Olteanu E. « Simulation of automotive alternator- simulation for increasing electrical power. Automation, quality and testing, robotics » 2006, IEEE International Conference, Volume 1
- [13] Cho, C. P., et Crcelius D. R., « Vehicle alternator/ Generator trends toward Next Millennium ». IEEE. Indiana, USA, 2002.
- [14] Smith, J., H., « An introduction to Modern Vehicle Design »
- [15] Miller M.J., et Nicastri P. R., « The next Generation Automotive Electrical Power System Architecture », Issues and Challenges. IEEE, 1998
- [16] Perrault D.J., « A New Design for Automotive Alternators » SAE

[17] Mustafa G., « Modeling of Charging system and control of an alterator of a vehicle » Thèse de doctorat de l’Université technique d’Istanbul, Sept 2013.

[18] Lamya A., « Modélisation dynamique et commande des alternateurs couplés dans un réseau électrique embarqué », Thèse de doctorat de l’Université de Nantes, Nov 2006

[19] Perrault D. J., Caliskan V., « Automotive Power Generation and Control » IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 19, No. 3

[20] Stoia D., Cemal M. et Rabinovici R., « An Electromagnetic Model for Lundell Alternator with Switched-Mode Rectifier. IEEE.

[21] Thorsten G., Carsten P., « Analysis of Vehicle Power Supply Systems Using System Simulation » 2006

PAGE DE RENSEIGNEMENT

Nom : ANDRIAMBELONIAINA



Prénoms : Catilina Ju-Elscie

Adresse : Lot 0211X0303 AMBOHIMANDAMINA MAHAJANGA

Lot VT 77 JIA Andohanimandrozeza TANA

Téléphone : 032 60 492 55

E-mail : catilinajuelscie@gmail.com

**Titre de mémoire : « ETUDE ET MODELISATION D'UNE INSTALLATION
ELECTRIQUE CLASSIQUE DANS UNE VOITURE A ESSENCE »**

Nombre de pages : 93

Nombre de tableaux : 6

Nombre de figures : 74

Directeur de mémoire : M. ANDRIANAHAISON Yvon, Professeur Titulaire

Tel : 034 13 306 27

RESUME

Actuellement, le besoin en électricité dans le véhicule ne cesse de s'accroître. Cela, suite à la multiplication de différents appareillages électriques et dispositifs électroniques présents dans le véhicule dans le but de procurer du confort, de contribuer à l'amélioration de la sécurité ainsi qu'à la souplesse dans la conduite. Ainsi, l'électrification de ces véhicules devient l'une des préoccupations majeures des constructeurs automobiles. La source principale d'énergie électrique d'un véhicule est assurée par l'alternateur à griffes. La tension de sortie dépend entre autre du régime moteur. Un système de stockage désigné par la batterie plomb-acide est nécessaire afin garantir l'alimentation des charges électriques pendant l'arrêt du moteur thermique. Une étude sur la source d'énergie électrique du véhicule, représenté par le circuit de charge a été fait dans ce présent mémoire afin de pouvoir répondre aux besoins des consommateurs électriques présents dans les véhicules face aux différents paramètres affluent.

Mots clés : alternateur, batterie, rpm, charges électriques, voiture, régime du moteur

ABSTRACT

Currently, the need for electricity in the vehicle is constantly increasing. This, following the multiplication of various electrical devices and electronic devices present in the vehicle in order to provide comfort, contribute to the improvement of the safety as well as the flexibility in the driving. Thus, the electrification of these vehicles becomes one of the major concerns of car manufacturers. The main source of electrical energy for a vehicle is provided by the claw alternator. The output voltage depends, among other things, on the engine speed. A storage system designated by the lead-acid battery is necessary in order to guarantee the supply of electrical charges during shutdown of the thermal engine. A study of the electrical energy source of the vehicle represented by the charging circuit has been made herein in order to be able to meet the needs of the electrical consumers present in the vehicles facing the various influent parameters.

Key words: Alternator, battery, rpm, electric charges, car, engine speed