

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

Domaine: Sciences et Technologie

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Thème

Etude des performances d'un système contrôlé par calculateur : Application aux voitures électriques

Présenté par : Benarbia Riad

Stiti khelifa

Soutenu le 10/10/2020, devant le jury composé de :

Mme. BOUCERREDJ Leila	MCA	Univ.Guelma	Encadreur
Mme. CHAABI Leila	MAA	Univ.Guelma	Président
M. BOUDJEHEM Badreddine	MCA	Univ.Guelma	Examineur

2019/2020

Remerciements

Je remercie tout d'abord le grand Dieu « ALLAH » tous puissants qui m'a donné le courage de confronter ce nouveau domaine, et la force de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier les personnes qui grâce à eux, je ne pourrai jamais être là, ma mère et mon père. Ainsi que toute ma famille.

Je remercie également Mme. BOUCERREDJ, mon encadrant, pour ses conseils et suggestions avisés qui nous ont aidés à mener bien ce travail, et d'avoir apporté à ce mémoire ces remarques et conseils.

Je remercie Messieurs les membres du jury, d'avoir accepté de prendre part à ce jury ainsi que pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Enfin je tiens à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés dans notre projet Dr .f.m , Ben. Billel et L. Wafa qui me aider beaucoup.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A Ma très chère mère et mon père

A Mes sœurs

A Mes frères

A toute ma famille

A mes chers amis

A tous les amis (es) d'études surtout ceux

D'automatique

Promotion 2020

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Les systèmes embarqués

I.1.Introduction.....	2
I.2.Historique	3
I.3.Les systèmes embarqués	4
I.3.1.Définition	4
I.3.2.Contraintes	5
I.3.3. Caractéristiques	6
I.3.4. L'art de bien concevoir un système embarqué	7
I.3.5. De la nécessité de vérifier les systèmes embarqués	8
I.3.6.L'Architecture des systèmes embarqués	9
I.3.6.1.Architecture centralisée	9
I.3.6.2.Architecture multi-calculateur	9
I.3.6.3.Architecture faiblement distribuée	10
I.3.6.4.Architecture fortement distribuée	11
I.3.6.5.Hétérogénéité	11
I.4.Fonctionnement des systèmes embarqués	12
I. 4.1.Composition d'un système embarqué	12
I.4.1.1-Les capteurs	12
I.4.1.2.un calculateur	12
I. 4.1.2.1.Signaux d'entrées	13
I.4.1.2.1.1.Signaux d'entrée analogique	13
I.4.1.2.1.2.Signaux numérique	13
I.4.1.2.1.3.Signaux impulsionnel	13
I.4.1.2.1.4.Convertisseur analogique / numérique	13
I.4.1.2.2.traitement des données (Microcontrôleur)	14
I.4.1.2.3.Actionnement (Signaux de sortie)	14

I.4.1.3.Les Actionneurs	14
I.4.1.4.Communication	15
I.5.Dan l'automobile.....	15
I.5.1.Contexte	15
I.5.2.Le temps réels	17
I.5.3.Quelques chiffres	18
I.6.Remarques pour conclure	19

Chapitre II: Généralité sur la voiture électrique

II.1.Introduction	20
II.2.Les véhicules électriques	20
II.3.Les différentes types de voitures électriques	20
II.3.1.100 % électrique (FEV/BEV)	20
II.3.2.Prolongateur d'autonomie (E-REV)	20
II.3.3.Hybride rechargeable ou « plug-in » (PHEV)	21
II.4.Architecture d'une voiture électrique	21
II.4.1.La recharge	21
II.4.2.Le convertisseur	22
II.4.3.La batterie	23
II.4.3.1.Les différentes Types de batteries	23
II.4.3.1.1 Batteries au plomb	23
II.4.3.1.2. Batteries à hydrure métallique de nickel	23
II.4.3.1.3.Batteries au lithium-ion (Li-ion)	24
II.4.3.1.4.Chevrolet Volt Battery	24
II.4.3.1.5.Batteries au lithium polymère (Li-poly)	24
II.4.3.1.6.Batteries au lithium-fer-phosphate (LFP)	24
II.4.4.Les super condensateurs	25
II.4.5.Le moteur électrique	26

II. 4.5.1.Moteurs à courant continu	27
II. 4.5.2. Moteurs asynchrones	27
II.4.5.3.Moteurs synchrones	27
II.4.6.Fonctionnement du moteur électrique	27
II.4.7. Le principe d'un moteur électrique	28
II.4.8.Les pièces d'un moteur électrique	29
II.4.8.1.Accumulateur	29
II.4.8.2.Stator	29
II.4.8.3.Rotor	29
II.4.9.Transmission	29
II.4.10.Le calculateur	30
II.4.10.1.D' différents capteurs d'une voiture électrique	30
II.4.11.Freinage régénératif	30
II.5.Conclusion	31

Chapitre III : la sûreté de fonctionnement (sdf)

III.1.Introduction	32
III.2.Définitions globales	32
III.2.1. Concept de la sûreté de fonctionnement (Dependability)	32
III.2.2. Historique de la sûreté de fonctionnement	33
III.2.3. Les entraves à la sûreté de fonctionnement	33
III.2.4. Les aspects de la sûreté de fonctionnement	33
III.3.Mesures de la sûreté de fonctionnement	34
III.3.1.La fiabilité (Reliability)	34
III.3.2 La disponibilité (Availability)	35
III.3.3.La maintenabilité	36
III.4.Evaluation de la fiabilité des systèmes	37
III.4.1.Lois de fiabilité	37

III.4.2 .Méthodes d'analyse	39
III.4.2.1. Analyse Préliminaire de Risque (APR)	39
III.4.2.2. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC)	40
III.4.2.3.Arbres de défaillances	41
III.5. Conclusion	43

Chapitre IV : Application

IV.1.Introduction	44
IV.2. Définition de la maintenance	44
IV.3. Méthodes de la maintenance	44
IV.3.1. Maintenance corrective	45
IV.3.2. Maintenance préventive.....	45
IV.4. l'AMDEC	46
IV.4.1. Définition de l'AMDEC	46
IV.4.2 Objectif de l'AMDEC	46
IV.4.3. Principe de l'AMDEC	47
IV.4.4.Mise en ouvre	49
IV.4.5. L'exploitation de l'AMDEC	51
IV.4.5.1. Le livret des points critiques	51
IV.4.5.2. Les colonnes « modification » sur le tableau AMDEC	51
IV.4.5.3. L'AMDEC et la (re)conception	51
IV.4.6. Types de l'AMDEC	52
IV.4.6.1. L'AMDEC organisation	52
IV.4.6.2. L'AMDEC-Produit	52
IV.4.6.3. L'AMDEC-Processus	53
IV.4.6.4. L'AMDEC moyen	53
IV.4.6.5. L'AMDEC service	53
IV.4.7. Les avantages d'AMDEC	53

IV.4.8. Les étapes de la méthode AMDEC	53
IV.4.9.LA DEMARCHE AMDEC	55
IV.4.9.1.Etape 1: Initialisation	55
IV.4.9.1.1.Définition du système et des objectifs à atteindre	56
IV.4.9.1.2.Constitution du groupe de travail	56
IV.4.9.1.3.Mise au point de supports de l'étude	56
IV.4.9.2.Etape 2: Analyse fonctionnelle « AF »	57
IV.4.9.3.Etape 3 : Analyse des défaillances	57
IV.4.9.3.1.Défaillance	57
IV.4.9.3.2.Cause de défaillance.....	57
IV.4.9.3.3.L'effet constaté.....	57
IV.4.9.3.4. Détection.....	57
IV.4.9.4.Etape 4 : Cotation de criticité.....	57
IV.4.9.4.1. L'indice F.....	57
IV.4.9.4.2.L'indice D.....	58
IV.4.9.4.3.L'indice G.....	58
IV.4.9.5.Etape 5 : Actions menées.....	59
IV.4.9.5.1.Classement des problèmes rencontrés.....	59
IV.5. Cas d'application	60
IV.5.1. Convertisseur DC/DC.....	60
IV.5.2. Chargeur embarqué / redresseur.....	61
IV.5.3. Calculateur / Ondulateur / redresseur.....	61
IV.5.4. Fiabilité.....	61
IV.5.4.1.Batterie.....	61
IV.5.4.2. Moteur électrique.....	62
IV.5.4.2.1. Défaut de bobine.....	62
IV.5.4.2.2. Synchrones / asynchrones.....	63
IV.5.4.2.3.Défaut de charbons / balais (anciens moteurs).....	63
IV.5.4.3 .Calculateur (CCME).....	63

IV.5.4.4.Redresseur et onduleur.....	64
IV.5.4.5.Faisceaux.....	64
IV.5.4.6.Transmission.....	64
IV.5.5.Analyse du plan de maintenance actuel de la VE.....	65
IV.5.5.1. l'AMDEC	65
IV.5.6.Analyse de la VE par la méthode AMDEC	65
IV.6.Conclusion	71
Conclusion générale	72
Résumé	
Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Illustration de l'Autonetics-D17, l'ordinateur de guidage	2
Figure I.2 : Illustration de l'Apollo Guidance Computer et son écran d'utilisation.....	3
Figure I.3 : Premier microprocesseur Intel 4004	3
Figure I.4 : Premier Electronic Control Unit (ECU).	4
Figure I.5 : Représentation de l'environnement général d'un système embarqué et de ses Interaction	6
Figure I.6 : Architecture centralisée	9
Figure I.7 : Architecture multi-calculateur	10
Figure I.8 : Architecture faiblement distribuée	10
Figure I.9 : Architecture fortement distribuée	11
Figure I.10 : Fonctionnement d'un capteur	12
Figure I.11 : Un calculateur	13
Figure I.12 :Fonctionnement d'un actionneur.....	14
Figure I.13 : Communication capteur – calculateur – actionneur	15
Figure I.14 : Fonctions d'un véhicule moderne	16
Figure I.15 : Illustration d'un calculateur moteur	16
Figure I.16 : Représentation d'un système en temps réel avec son environnement	18
Figure I.17 : Evolution du coût de l'électronique dans l'automobile.....	18
Figure II.1 : Système de traction d'une voiture électrique.....	21
Figure II.2 : Les super chargeurs (prise courant continu)	22
Figure II.3 : La prise CCS/Combo	22
Figure II.4 : Prise électrique alternatif	22
Figure II.5 : Batterie	23
Figure II.6 : Les différentes Types de batteries	25
Figure II.7 : Exemple de super condensateur	26
Figure II.8 : Composition d'un super condensateur	26
Figure II.9 :Principe de base d'un moteur électrique.....	28
Figure II.10 : Freinage régénératif	31
Figure III.1 : Chaîne causale entre les entraves à la Sdf	33

Figure III.2 : Relation entre fiabilité, maintenance et disponibilité	34
Figure III.3 : Evolution dans le temps d'un système réparable	37
Figure III.4 : Le cycle de vie représenté par la courbe en baignoire	38
Figure III.5 : Démarche de l'analyse préliminaire des risques	39
Figure III.6 : Exemple d'arbre de défaillance	41
Figure IV.1 : Méthode de la maintenance	45
Figure IV.2 : Maintenance corrective	45
Figure IV.3 : Maintenance préventive	46
Figure IV.4 : Liaison numérique RS422	47
Figure IV.5 : l'AMDEC et la re-conception	52
Figure IV.6 : Système de traction d'une voiture électrique	60
Figure IV.7 : VE et leur Batterie	62
Figure IV.8 : Bobine	62
Figure IV.9 :La bobine du moteur électrique	62
Figure IV.10 : Moteur électrique	62
Figure IV.11 : Charbons / balais	63
Figure IV.12 : Calculateur (CCME)	64
Figure IV.13 : Une boîte de vitesse	64
Figure IV.14 : Plan de maintenance de la VE0	65
Figure IV.15 : Histogramme d'AMDEC	67
Figure IV.16 : Réduction de l'Arbre de défaillance	68
Figure IV.17 :Performance calculateur moteur	68
Figure IV.18 : Performance moteur électrique.....	69
Figure IV.19 : Performance capteur de pédale d'accélération	69
Figure IV.20 : Performance batterie d'attraction	70
Figure IV.21 : Performance de système	70

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Tableau des contraintes de système embarqué selon secteur d'activité.....	5
Tableau I.2 : Les différents types d'ECU	17
Table II.1: Tableau comparatif des technologies des batteries.....	25
Tableau III.1 : Exemple de structure d'un tableau d'AMDEC	40
Tableau III.2 : les portes logiques	42
Tableau III.3 : Les représentations des événements	42
Tableau IV.1 : AMDEC simplifiée de la liaison numérique RS122.....	48
Tableau IV.2: AMDEC d'un système de propulsion.....	49
Tableau IV.3: AMDEC Procès	50
Tableau IV.4 : Exemple 1 de feuille d'AMDEC	56
Tableau IV.5 : Exemple 2 de feuille d'AMDEC.....	56
Tableau IV.6 : Grille de cotation de la fréquence.....	58
Tableau IV.7 : Grille de cotation de la probabilité de non détection	58
Tableau IV.8 : Grille de cotation de la gravité	59
Tableau IV.9: Tableau de la criticité	60
Tableau IV.10: Types de maintenance de la VE	65
Tableau IV. 11: AMDEC du cas d'application.....	66

Liste des Abréviation

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances et Études des Criticités .

MTBF : Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement [heure] .

MBF : Maintenance Basée sur la Fiabilité.

MTTR : Moyenne des Temps Techniques de Réparation [heure].

MTTA : Moyenne des Temps Techniques d'Arrêt [heure].

TBF : Temps de Bon Fonctionnement [heure].

APR : Analyse Préliminaire des Risques.

C : Criticité.

F : Fréquence.

D : détection.

G : Gravité.

SDF : La sureté de fonctionnement.

$\lambda(t)$: Taux de défaillance. .

$\mu(t)$: Taux de réparation.

N(t) : Nombre de systèmes survivants à l'instant t .

F(t) : Fonction de répartition [%] .

R(t) : Fiabilité au temps t [%].

TAM : Temps d'Arrêt Maintenance .

TPM : Maintenance Productive Totale.

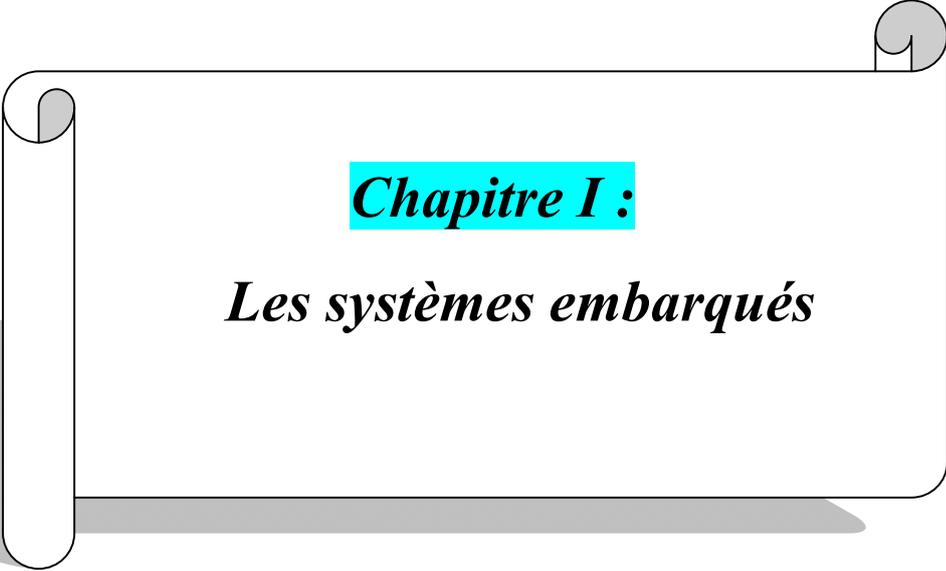
Introduction générale :

Dans le contexte énergétique actuel (pénurie et pollution des énergies fossiles), l'automobile occupe l'univers quotidien de notre société. En effet, les pollutions sonores et par gaz à effet de serre ainsi qu'une consommation de carburant en constante augmentation, impliquent de plus en plus cet objet de consommation au cœur des débats autour de l'énergie. Le véhicule électrique (VE) est l'une des solutions préconisées, par les constructeurs automobiles et les organismes de recherche, pour remplacer peu à peu les véhicules classiques notamment dans les centres villes. Le devenir de l'automobile dans les prochaines années est donc un sujet de recherche d'actualité. Ces dernières années, ce sont la recherche d'une meilleure qualité de vie, les contraintes environnementales et économiques ainsi que l'économie de l'énergie qui constituent les facteurs essentiels de l'intérêt que suscite le développement du véhicule électrique. La réussite dans ce domaine proviendra d'un subtil mélange entre une vision scientifique de haut niveau et une maîtrise de la technologie. Dans cette combinatoire, l'électricité jouera un rôle fondamental et contribuera à atteindre les nouveaux objectifs de l'automobile en termes d'économie d'énergie et d'environnement.

Le présent travail est représenté en quatre chapitres. Dans le premier chapitre de ce mémoire nous présentons brièvement une généralité sur les systèmes embarqués, et démontre l'appartenance et le rattachement des systèmes embarqués dans le domaine de l'automobile avec une flagrante augmentation de leurs utilisations dans différents domaines, que ce soit la sécurité, le confort ou directement le fonctionnement du véhicule.

Dans le deuxième chapitre, nous exposons un aperçu sur les équipements des voitures électriques, et dans le troisième chapitre nous présentons les différents concepts liés à la sûreté de fonctionnement. Dans le quatrième chapitre nous intéressons à l'analyse critique par la méthode AMDEC qui vu qu'elle est une méthode qui peut s'appliquer à une voiture électrique, dans le but d'éliminer le plus en amont possible les causes de défaillance et d'étudier les défauts potentiels. Ensuite nous avons construit un arbre de défaillance déduite à partir du tableau de l'AMDEC pour étudier l'efficacité du système étudié "voiture électrique".

Ce mémoire se termine par une conclusion générale qui englobe et résume ce travail.



Chapitre I :

Les systèmes embarqués

I.1.Introduction :

Un système embarqué est un système complexe qui intègre du logiciel et du matériel conçus ensemble afin de fournir des fonctionnalités données. Il contient généralement un ou plusieurs microprocesseurs destinés à exécuter un ensemble de programmes définis lors de la conception et stockés dans des mémoires. Le système matériel et l'application (logiciel) sont intimement liés et immergés dans le matériel et ne sont pas aussi facilement discernables comme dans un environnement de travail classique de type ordinateur de bureau PC (Personal Computer) .

Un système embarqué est autonome et ne possède pas des entrées/sorties standards tels qu'un clavier ou un écran d'ordinateur. Contrairement à un PC, l'interface IHM (Interface Homme machine) d'un système embarqué peut être aussi simple qu'une diode électroluminescente LED(Light Emitter Diode) qui clignote ou aussi complexe qu'un système de vision de nuit en temps réel ; les afficheurs à cristaux liquides LCD (Liquid Crystal Display) de structure généralement simple sont couramment utilisés.

Afin d'optimiser les performances et la fiabilité de ces systèmes, des circuits numériques programmables FPGA (Field Programmable Gate Array), des circuits dédiés à des applications spécifiques ASIC (Application Specific Integrated Circuits) ou des modules analogiques sont en plus utilisés.

Le logiciel a une fonctionnalité fixe à exécuter qui est spécifique à une application. L'utilisateur n'a pas la possibilité de modifier les programmes. Bien souvent, il n'a pas conscience d'utiliser un système à base des microprocesseurs.

Les systèmes embarqués sont désormais utilisés dans des applications diverses tels que le transport (avionique, espace, automobile, ferroviaire), dans les appareils électriques et électroniques (appareils photo, jouets, postes de télévision, électroménager, systèmes audio, téléphones portables), dans la distribution d'énergie, dans l'automatisation, , etc .

I.2.Historique :

Les premiers systèmes embarqués, c'est-à-dire les premiers ordinateurs autonomes ayant les ressources nécessaires afin de pouvoir fonctionner dans un environnement externe, ont fait leur apparition au début des années 1960 aux Etats-Unis.

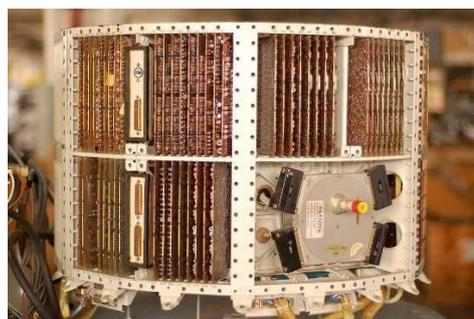


Figure I.1 : Illustration de l'Autonetics-D17, l'ordinateur de guidage

Le tout premier système embarqué a été conçu en 1962 dans le but de guider le missile nucléaire Minuteman I. Son poids était de 28 kg et contenait plusieurs circuits intégrés afin de réaliser les tâches qui lui étaient dédiées comme le guidage du missile selon le positionnement du missile.



Figure I.2 : Illustration de l'Apollo Guidance Computer et son écran d'utilisation

L'Apollo Guidance Computer a été également un des tous premiers systèmes embarqués, qui comme l'Autonetics D-17, a pour principal but de guider son appareil. Il a été conçu au début des années 1960 pour enfin être testé et utilisé en 1966 lors du programme Apollo qui représente un voyage sur la lune via une fusée spatiale. Deux de ce système étaient placés dans le vaisseau afin de la guider. Son poids était de 32 kg et contenait plusieurs centaines de circuits intégrés.

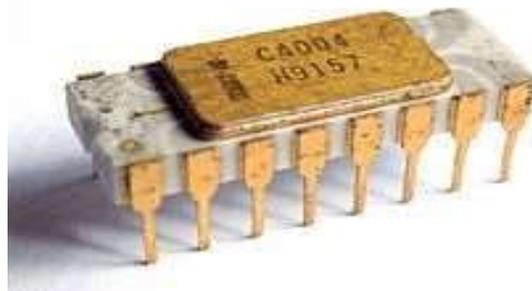


Figure I.3 : Premier microprocesseur Intel 4004

Ceci est le premier microprocesseur apparu en 1971 par l'entreprise Intel. C'est le premier système embarqué ayant la capacité à pouvoir incorporer tous les éléments d'un ordinateur (mémoire, contrôle d'accès, unité de calcul) dans un même circuit intégré. Auparavant, plusieurs circuits ayant des fonctions spécifiques devaient travailler ensemble pour accomplir une tâche. Or, depuis l'apparition de ce microprocesseur, toutes les tâches pouvaient être réalisées par un seul composant. C'est avec ce type de système que l'ère de l'informatique embarquée débuta en faisant son apparition dans l'industrie du multimédia, de l'électroménager et de l'automobile.

Dans l'automobile, les premiers systèmes embarqués sont apparus au début des années 1970. Les sociétés automobiles surfèrent sur la vague de l'innovation technologique des systèmes embarqués afin d'en tirer profit et de pouvoir les utiliser dans leurs propres véhicules

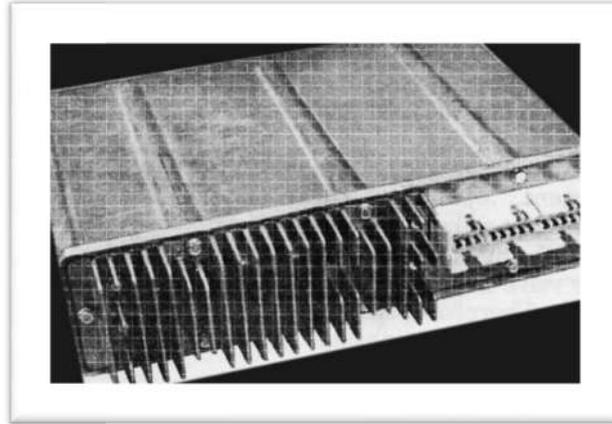


Figure I.4 : Premier Electronic Control Unit (ECU)

L'Electronic Control Unit (Unité de Contrôle Electronique) représente tout système qui permet la gestion de fonctions dans un véhicule. L'un des premiers a été conçu par Chevrolet pour la Chevrolet Cosworth Vega en 1975, il permettait la gestion complète du moteur et notamment la transmission automatique du carburant aux cylindres. Une dizaine de capteurs lui transmettaient les informations nécessaires à la réalisation de cette tâche [1].

I.3. Les systèmes embarqués :

I.3.1. Définition :

Un système embarqué est un ensemble d'éléments informatiques et électroniques interagissant entre eux de façon autonome et complémentaire. Ces systèmes sont conçus de manière à pouvoir répondre spécifiquement aux besoins de leur environnement respectif.

Le terme « système » désigne l'ensemble des éléments qui constituent le système embarqué, souvent ces systèmes sont composés de sous-systèmes étant donné leur complexité.

Le terme « embarqué » représente la mobilité et l'autonomie du système en interaction directe avec son environnement dans l'exécution de tâches précises, afin de répondre à la finalité de celui-ci.

Contrairement aux systèmes classiques, les systèmes embarqués sont conçus pour réaliser des tâches bien précises. Certains doivent répondre à des contraintes de temps réel pour des raisons de fiabilité et de sécurité, indispensables selon l'utilisation du système.

Un système embarqué regroupe à la fois la partie software (logicielle) et la partie hardware (matériaux) étroitement liées afin de produire les résultats escomptés [2].

I.3.2. Contraintes :

Du fait que ce type de système soit « embarqué » ou « enfoui », plusieurs contraintes lui sont imposées. Les systèmes embarqués se retrouvent aujourd’hui partout dans différents types d’environnements (téléphone, véhicule, avion...) et liés à différents types d’utilisations. C’est le secteur d’activité dans lequel est utilisé le système qui va permettre de définir ses contraintes. Voici un aperçu général des principales contraintes des systèmes embarqués :

Secteur d’active	Contraintes
Equipements scientifiques	Performances ,fiabilité ,cout
Equipements militaires et aérospatiaux	Performances , fiabilité, pérennité, intégration
Transports	fiabilité, cout, interactivité
Informatique industrielle	Fiabilité, cout, pérennité
Matériel de bureau	Performances ,cout, standardisation
Réseau et télécommunications	Performances , fiabilité, intégration
Electronique grand public	Performances ,cout,desig / intégration

Tableau I.1 : Tableau des contraintes de système embarqué selon secteur d’activité

Toutes ces contraintes sont à respecter lors de la conception d’un système embarqué. Certaines sont importantes comme le design ou le coût mais d’autres sont indispensables comme la fiabilité ou la performance, sans quoi le système ne peut être mis en production. La contrainte de la taille physique peut également s’ajouter, par exemple un téléphone portable a peu de place pour contenir un système embarqué. L’enjeu est donc de pouvoir réaliser un système puissant répondant aux contraintes précitées, sous forme physique assez réduite pour être exploitable.

Etant autonome, ces systèmes nécessitent une alimentation en énergie régulière afin d’avoir un fonctionnement stable et sûr du produit. Il est donc indispensable de prévoir une alimentation adaptée, même si une consommation trop élevée du système aurait un impact sur son coût [3].

I.3.3. Caractéristiques :

Les résultats produits par un système embarqué pourront être au profit d'un environnement externe, ou autrement dit, à un autre système plus général qui englobe le système embarqué, faisant appel à ses services dès que celui-ci les nécessite. Ainsi, un système embarqué serait inutile lorsqu'il est seul ou isolé, puisque son but est de fournir un service telle une action ou la transmission d'informations à un autre système plus volumineux. D'ailleurs, le terme de système « enfoui » fait référence à l'intégration et au rattachement dissimulé du système à celui qui l'englobe.

Les systèmes embarqués évoluent le plus souvent dans des environnements instables et non maîtrisés, les obligeant à anticiper tous événements particuliers pouvant les perturber. Notamment les chocs, les fortes températures, les vibrations, l'humidité ou encore d'autres circonstances pouvant porter atteinte à la fiabilité et à la performance du système.

En plus de leurs évolutions technologiques, ces systèmes doivent évoluer au niveau de la qualité des matériaux utilisés afin d'éviter toute défaillance du système qui pourrait être critique dans le cas d'une application médicale, aéronautique ou encore automobile, pouvant aller jusqu'à la mise en danger de vies humaines.

Les systèmes embarqués ont été réalisés dans le but de produire des tâches simples dans un concept d'entrées et de sorties de données. Cependant, le traitement de ces tâches peut être aussi complexe que dans un ordinateur classique.

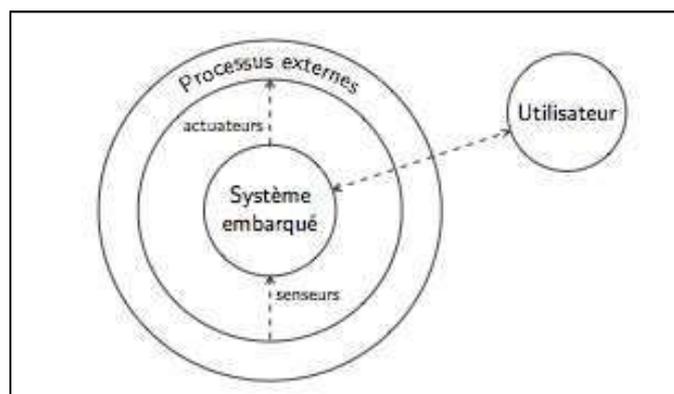


Figure I.5 : Représentation de l'environnement général d'un système embarqué et de ses interaction

Les senseurs sont synonymes de capteurs. Ils représentent les entrées au processus du système afin d'effectuer les calculs et les traitements nécessaires. Les actuateurs, synonymes d'actionneurs, sont les déclencheurs des actions émises par le système une fois le traitement

réalisé. Ils représentent les sorties.

Cette figure illustre l'image d'encapsulation d'un système embarqué par son environnement (ici les processus externes) qui interagit directement avec lui. Des moyens de communications existent en tant qu'intermédiaire propre à chaque environnement [1].

I.3.4. L'art de bien concevoir un système embarqué :

Du point de vue technique, la conception d'un système embarqué demande à son concepteur d'être pluridisciplinaire : électronique, informatique, réseaux, sécurité... Mais le concepteur se doit aussi d'être un bon gestionnaire car concevoir un système embarqué revient finalement à un exercice d'optimisation : minimiser les coûts de production pour des fonctionnalités optimales.

Le système embarqué se doit d'être :

- Robuste.
- Simple. La simplicité est gage de robustesse.
- Fiable.
- Fonctionnel. Le système doit toujours fonctionner correctement.
- Sûr surtout si la sécurité des personnes est en jeu.
- Tolérant aux fautes.

D'autres contraintes sont aussi à prendre en compte :

- L'encombrement.
- Le poids.
- Le packaging : difficulté de faire cohabiter dans un faible volume, électronique analogique, électronique numérique et RF sans interférences.
- L'environnement extérieur.
- La consommation électrique. Le système embarqué nomade doit être faible consommation car il est alimenté par des batteries. Une consommation excessive augmente le prix de revient du système embarqué car il faut alors des batteries de plus forte capacité.

Le coût. Beaucoup de systèmes embarqués sont fabriqués en grande série et doivent avoir des prix de revient extrêmement faibles.

- Le temps de développement. Dans un marché concurrentiel et de niches, il convient d'avoir un système opérationnel le plus rapidement possible pour être le premier sur le marché.

Devant toutes ces contraintes, le concepteur adopte des règles de bon sens :

- Faire simple.
- Utiliser ce que l'on a déjà fait ou fait par d'autres. On appellera design reuse.
- Ne pas se jeter sur les technologies dernier cri. Quelle est leur pérennité dans le temps ?
- Ne pas se jeter sur le dernier composant sorti surtout s'il est grand public. Quelle est sa pérennité dans le temps surtout s'il l'on travaille pour la défense où l'on demande une maintenance sur 30 ans !
- Utiliser des technologies éprouvées qui ont fait leur preuve. Ces technologies peuvent d'ailleurs avoir plusieurs générations de retard par rapport à leurs homologues grand public. Pour le grand public, le concepteur de systèmes embarqués peut sembler faire de l'inertie face aux nouvelles technologies mais il faut le comprendre : c'est pour le bien du système qu'il conçoit surtout si la sécurité des personnes est en jeu... Cela explique en partie le décollage difficile des logiciels libres et de Linux pour l'embarqué. Mais ceci est oublié, la déferlante logiciels libres balaie une à une toutes les réticences [4].

I.3.5. De la nécessité de vérifier les systèmes embarqués :

De nombreux systèmes embarqués ont un impact direct sur la sûreté et la sécurité des biens et des personnes. Une part essentielle des fonctions critiques de nombreux systèmes industriels est en effet assurée par des logiciels, notamment de contrôle/commande ou des systèmes de sécurité (cryptage, identification, etc..), qui doivent atteindre un niveau de fiabilité maximale.

Si l'on prend l'exemple d'un avion de ligne moderne gros porteur, une part majoritaire du temps de vol est assurée par un pilote automatique, gros logiciel de plusieurs centaines de milliers de lignes de code qui doit être exempt d'erreurs et obéir à des règles extrêmement strictes de certification. D'autres logiciels critiques comme le contrôle/commande de centrales nucléaires, les systèmes d'aiguillage ou de protection contre la survitesse des trains, ou plus près de nous les logiciels enfouis dans les ABS ou les airbags doivent tous obéir à des exigences de fiabilité et de sûreté draconiennes.

Ces quelques exemples plaident en la faveur de la certification des systèmes informatiques. La solution idéale consiste à vérifier ces systèmes, c'est à dire, à examiner chacun de leurs comportements et à s'assurer qu'ils satisfont les propriétés (dites comportementales) souhaitées [5].

I.3.6.L'Architecture des systèmes embarqués :

I.3.6.1.Architecture centralisée :

La figure I.6 présente le premier type d'architecture utilisée. Elle est composée d'un calculateur qui peut être monoprocesseur ou multiprocesseur à mémoire partagée et d'un ensemble de capteurs et actionneurs, tous reliés au calculateur. Ce type d'architecture conduit à un câblage de type "étoile" souvent important et coûteux .

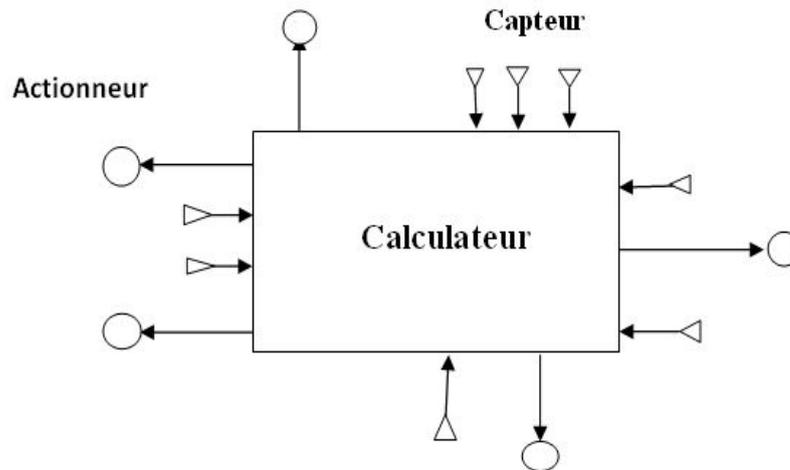


Figure I.6 : Architecture centralisée

I.3.6.2.Architecture multi-calculateur :

L'architecture multi-calculateur (Figure I.7) est un premier pas dans la recherche du moindre coût. Cette architecture est composée d'un ensemble de calculateurs non reliés entre eux. L'application est morcelée et chaque calculateur implante un ensemble de fonctionnalités. Ici, le principal intérêt est de permettre un rapprochement entre les calculateurs et les transducteurs. La réduction des câblages ainsi obtenue permet non seulement de limiter les coûts, mais aussi d'augmenter la fiabilité du système : si un processeur est défaillant toutes les fonctionnalités ne sont pas hors service, les câbles plus courts sont moins sensibles aux perturbations électromagnétiques externes. La conception de ce type de système est simplifiée car elle revient à réaliser plusieurs systèmes temps réel plus simples. Le principal inconvénient de cette architecture est de ne pas pouvoir garantir une cohérence globale

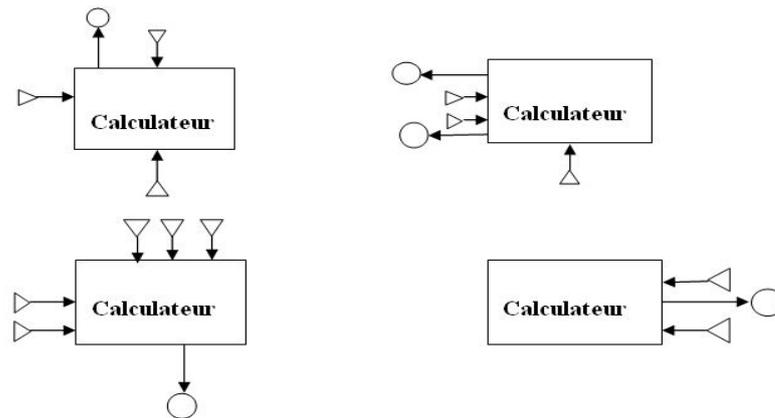


Figure I.7 : Architecture multi- Calculateur

dans le comportement de l'ensemble de ces systèmes qui ne communiquent pas entre eux [6].

I.3.6.3. Architecture faiblement distribuée :

Au début des années 80, des bus de terrain ont été développés [7] par les constructeurs automobiles et équipementiers : bus CAN par Bosh, Van par PSA et Renault, J1850 par les constructeurs américains, A-Bus par Volkswagen et K-Bus par BMW. Ces bus bifilaires dédiés aux environnements perturbés tels que les automobiles permettent de relier entre eux les calculateurs. Le bus le plus utilisé actuellement est le bus CAN, il est devenu un standard dans les applications automobiles. Grâce à ces nouveaux bus, sont apparues dans les applications temps réel embarquées des architectures que l'on qualifie ici de "faiblement distribuées" (figure I.8). Elles sont constituées d'un ensemble de calculateurs reliés entre eux par un bus. Par rapport à l'approche multi-calculateur le gain est indéniable : il est possible de contrôler le comportement global de l'ensemble de tous les calculateurs et il est possible de partager des capteurs entre les calculateurs.

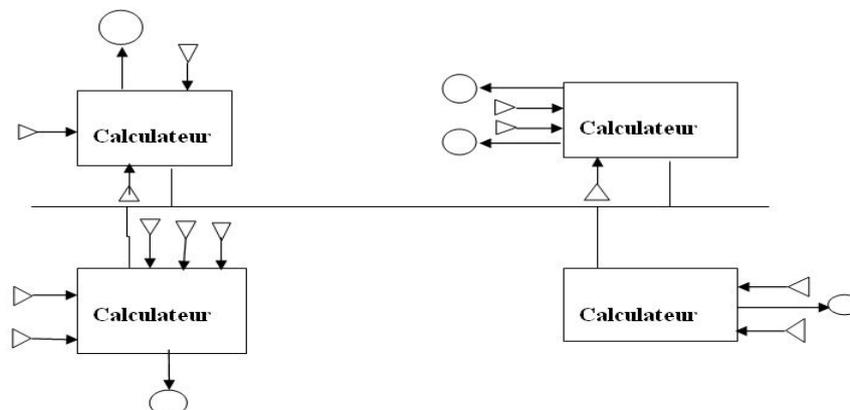


Figure I.8 : Architecture faiblement distribuée

I.3.6.4. Architecture fortement distribuée

Cette architecture est la plus aboutie. Les capteurs et actionneurs deviennent intelligents, ils peuvent directement être connectés sur le bus (figure 9). Cette approche permet de réduire considérablement tous les câblages.

C'est aussi l'approche la plus complexe à mettre en œuvre au niveau logiciel. Toute la difficulté consiste à gérer efficacement le multiplexage des données issues des capteurs et des calculateurs sur le bus de telle sorte que les contraintes temporelles de chacun des signaux soient satisfaites.

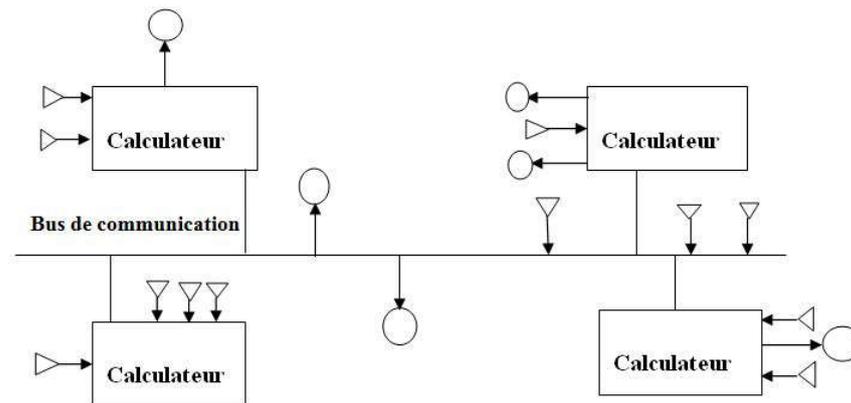


Figure I.9 : Architecture fortement distribuée

I.3.6.5. Hétérogénéité :

Les architectures temps réel embarqués sont actuellement non seulement fortement distribuées, mais elles sont aussi hétérogènes. Une même application peut intégrer une dizaine de calculateurs.

Pour garantir une exécution temps réel des algorithmes il est parfois nécessaire de disposer d'une grande puissance de calcul fournie par exemple par des DSP (Digital Signal Processor) ou des microprocesseurs performants.

Certaines fonctions peuvent aussi être programmées sur des FPGA ou des ASIC. Des microcontrôleurs sont aussi utilisés pour leur capacité à gérer un grand nombre d'entrées et de sorties avec un minimum de composants périphériques. Enfin, une application peut aussi intégrer plusieurs médias de communication différents [6].

I.4.Fonctionnement des systèmes embarqués :

I. 4.1.Composition d'un système embarqué :

I.4.1.1-Les capteurs :

_ Les capteurs sont des éléments qui transforment une grandeur physique (position, distance, vitesse, température, pression, etc.) d'une machine ou d'un processus en une grandeur normée, généralement électrique,[8]

_ Qui transforme en grandeurs électriques assimilables par le calculateur, tous les paramètres physiques (pression, débit, état thermique, cinématique) nécessaires pour l'élaboration des stratégies.

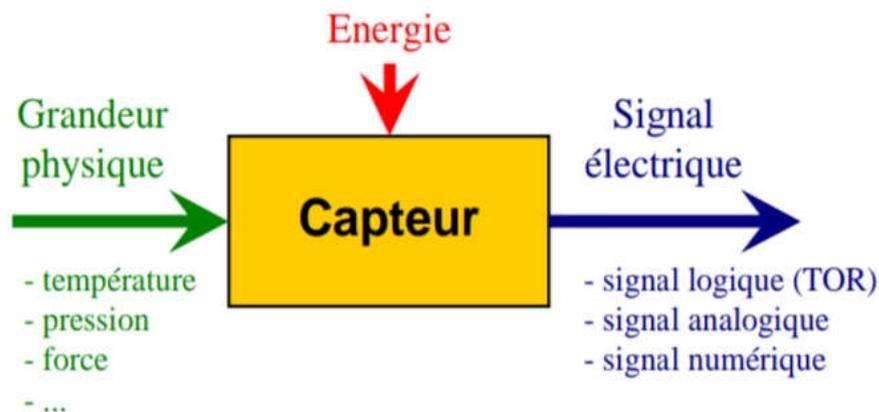


Figure I.10:fonctionnement d'un capteur

On appelle stratégie un ensemble coordonné des lois de commande et des relations entre paramètres permettant de réaliser une fonction (exemple: stratégie de régulation de régime de ralenti,...)

I.4.1.2.un calculateur :

Un calculateur est une machine effectuant des calculs arithmétiques, algébriques ou logiques. La machine d'Anticythère, un mécanisme d'engrenage capable de calculer la date et l'heure des éclipses solaires et lunaires, est le plus ancien calculateur connu. Machine

Exemple : une calculatrice, un ordinateur

- Cœur du système, acquiert à chaque instant les informations concernant l'état du système et met en œuvre les stratégies de commande.

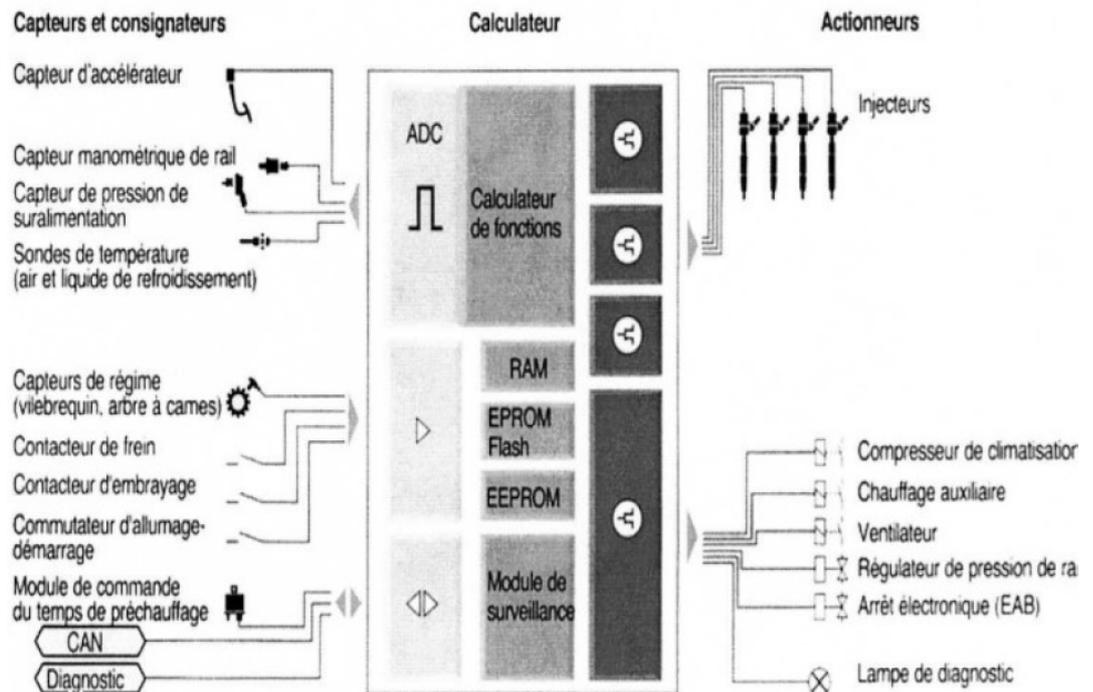


Figure I.11 : un calculateur

Il y a trois grandes parties dans un calculateur [9] :

I. 4.1.2.1. Signaux d'entrées :

Les signaux électriques sont transmis au calculateur via des câbles électriques. Les signaux peuvent être de plusieurs formes :

I. 4.1.2.1.1. Signaux d'entrée analogique

Ce sont des signaux électrique dont la tension peut varier de 0 à 12 V (24 V en poids lourds), Exemples : capteur de pression, tension batterie

I. 4.1.2.1.2. Signaux numérique :

Ce sont des signaux qui peuvent être traités directement par le microcontrôleur:

Exemple : Capteur de vitesse à effet Hall, contacteur

I.4.1.2.1.3. Signaux impulsionnel :

Ce sont des signaux qui proviennent de capteurs inductifs. Ils possèdent leurs propres étages d'entrée. Au cours de la numérisation du signal les tensions parasites sont éliminées.

I.4.1.2.1.4. Convertisseur analogique / numérique :

L'objectif est de numériser des signaux afin qu'ils soient exploitables par le microcontrôleur. Pour cela on mesure de manière périodique un signal puis on le convertit.

On appelle cela la fréquence d'échantillonnage, Plus les intervalles de mesures sont courtes et plus le signal sera fidèle à l'original.

I.4.1.2.2. traitement des données (Microcontrôleur):

C'est l'élément principale du calculateur. Il a pour fonction : Calcul des opérations et conservation de la mémoire.

A cela s'ajoute un étage de multiplexage. C'est un élément qui permet le dialogue avec d'autres calculateur (multiplexage) et pour le diagnostic.

I.4.1.2.3. Actionnement (Signaux de sortie) :

C'est l'élément qui permet de piloter les actionneurs à commander. Dans certains cas on utilise des relais (situé dans le calculateur).

On utilise aussi des étage de sorte plus perfectionné, afin de commander des injecteurs, régulateurs de débit (signal PWM : Pulse Width Modulation en Fr La modulation de largeur d'impulsions :MLI)

_ PWM Ou MLI : est une technique couramment utilisée pour synthétiser des signaux pseudo analogiques à l'aide de circuits à fonctionnement tout ou rien, ou plus généralement à états discrets.

I.4.1.3. Les Actionneurs :

_ transforment l'énergie qu'ils reçoivent en un autre phénomène physique (un déplacement, un dégagement de chaleur, une émission de lumière ou de sons...).[8]

_ Transforment également en grandeurs physiques (quantités injectées, positions des vannes, instant décharge d'étincelle à la bougie,...) toutes les commandes électriques issues du calculateur



Figure I.12: fonctionnement d'un actionneur

I.4.1.4.Communication :

Tous ces composants échangent entre eux par l'intermédiaire de faisceaux, ils correspondent à de petits câbles permettant la transmission des signaux électriques contenant les informations recueillies et à transmettre.

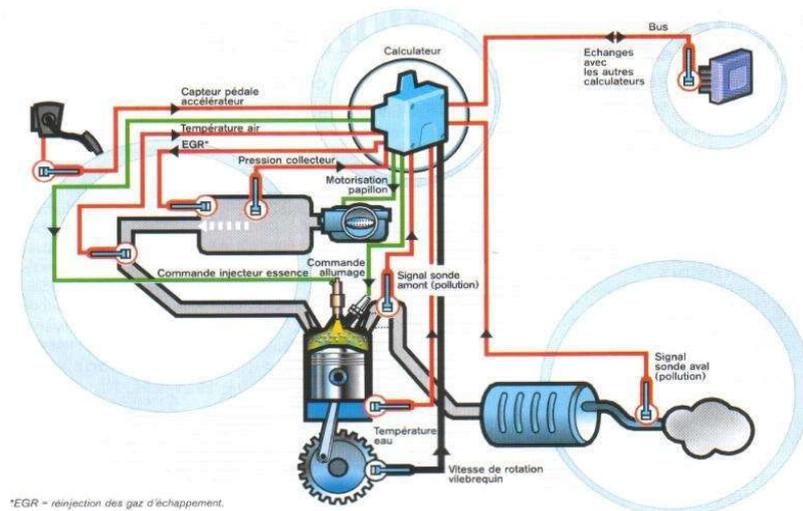


Figure I.13 : Communication capteur – calculateur – actionneur

Cette figure illustre la communication et les échanges entre le calculateur et ses actionneurs et capteurs. En vert, les interactions avec les actionneurs comme la commande d'allumage et en rouge, les interactions avec les capteurs, correspondant tous à des faisceaux électrique

I.5. Dans l'automobile :

I.5.1. Contexte :

Aujourd'hui, un véhicule contient une grande quantité d'électronique et d'informatique : on retrouve plus de 100 capteurs, 30 à 50 calculateurs selon le type de véhicule et parfois près d'un million de lignes de codes pour les véhicules de dernière génération. Cette évolution s'explique par les demandes exigeantes des consommateurs et l'envie de différenciation des concurrents sur marché de l'automobile. S'ajoute à cela les contraintes économiques et écologiques où l'électronique embarquée répond à ces nouvelles attentes. De nouvelles fonctionnalités impliquent parfois une intégration électronique et informatique par le biais de systèmes embarqués. Voici une représentation des systèmes intégrés d'un véhicule moderne.

Abbréviation	Designation	Utilité
ECU ou ECM	Engine Control Unit	Système permettant la gestion du bloc moteur
SCU	Speed Control Unit	Système de régulation de vitesse, permet de rouler à une vitesse constante
TCU	Telematic Control Unit	Permet de connaître le positionnement du véhicule et les coordonnées GPS en temps réel
BCM	Brake Control Module	Système représentant l'ABS, permettant l'aide au freinage lors des freinages d'urgences
BMS	Battery Management System	Système permettant de réguler la batterie du véhicule

Tableau I.2 : Les différents types d'ECU

Tous ces ECUs sont reliés à des capteurs et des actionneurs leur permettant d'envoyer et de traiter les informations. Une communication est donc présente entre tous ces composants électroniques via des bus de communication. Toute cette composition forme l'électronique embarquée du véhicule [1].

I.5.2. Le temps réel :

Comme déjà spécifié, les systèmes embarqués sont soumis à des contraintes différentes selon leur domaine d'utilisation. Et bien, le temps réel est l'une des contraintes primordiales dans le secteur de l'automobile au niveau de la performance mais surtout au niveau de la sécurité. Devant un ordinateur classique, quelques minutes de latence ne pourront affecter que l'humeur de l'utilisateur, sur un système embarqué d'automobile seul quelques secondes de latence suffisent à provoquer un accident avec des conséquences terribles.

Le temps réel est le fait d'être constamment en adéquation temporelle avec la réalité. Un système en temps réel est un système qui doit, non seulement, produire un résultat juste mais dans une durée limitée, sans quoi ce résultat deviendrait erroné. Ainsi, le système en temps

réel doit fournir un résultat avec une contrainte de temps.

Le temps est déterminé par l'environnement dans lequel se trouve le système, celui-ci doit avoir l'image la plus réaliste de celle de son environnement externe qui évolue lui-même avec le temps.

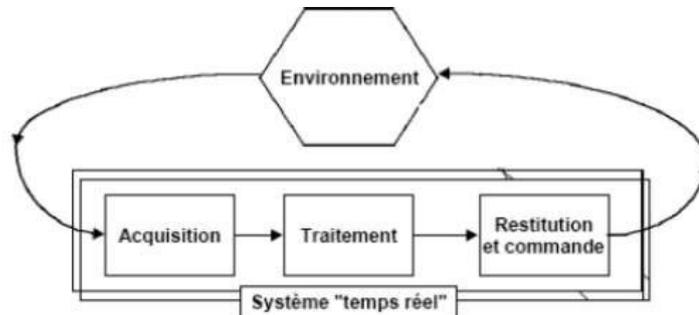


Figure I.16: Représentation d'un système en temps réel avec son environnement

L'échelle de temps dépend de l'environnement dans lequel le système est utilisé, il peut varier de quelques millisecondes à plusieurs heures. Lorsque nous sommes dans notre véhicule, il est préférable de voir l'allure à laquelle nous roulons aux millisecondes près, l'affichage de la vitesse à quelques minutes d'intervalles rendrait les données complètement fausses [1].

I.5.3. Quelques chiffres :

Un véhicule renferme aujourd'hui plus de lignes de code qu'un avion Airbus de première génération, soit près d'un million de lignes pour les véhicules haut de gamme. (Institut Universitaire de Belford-Montbéliard, 2013)

On compte de nos jours jusqu'à 80 calculateurs par voiture, un constat flagrant sur l'évolution des systèmes embarqués dans l'automobile. (Marc Alias, Ingénieur automobile, 2014)

Ainsi, la part de l'électronique des véhicules a connu un essor de grande envergure comme en témoigne ce graphique.

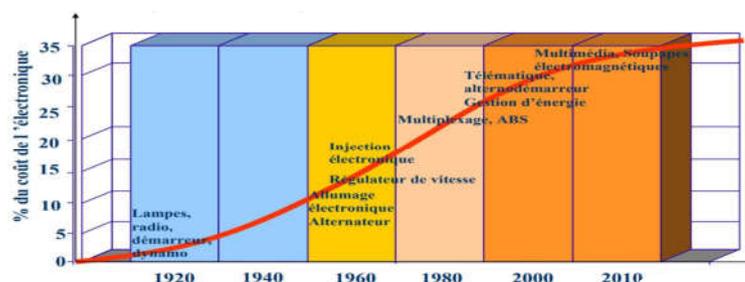


Figure I.17 : Evolution du coût de l'électronique dans l'automobile

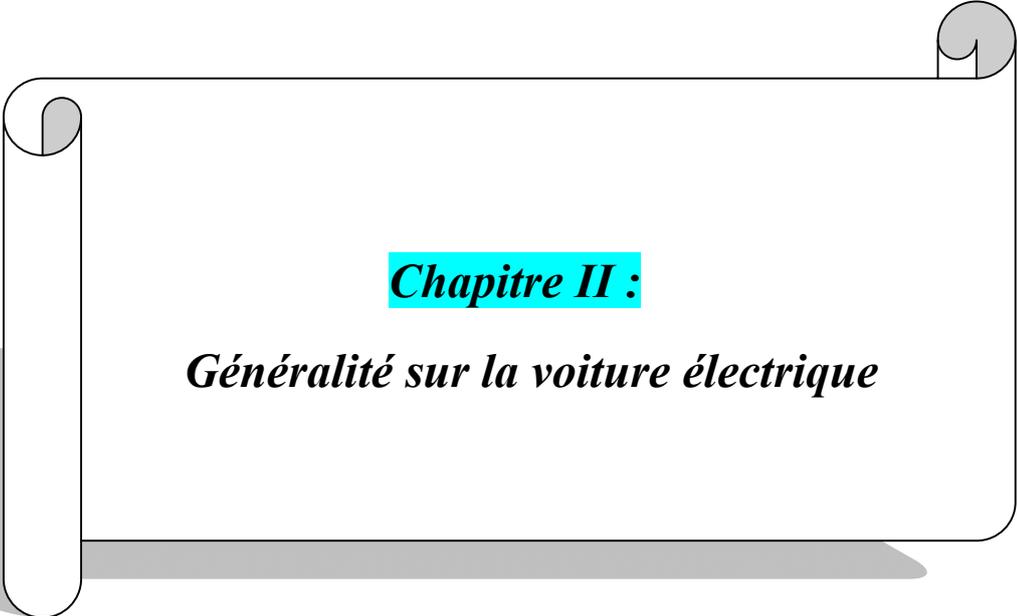
Nous constatons que le coût de l'électronique représente aujourd'hui près de 40% du prix total du véhicule. Certains véhicules de luxe valent aujourd'hui plus de CHF 150'000.- due notamment à la quantité d'électronique qui y est intégrée pouvant proposer une multitude d'options.

Ainsi, les systèmes embarqués sont en plein essor avec les premières voitures autonomes contenant beaucoup plus d'informatique embarqué que des véhicules classiques et de plus en plus connectés au monde extérieur.

I.6.Remarques pour conclure :

Les systèmes enfouis, embarqués et mobiles étant des systèmes informatiques invisibles, ils partagent bien évidemment un grand nombre de caractéristiques communes avec les systèmes informatiques classiques. Pour les produits bas de gamme, on retrouve beaucoup des caractéristiques des premiers systèmes à base de microprocesseurs des années 1980. Pour les systèmes multiprocesseurs sur puce haut de gamme, il y a beaucoup de caractéristiques communes avec les multi cœurs ou clusters de multi cœurs sur les aspects conception matérielle, logicielle et système, les problèmes de conception et de validation. La spécificité des systèmes embarqués est l'ensemble des contraintes particulières que nous avons passées en revue : coût, encombrement, énergie, fiabilité, etc. qui particularise les problèmes de conception et de réalisation. Parmi les systèmes embarqués, les systèmes critiques ont de plus en plus d'importance dans certains domaines, comme on peut le voir avec l'augmentation continue des systèmes électroniques dans l'automobile et les possibilités qu'ils permettent (voiture sans chauffeur).

Ces systèmes deviennent de plus en plus répandus dans la vie courante, des objets de communication à l'aide aux personnes âgées ou malades, de la maison connectée à la ville intelligente, etc. De même que l'informatique traditionnelle a évolué de l'ordinateur individuel (ou du centre de calcul) aux outils informatiques (PC, portables) interconnectés via Internet, les systèmes embarqués évoluent de systèmes individuels vers des systèmes interconnectés. Réseaux de capteurs et Internet des objets sont un exemple de cette évolution. Cette évolution permettra l'apparition de nombreuses nouvelles applications qu'il est encore difficile de définir.



Chapitre II :

Généralité sur la voiture électrique

II.1.Introduction :

Avec l'expansion de la société de consommation depuis des années, les voitures sont devenues un objet indispensable dans une société moderne comme la notre. Ainsi avec l'expansion de ce moyen de transport dans le monde, le pétrole le principal et le plus important carburant dans le monde s'épuise chaque jour petit à petit. Sachant que la voiture est la plus importante cause de l'épuisement du pétrole, nous nous sommes intéressés aux solutions présentes qui sont proposées pour remédier à ce problème. Une des solutions qui allie plaisir, utilité et respect de la nature est la voiture électrique.

II.2.Les véhicules électriques :

-La voiture électrique présente la particularité d'être mue par un ou plusieurs moteurs électriques qui transmettent la force motrice aux roues selon la solution de transmission retenue. Compte tenu des progrès scientifiques et technologiques accomplis dans le domaine de l'électronique de puissance, etc. beaucoup d'idées et de nouvelles conceptions sont explorées pour développer ce mode de propulsion. Toutes ces explorations sont liées à une problématique commune : la production, le transport, le stockage et l'utilisation de l'électricité [10]

-Une voiture électrique est une automobile mue par un ou plusieurs moteurs électriques, généralement alimentés par une batterie d'accumulateurs voire une pile à hydrogène [11]

II.3.Les différents types de voitures électriques :

En tout, il existe 3 types de voitures qui peuvent rouler, en tout ou en partie, à l'électricité. Les voitures qui possèdent uniquement un moteur électrique, celles qui sont munies d'un moteur électrique avec prolongateur d'autonomie et les hybrides rechargeables. [12]

II.3.1.100 % électrique (FEV/BEV) :

Les voitures entièrement électriques possèdent exclusivement un moteur électrique. Elles ne nécessitent donc pas de carburant coûteux et n'émettent en outre aucune substance nocive lors de la conduite. Si vous prévoyez un long trajet avec ce type de voiture, il vous faudra le planifier minutieusement car leur autonomie est limitée. En pratique, l'autonomie d'une voiture 100 % électrique s'élève en général à 150 km, au terme desquels vous devrez à nouveau recharger votre voiture.

II.3.2.Prolongateur d'autonomie (E-REV) :

Les voitures électriques avec prolongateur d'autonomie roulent elles aussi exclusivement à l'électricité, avec la différence qu'elles possèdent un petit moteur à combustion pour l'éventualité où les batteries doivent être rechargées. Ce moteur ne propulse donc pas les roues mais recharge la batterie. Vous pouvez ainsi poursuivre votre route à l'électricité : celle-ci ne provient alors plus des bornes de recharge mais est générée grâce à de l'essence ou du diesel. Avec une voiture avec prolongateur d'autonomie, vous devrez donc faire le plein.

II.3.3. Hybride rechargeable ou « plug-in » (PHEV) :

Une voiture hybride possède un moteur à combustion et un moteur électrique. Lorsqu'il est possible de recharger les batteries avec une prise électrique, on parle d'une hybride plug-in. Si ce type de voitures possède une batterie plus grande, vous pouvez rouler entièrement à l'électricité sur de plus grandes distances. Une fois qu'il n'y a plus d'électricité, c'est le moteur à combustion qui prend le relais.

II.4. Architecture d'une voiture électrique :

Une voiture électrique ressemble généralement à n'importe quel autre véhicule. Pour apercevoir les différences, il faut jeter un œil sous le capot et sous le plancher. A la place d'un moteur à explosion utilisant la chaleur comme énergie, elle utilise de l'électricité. Pour comprendre pas-à-pas le fonctionnement d'une voiture électrique [13]

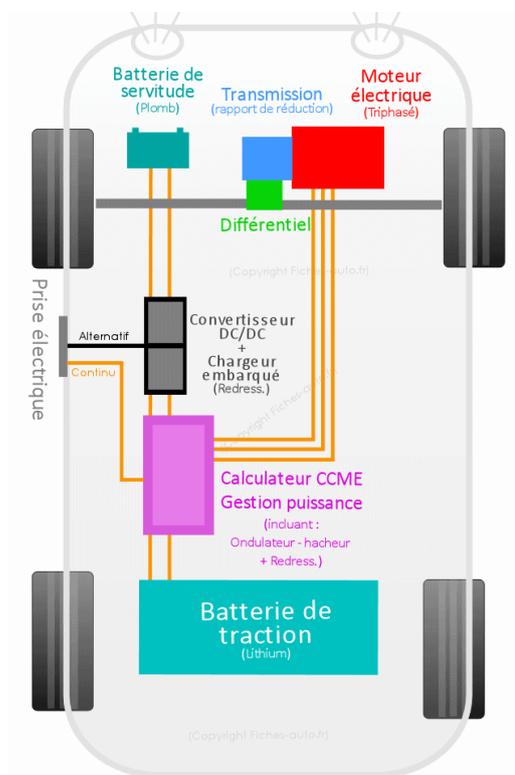


Figure II.1 : système de traction d'une voiture électrique.

Commençons pas l'essentiel, à savoir les grands éléments qui composent le système de traction d'une voiture électrique :

II.4.1. La recharge :

Tout commence par la recharge. Pour faire le plein, une voiture électrique doit être branchée sur une prise ou une borne de recharge. Le branchement se fait à travers un câble doté de connecteurs appropriés. Il en existe plusieurs, correspondant au mode de recharge souhaité. Pour la recharge à domicile, au travail ou sur les petites bornes publiques, on utilise généralement son propre câble avec connecteurs « type 2 ». Sur les bornes rapides, le câble

est attaché et propose deux standards : le « Combo CCS » européen et le « Chademo » japonais. Si cela peut paraître compliqué au premier abord, c'est en réalité plus simple une fois habitué. Il n'y a aucun risque d'erreur : les connecteurs n'ont pas la même forme et ne peuvent donc pas s'enficher dans la mauvaise prise.

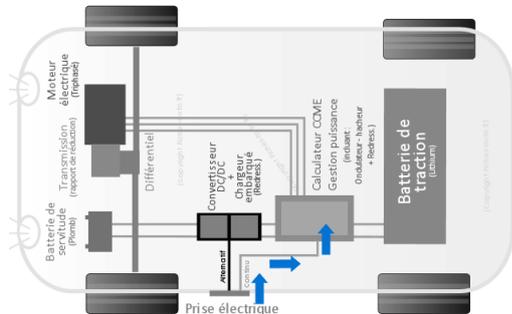


Figure II.2: les superchargeur (prise courant continu)

Figure II.3 : la prise CCS/Combo

Une fois la connexion effectuée, le courant électrique alternatif (AC) qui circule dans le réseau de distribution chemine le long du câble connecté à la voiture. Celle-ci procède à une série de vérifications via son ordinateur de bord. Elle s'assure notamment que le courant est de bonne qualité, bien configuré et que la phase de terre est suffisante pour garantir une recharge en toute sécurité. Si tout est conforme, la voiture autorise l'électricité à traverser un premier élément embarqué : le convertisseur.

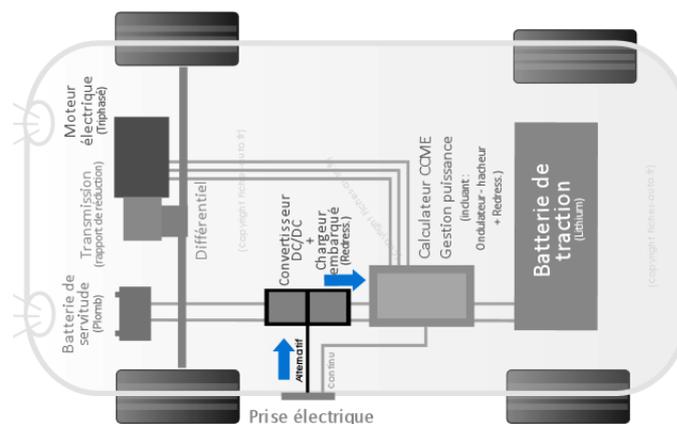


Figure II.4: prise électrique alternatif

II.4.2. Le convertisseur :

Cet organe transforme le courant alternatif du réseau en courant continu (DC). En effet, les batteries ne peuvent stocker l'énergie que sous forme de courant continu. Pour éviter cette étape et recharger plus rapidement, certaines bornes convertissent elles-mêmes l'électricité pour injecter directement du courant continu dans la batterie. Il s'agit des bornes dites de « recharge rapide » et « ultra-rapides » DC comme celles que l'on peut trouver sur les stations d'autoroute. Très coûteuses et volumineuses, ces bornes ne peuvent actuellement pas être installées chez un particulier.

II.4.3. La batterie :

Dans la batterie, le courant se répartit sur les milliers de cellules qui la composent. Elles se présentent sous forme de petites piles ou de poches assemblées les unes aux autres. La quantité d'énergie stockable par la batterie s'exprime en kilowattheure (kWh), équivalent au « litre » d'un réservoir de carburant et le débit d'électricité délivré s'exprime en kilowatt « kW ». Un exemple pour comprendre : une batterie de 50 kWh qui recharge à une puissance de 10 kW peut recharger en environ 5 heures. Pourquoi « environ » ? Parce-qu'au-delà de 80%, les batteries réduisent automatiquement la vitesse de recharge. Comme une bouteille d'eau que l'on remplit au robinet, il faut diminuer le débit pour éviter d'éclabousser.

Le courant stocké dans la batterie est ensuite dirigé vers un ou plusieurs moteurs électriques. Son fonctionnement est très simple : sous l'action d'un champ magnétique généré dans le stator, le rotor du moteur tourne. Il peut transmettre son mouvement aux roues directement ou à travers un réducteur à un seul rapport pour optimiser sa vitesse de rotation. [14]

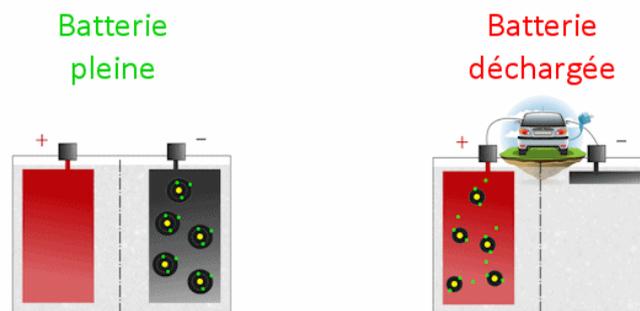


Figure II.5 : Batterie.

II.4.3.1. Les différents Types de batteries :

La batterie est sans contredit l'un des éléments centraux de tout véhicule électrique. La présente section donne plus de détails sur les types de batteries et les avantages et inconvénients de chacune, afin d'aider le lecteur à mieux comprendre cet élément. [6]

II.4.3.1.1 Batteries au plomb :

On utilise les batteries au plomb dans les voitures et camions conventionnels pour le démarrage, l'éclairage et les autres accessoires électriques.

Elles sont relativement peu coûteuses et leur densité de puissance est élevée, mais leur densité d'énergie est plutôt faible.

II.4.3.1.2. Batteries à hydrure métallique de nickel :

On retrouve souvent des batteries à hydrure métallique de nickel (NiMH) dans les véhicules hybrides actuels, mais elles alimentent aussi des appareils peu coûteux comme les rasoirs et brosses à dents électriques, de même que les appareils photo et caméscopes.

Leur coût est raisonnable et elles offrent le double de la densité d'énergie des batteries au plomb, mais parce que leur densité de puissance est plus faible, elles occupent plus d'espace.

Leur taux d'autodécharge est également plus élevé – elles ont effectivement tendance à se décharger d'elles-mêmes quand elles ne sont pas utilisées. Bien qu'elles soient capables de produire des poussées de puissance rapides, les décharges rapides à forte charge et à répétition réduisent leur vie utile.

Elles sont donc mieux adaptées aux véhicules hybrides qu'aux véhicules électriques à batterie, reconnus pour être exigeants en matière de décharge rapide.

II.4.3.1.3. Batteries au lithium-ion (Li-ion) :

On retrouve souvent les batteries au lithium-ion dans les téléphones et ordinateurs portables, et elles sont de plus en plus recherchées pour les véhicules hybrides rechargeables et les véhicules électriques à batterie, de même que pour certains véhicules hybrides conventionnels.

II.4.3.1.4. Chevrolet Volt Battery :

Leur densité d'énergie et leur densité de puissance sont plusieurs fois supérieures à celles des batteries au plomb et NiMH. Leur rendement en recharge/décharge est également meilleur.

Elles sont toutefois plus chères et, sous leur forme la plus courante, leur température doit être bien contrôlée, ce qui exige parfois un système de refroidissement complexe et coûteux dans le véhicule.

En raison de leur densité d'énergie élevée, les batteries au lithium-ion sont les favorites pour bon nombre d'hybrides rechargeables et de véhicules électriques à batterie déjà ou bientôt disponibles.

II.4.3.1.5. Batteries au lithium polymère (Li-poly) :

Les batteries au lithium polymère ressemblent aux autres batteries au lithium-ion (Li-ion), sauf qu'elles utilisent un électrolyte solide en plastique (polymère) et que leurs cellules ne sont pas obligatoirement cylindriques.

Elles peuvent donc être moulées pour se glisser dans un volume de forme précise, ce qui permet une meilleure utilisation de l'espace.

Leurs autres caractéristiques sont semblables à celles des autres batteries Li-ion. Les batteries Li-poly sont déjà utilisées dans certains véhicules hybrides.

II.4.3.1.6. Batteries au lithium-fer-phosphate (LFP) :

Il existe plusieurs sortes de batteries au lithium-ion. Celles-ci se distinguent par leur composition chimique, surtout le matériau utilisé pour la cathode. Les matériaux les plus communs sont les oxydes de cobalt et de manganèse.

La composition chimique des batteries au lithium-fer-phosphate est la même que celle des batteries au lithium-ion, sauf que leur cathode est en phosphate de fer lithié. Elles offrent une meilleure stabilité chimique et thermique que les autres batteries au lithium-ion et ne risquent pas de prendre feu en cas de surcharge ou de court-circuit.

Leur cote en puissance maximale est également meilleure, mais leur densité d'énergie est nettement plus faible que celle des autres batteries au lithium.

Considérant que leurs avantages en matière de sécurité et de puissance compensent leur faible densité d'énergie, certains constructeurs utilisent désormais les batteries au lithium-fer-phosphate dans certains hybrides et véhicules électriques à batterie

Le tableau (II.1) donne une comparaison des différents technologies des batteries :

Batterie	Plomb acide	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion
Densité énergétique (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	160-200
Nombre de cycles (charge/décharge)	500 à 800	1000 à 2000	600 à 1500	400 à 1200
Temps de charge	6 à 12h	1 à 2h	2 à 4h	2 à 4h
Température de fonctionnement	-20 à 60(C)	-40 à 60(C)	-20 à 60(C)	-20 à 60(C)

Table II.1: Tableau comparatif des technologies des batteries.



Figure II.6: Les différents Types de batteries

II.4.4. Les super condensateurs :

Les super condensateurs (Figure II.7) stockent l'énergie sous forme électrostatique. Ils sont des systèmes de stockage d'énergie de faible densité d'énergie mais d'une densité de puissance importante. Par conséquent, ils sont utilisés dans les phases transitoires pour fournir les pics de puissance demandés, afin de réduire les sollicitations en courant, de diminuer la taille et d'augmenter la durée de vie de la source principale d'énergie (batteries ou pile à combustible) [16]



Figure II.7 : Exemple de super condensateur.

Le super condensateur se compose de deux collecteurs métalliques (Figure II.8), chacun couplés à deux électrodes carbonées, poreuses et imprégnées d'électrolyte.

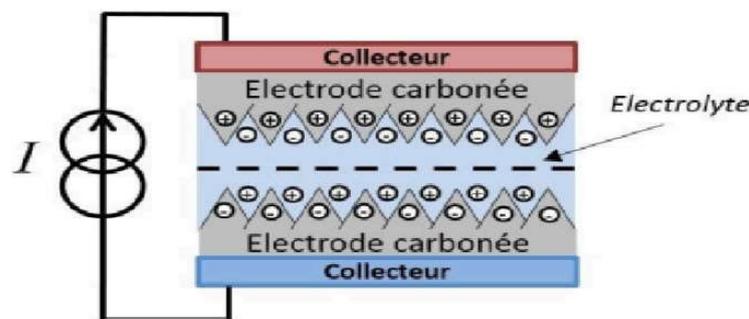


Figure II.8 : Composition d'un super condensateur.

Pour remédier aux problèmes de surdimensionnement des batteries dans les applications VEH (ventilation Ecopur pour l'habitat), les super condensateurs présentent des propriétés très intéressantes. La cinétique du transfert de charge est plus rapide que dans le cas des batteries. Leur durée de vie est de l'ordre de quelques centaines de milliers de cycles de charge/décharge [17]

II.4.5. Le moteur électrique :

-C'est un composant très simple au cœur de la voiture électrique, il joue sur les forces d'interactions (vecteurs forces) entre un électroaimant et un aimant permanent. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique qui provient de la source, en énergie mécanique utilisée pour propulser le véhicule durant les phases de traction, ou inversement l'énergie mécanique en énergie électrique lors des phases de freinage, pour permettre la récupération d'énergie (régénération). Lors du freinage, la chaîne mécanique devient en partie la source de puissance, et la source d'énergie principale (batterie) devient le récepteur [18]

-est un actionneur qui crée un mouvement de rotation à partir d'énergie électrique Les moteurs électriques sont beaucoup utilisés à cause de leur fiabilité, simplicité, et bon rendement. [19]

-Un moteur électrique est composé d'un axe de sortie, d'un corps bâti et de deux broches électriques

Il existe un grand nombre de type de moteurs :

II. 4.5.1.Moteurs à courant continu :

Le moteur à courant continu (MCC) La source d'énergie provenant de la batterie étant à courant continu, la choix d'un moteur à courant continu semble un choix évident. Historiquement, les entraînements utilisant des moteurs à courant continu ont été employés bien en avant dans les véhicules électriques parce qu'ils offrent un contrôle de vitesse simple. De plus, ce type de moteur dispose d'excellentes caractéristiques pour la propulsion électrique (courbe du couple très favorable à faible vitesse). En revanche, leur fabrication est onéreuse et nécessite l'entretien du système balais-collecteur. Leur vitesse est limitée et ayant une faible puissance massique avoisinant en générale, les 0,3 à 0,5 kW/kg, alors que celle des moteurs à essence est de l'ordre 0,75 à 1,1 kW/kg. Ce qui les rend moins fiables et non appropriés dans ce domaine d'application [20]

II. 4.5.2. Moteurs asynchrones :

Le moteur asynchrone (MAS) Le moteur asynchrone est formé d'un stator et d'un rotor : - Stator : la partie fixe du moteur. Il comporte trois bobinages (ou enroulements) qui peuvent être couplés en étoile (Y) ou en triangle (4) selon le réseau d'alimentation. - Rotor : la partie tournante du moteur. Cylindrique, il porte soit un bobinage (d'ordinaire triphasé comme le stator) accessible par trois bagues et trois balais, soit une cage d'écureuil non accessible, à base de barres conductrices en aluminium. Dans les deux cas, le circuit rotorique est mis en court-circuit (par des anneaux ou un rhéostat)[17]. La machine asynchrone, du part sa simplicité de fabrication et d'entretien est actuellement la machine la plus répandue dans le secteur industriel et présente de bien meilleures performances que les autres types de machines. Par ailleurs, ces machines possèdent un couple massique, un rendement et un facteur de puissance plus faible que les machines à aimants.

II.4.5.3.Moteurs synchrones :

Le moteur synchrone Bien que plus délicats à piloter, plus coûteux et potentiellement moins robuste, le choix du moteur synchrone s'est imposé dans les véhicules électriques et hybrides. La machine synchrone offre le meilleur rendement en mode générateur et moteur. Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor [21].

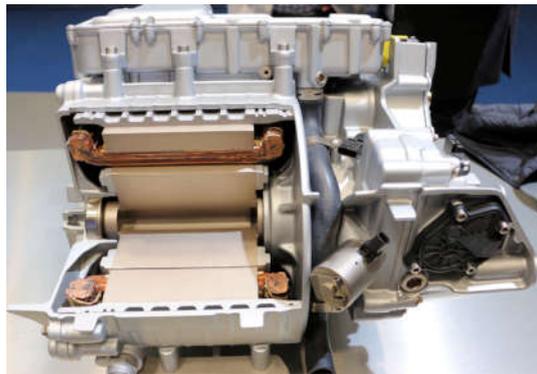
II.4.6.Fonctionnement du moteur électrique :

Les voitures électriques faisant partie de plus en plus de notre quotidien, il était donc temps de se pencher sur le fonctionnement de leur moteur ainsi que des différentes déclinaisons (synchrone, asynchrone, permanent, à induction etc.). Voyons donc le principe général de cette technologie qui pourtant ne date pas d'hier.

II.4.7. Le principe d'un moteur électrique :

Le principe d'un moteur électrique, quelque soit sa conception, est d'exploiter la force magnétique pour obtenir un mouvement. La force magnétique nous est un peu familière grâce aux aimants qui peuvent repousser ou attirer d'autres aimants.

Pour cela, on va s'aider de deux éléments principaux : des aimants permanents et des bobines de cuivre (matériaux parfait pour cet emploi car c'est le plus conducteur qui soit ...), ou même que des bobines de cuivre dans certains cas (sans aimant permanent donc). On va monter le tout sur un axe circulaire pour obtenir un mouvement permanent et linéaire, le but est d'avoir quelque chose qui a un cycle qui se répète à tant qu'on alimente le moteur.



Il faut aussi savoir qu'une bobine traversée par du courant (des électrons donc) se comporte alors comme un aimant, avec un champ électromagnétique avec deux pôles : nord et sud / + et -. Le résultat est que si je fais passer du courant dans la bobine, cette dernière va générer un champ magnétique qui va alors influencer sur celui de l'aimant, qui va alors bouger. Le principe est donc simple, si j'alimente ma bobine j'obtiens une force de rotation par le biais de l'aimant, et si j'arrête de l'alimenter je n'ai plus de force (voici le principe général et simplifié de l'accélérateur d'une voiture électrique, qui sera géré par une électronique de puissance qui va alors s'occuper d'alimenter les moteurs : tension, intensité, alternatif ou continu (selon technologie moteur) etc.

Tout moteur électrique est réversible : si on bouge l'aimant manuellement cela génère un courant électrique dans la bobine (on peut alors recharger la batterie par exemple, c'est la régénération). Si on injecte du courant dans la bobine, alors l'aimant se met à bouger. [13].

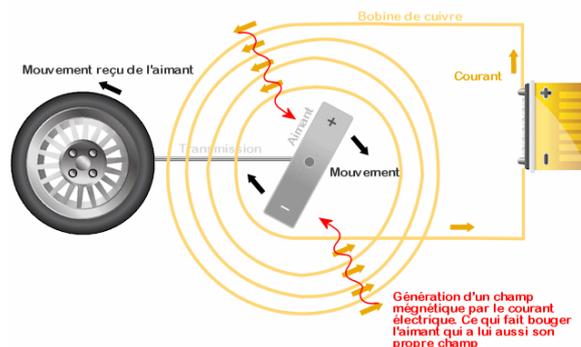


Figure II. 9: principe de base d'un moteur électrique.

Attention, en réalité le courant va du - vers le + . Si la convention il a été décidé qu'il irait du + vers le - (on a décidé de cette convention avant des avoir quel était le vrai sens du courant)

II.4.8. Les pièces d'un moteur électrique :

II.4.8.1. Accumulateur :

C'est là d'où vient le courant qui va alimenter le moteur, à savoir en général d'une batterie Lithium Ion ou encore batterie Nih

II.4.8.2. Stator :

Il s'agit de la partie périphérique du moteur, celle qui ne tourne pas. Pour vous aider à vous en rappeler dites-vous que c'est la partie statique (stator). Il est dans 99% des cas constitué de bobines qu'on va plus ou moins alimenter (mais aussi plus ou moins alterner en \pm avec les moteurs à courant alternatif) pour faire tourner le rotor.

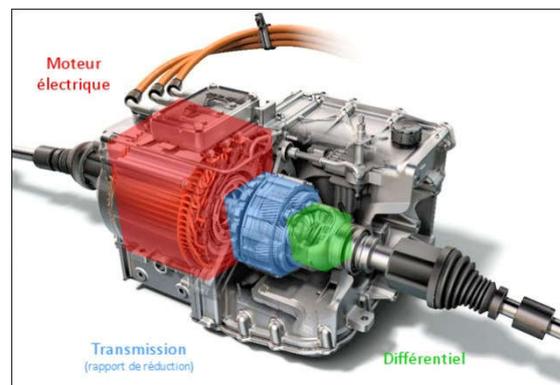
II.4.8.3. Rotor :

Il s'agit de la partie mobile, et pour vous en rappeler pensez au mot rotation (rotor). Il est généralement non alimenté car étant mobile cela est difficile à faire (ou en tout cas c'est peu pérenne dans le temps)

II.4.9. Transmission :

Le moteur électrique ayant une plage de fonctionnement très élevée (16000 t/min sur une Model S (modèle d'une voiture électrique, par exemple) et un couple disponible rapidement (plus on est bas dans les régimes plus on a de couple), il n'était pas indispensable de produire une boîte de vitesses. On a donc en quelque sorte un moteur qui est directement connecté aux roues ! La démultiplication ne changera pas que vous soyez à 15 ou 200 km/h.

Bien évidemment, le rythme du moteur électrique n'est pas exactement calé sur celui des roues, il y a ce que l'on appelle un réducteur. Sur une Model S il est de 10:1 environ, c'est à dire que la roue va tourner 10 fois moins vite que le moteur électrique. Le rapport de réduction est généralement obtenu par un train épicycloïdal, chose que l'on connaît surtout dans les boîtes de vitesses automatiques.



Après ce réducteur il y a enfin le différentiel qui permet de faire tourner les roues à des vitesses différentes . Pas besoin d'embrayage ni de convertisseur de couple car si un moteur thermique a tout le temps besoin d'être en mouvement ce n'est pas le cas d'un moteur électrique. Il n'a donc pas de régime de ralenti ni besoin d'un embrayage qui fait le pontage entre les roues et le moteur : quand les roues s'arrêtent pas besoin de débrayer [13].

II.4.10.Le calculateur :

C'est le calculateur de puissance et gère beaucoup de choses ... Il contrôle les flux d'énergie grâce aux nombreux capteurs qu'il dispose. Par exemple, quand j'accélère j'appuie sur un capteur (la pédale) dénommé potentiomètre (c'est la même chose sur les voitures thermiques modernes), le calculateur gère alors le flux d'énergie à envoyer vers le moteur selon mon "degré d'accélération". Idem quand je relâche la pédale, il va gérer la récupération d'énergie en envoyant le jus généré par le moteur électrique (réversible donc) vers la batterie tout en modulant le débit électrique.

Il peut onduler le courant grâce à un hacheur (batterie vers moteur) ou encore redresser le courant (récupération d'énergie alternative pour la batterie à courant continu). [13].

II.4.10.1.Différents capteurs d'une voiture électrique :

Capteur d'action sur la pédale d'accélération
Capteur d'état de décharge des batteries
Capteur d'action sur la pédale de frein
Capteur frein de stationnement
Capteurs de température des moteurs électriques
Capteur de température extérieur
Capteur de pression des 4 pneus
Capteurs avant d'obstacle
Capteur radar de recul
Capteur de luminosité

II.4.11.Freinage régénératif :

Autre avantage pour les véhicules à batterie : ils peuvent générer de l'électricité. En effet, lorsqu'un moteur électrique tourne « dans le vide » sans être alimenté en courant, il en fabrique. Cela arrive à chaque fois que l'on retire le pied de la pédale d'accélérateur ou que l'on freine. L'énergie récupérée est ainsi directement injectée dans la batterie.

La plupart des modèles récents de voitures électriques proposent même des modes permettant de choisir la puissance de ce frein régénératif (voir figure 27). Réglé au maximum, il freine fortement le véhicule sans solliciter les disques et plaquettes tout en économisant quelques kilomètres d'autonomie. A bord des voitures thermiques, cette énergie est tout simplement gaspillée et accélère l'usure du système de freinage. [13].

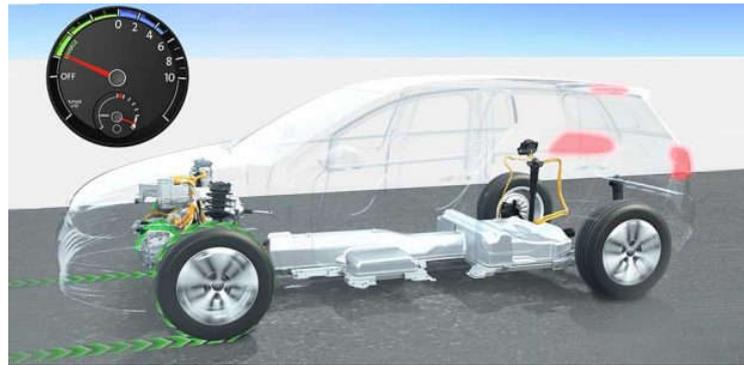
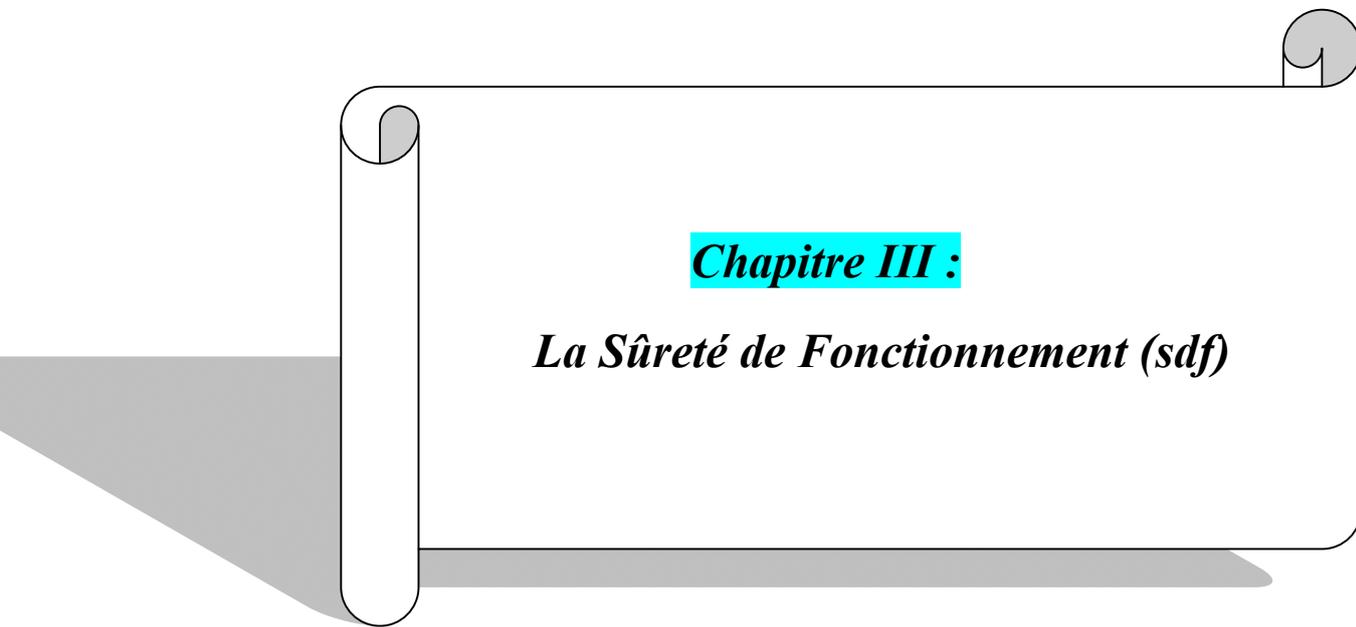


Figure II. 10: Freinage régénératif

II.5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation générale des véhicules électriques (VE) puis nous avons nommé leurs différents types ainsi que leurs classification selon les sources d'énergie, ensuite Nous avons présenté aussi l'architecture des chaines de tractions des (VEs) tout en se basant sur les différentes technologies utilisées pour ce type de véhicule.



Chapitre III :

La Sûreté de Fonctionnement (sdf)

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux différents concepts liés à la sûreté de fonctionnement. Dans un premier temps, nous nous focalisons sur le terme de la SdF (Sûreté De Fonctionnement) en exposant ses entraves, ses aspects et un bref historique . Ensuite, nous présentons les différentes mesures et théories mathématiques de la fiabilité des systèmes qui discernent ce concept. De plus, nous mettons en évidence les méthodes utiles d'analyse de la fiabilité.

III.2.Définitions globales :**III.2.1. Concept de la sûreté de fonctionnement (Dependability) :**

Aujourd'hui, la sûreté de fonctionnement fait partie des enjeux majeurs qui intéressent les constructeurs dans les différents secteurs (l'automobile, l'aéronautique, le nucléaire, la défense...). L'évolution exponentielle de la technologie a fait accroître la complexité des systèmes et elle a réduit davantage leurs coûts de conception et de fabrication. Dans cette perspective, les fabricants s'appuient sur le critère de la qualité pour se faire distinguer sur le marché. Pour cela, ils doivent maîtriser les différents outils qui leurs permettent de garder leur place compétitive et doivent adopter des actions d'amélioration à tous les niveaux. Toutes ces raisons font de la sûreté de fonctionnement le moyen incontestable qui doit être maîtrisé lors de la conception de tout système [22].

Ce concept est défini selon MORTUREUX [23] comme étant un ensemble de moyens et un ensemble de résultat produits par ces moyens. Pour un système, cette notion est considérée comme la caractéristique d'un système qui permet de placer en lui une confiance justifiée. Cette confiance repose sur un ensemble de démarches et s'exprime par un ensemble de caractéristiques, en particulier des disponibilités et de la sécurité.

Selon VILLEMEUR [24] la sûreté de fonctionnement est considérée comme l'aptitude d'une entité à assumer une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Dans cette définition, l'entité peut désigner une organisation, un système, un produit ou un moyen et la fonction du système signifie les performances fonctionnelles attendues par celui-là. Il note également que ce concept englobe principalement la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité, mais aussi d'autres aptitudes telles que la durabilité, la testabilité... ou encore des combinaisons de ces aptitudes. Au sens large, cette notion réfère à la science des défaillances et des pannes.

D'autre part, LAPRIE [25] dit que la sûreté de fonctionnement est la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre. Donc selon cette définition, La sûreté de fonctionnement traduit la confiance qu'on peut accorder à un système.

III.2.2. Historique de la sûreté de fonctionnement :

1940 -1950 : une discipline se développe sous le nom de « théorie de la fiabilité », suite à la comparaison des fréquences des pannes des avions utilisés pendant la deuxième guerre mondiale. Elle est appliquée à l'électronique dans l'aéronautique, la défense et le nucléaire.

1960 - 1970 : généralisation de cette approche probabiliste à d'autres composants : mécaniques, hydrauliques, électriques, puis aux hommes, aux logiciels... et développement de nouvelles méthodes (APR, Arbres de défaillances, AMDE...) permettant de maîtriser les risques.

1980 : Formalisation de l'approche globale de la sûreté de fonctionnement dans le cadre de la conception des systèmes complexes et l'apparition de plusieurs approfondissements qui se manifestent dans le développement : des bases de données de fiabilité, des méthodes d'analyse et de modélisation, des logiciels de calculs, des logiciels de modélisation, etc. [26]

III.2.3. Les entraves à la sûreté de fonctionnement :

Les entraves à la sûreté de fonctionnement représentent les circonstances indésirables et inattendues, causes, ou résultats de la non-sûreté de fonctionnement. Dans l'ensemble des entraves, on distingue la défaillance, la faute et l'erreur.

Selon Villemeur [24], une défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Elle est traduite comme la perte de la disponibilité d'une entité. C'est une altération temporaire ou permanente du service délivré (le service délivré ne correspond pas au service attendu).

Une erreur est la partie de l'état du système qui est susceptible d'entraîner une défaillance, c'est-à-dire qu'une défaillance se produit lorsque l'erreur atteint l'interface du service fourni et le modifie.

Une faute est la cause adjugée ou supposée d'une erreur. Alors, il existe une chaîne causale entre faute, erreur et défaillance. En effet, La défaillance est la conséquence d'une erreur dont la cause est une faute. [27]



Figure III.1 : Chaîne causale entre les entraves à la SdF.

III.2.4. Les aspects de la sûreté de fonctionnement :

Les différents aspects de la sûreté de fonctionnement sont modélisés par des théories mathématiques de fiabilité, disponibilité et maintenabilité.

La notion de fiabilité s'intéresse à la capacité d'un système de remplir sa mission sur une durée donnée T alors que la disponibilité mesure le bon fonctionnement du système à un instant précis t. Cependant, la maintenabilité est liée intimement à la fiabilité et à la disponibilité, elle

précise spécialement la facilité et la rapidité avec lesquelles un système peut être remis en un état de fonctionnement total.

En effet, si la maintenance permet de réduire la durée des pannes et leur coût alors la fiabilité permet de réduire la fréquence de ces pannes. L'union de ces deux concepts, permet d'augmenter la disponibilité des systèmes ou des équipements et de diminuer leur coût de conception, d'entretien et de réparation.

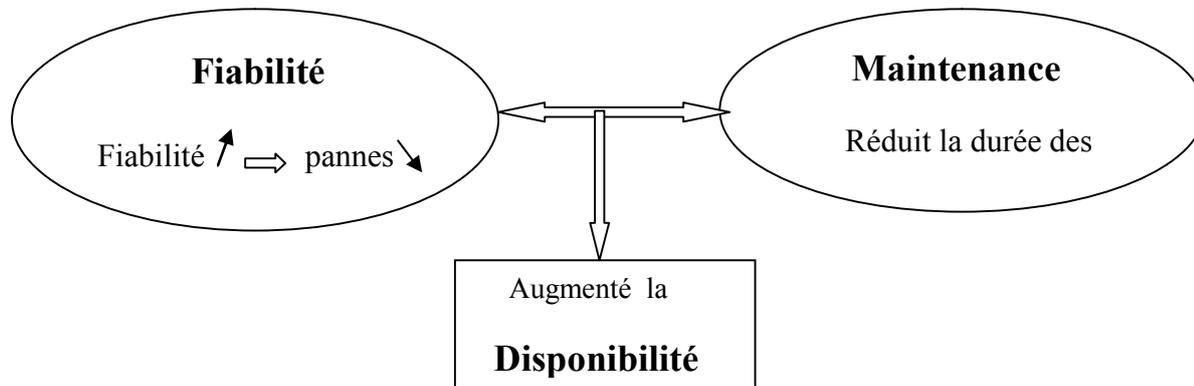


Figure III.2 : Relation entre fiabilité, maintenance et disponibilité.

Le calcul et l'estimation de ces trois concepts fait appel aux lois de probabilités et la statistique. Les méthodes statistiques classiques s'appliquent aux systèmes qui tombent fréquemment en panne. Pour ces systèmes, il est facile d'élaborer une base de données qui permettra d'évaluer la loi de survie. Le cas le plus simple est celui d'un industriel suivant son parc de machines : il demande à son équipe de maintenance d'enregistrer les défaillances. En revanche, pour la plupart des systèmes critiques (ferroviaire, aéronautique, nucléaire...), l'évaluation de la fiabilité dépend strictement de la qualité des composants qui constituent le système, de sa structure, les méthodes de montage et les interventions. Donc l'analyse de la fiabilité d'un tel système s'appuie sur la théorie des processus stochastiques tandis que la théorie des probabilités élémentaires suffit à l'étude des durées de vie de ses composants.

Dans cette étude, on s'intéresse uniquement aux principales grandeurs de la sûreté de fonctionnement qui sont la fiabilité et la disponibilité.

III.3. Mesures de la sûreté de fonctionnement :

III.3.1. La fiabilité (Reliability) :

La fiabilité est définie comme « l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » selon la norme (NF EN 13306 Norme Française (European Norm)),

La fiabilité est l'appui à favoriser pour augmenter la disponibilité tout en tenant compte de l'objectif d'optimisation du coût. Cette grandeur peut être quantifiée par ces deux indicateurs : La durée moyenne sans panne (MTTF), et la moyenne des temps de bon fonctionnement entre défaillances consécutives (MTBF).

Elle représente la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplissant ses fonctions dans l'intervalle $[0, t]$. Elle est caractérisée par sa courbe $R(t)$ appelée « loi de survie » et son taux de défaillance $\lambda(t)$.

$$R(t) = P [E \text{ non défaillante sur } [0, t]] \dots \dots \dots \text{(III.1)}$$

Dans ce contexte, on introduit également le terme de la dé-fiabilité ou la fonction de défaillance, noté $F(t)$, qui est, à l'inverse de la fiabilité, représente la probabilité que l'entité E ait connu une défaillance avant l'instant t . [28]

$$F(t) = P[E \text{ défaillante sur } [0, t]] \dots \dots \dots \text{(III.2)}$$

Il va de soi que la fonction de défaillance ne peut être que le complément de la fonction de fiabilité :

$$F(t) = 1 - R(t) \dots \dots \dots \text{(III.3)}$$

Notons que la variable de la fiabilité peut prendre des formes outre que le temps selon le contexte du travail. Dans certains cas, elle peut référer au nombre de cycles effectués pour une vanne ou un contacteur, à la distance parcourue pour une voiture, au nombre de tours pour une pompe ou un moteur, etc.

Généralement, pour mesurer la fiabilité, on fait appel à la fonction du taux de défaillance. Cette fonction est notée λ , elle représente le taux de défaillance exprimé comme le pourcentage de défauts ou de pannes. Il est exprimé par la relation :

$$\lambda(t) = \frac{P[E \text{ défaillante sur } [t, t+dt] \text{ sans d'être défaillante sur } [0, t]]}{P[E \text{ non défaillante sur } [0, t]]} \dots \dots \dots \text{(III.4)}$$

$$\lambda(t) = - \frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} \dots \dots \dots \text{(III.5)}$$

III.3.2 La disponibilité (Availability) :

Selon la norme (NF 13306), la disponibilité est spécifiée comme « l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné », en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

Elle se caractérise par la probabilité $A(t)$ ou $D(t)$ qu'une entité E soit en état, à l'instant t , d'accomplir les fonctions requises. Elle est le résultat de la coalition de la fiabilité et de la maintenabilité ; c'est la proportion du temps passé en état de remplir les fonctions requises dans les conditions données.

$$A(t) = P [E \text{ non défaillante à l'instant } t] \dots\dots\dots \text{(III.6)}$$

La disponibilité est souvent quantifiée par ces deux indicateurs : La durée moyenne sans panne (MTTF) et le temps moyen jusqu'à réparation (MTTR). Alors la disponibilité moyenne peut être évaluée par le rapport :

$$A_i = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \dots\dots\dots \text{(III.7)}$$

III.3.3.La maintenabilité :

La norme (NF EN 13306) définit la maintenabilité comme « l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits ».

Elle se caractérise par la probabilité $M(t)$ qu'une entité E soit en état, à l'instant t , d'accomplir ces fonctions sachant qu'elle était en panne à l'instant 0.

$$M(t) = P [E \text{ réparable sur } [0, t] \dots\dots\dots \text{(III.8)}$$

D'après sa définition, il est évident que cette notion ne peut être appliquée qu'aux systèmes réparables, où la détermination des politiques de maintenance occupe une place très importante. En revanche, pour les systèmes non réparables, la notion de maintenabilité n'a aucun sens.

Généralement, cette grandeur est mesurée par ces deux indicateurs, le temps moyens de réparation (MTTR) et le taux de réparation μ . Ils sont modélisés par le rapport suivant [23] :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \dots\dots\dots \text{(III.9)}$$

Le taux de réparation instantané est généralement exprimé par :

$$\mu(t) = - \frac{\frac{dM(t)}{dt}}{M(t)} \dots\dots\dots \text{(III.10)}$$

Si nous considérons un système qui évolue dans le temps, tel que ce système peut être réparé lorsqu'il tombe en panne, alors la durée qui sépare deux pannes successives est notée TBF (Time Between Failure), la durée de réparation de la panne est appelée TTR (Time To Repair) et la durée de fonctionnement d'un système avant sa première défaillance est appelée TTF (Time To Failure) alors que la durée de fonctionnement normal du système est noté UT (Up Time). Les moyennes de ces paramètres sont utilisées dans les mesures de la sûreté de fonctionnement.

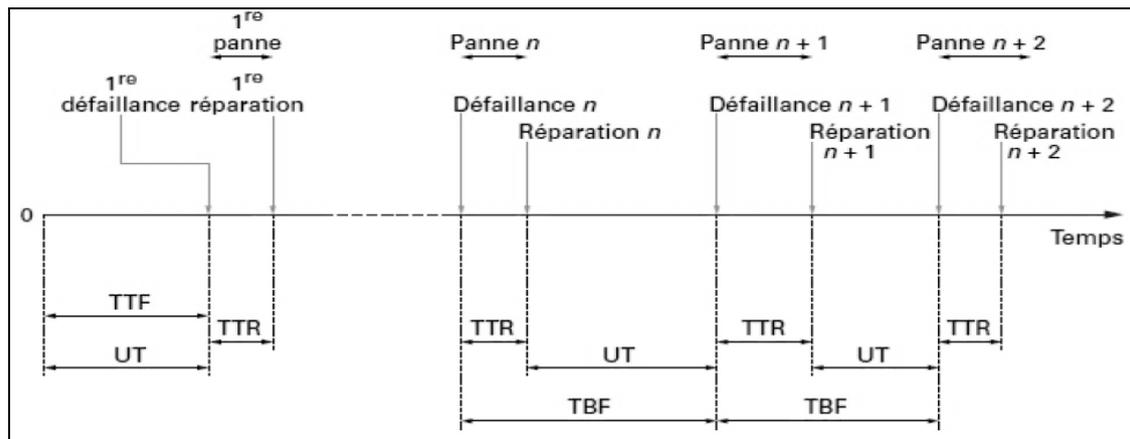


Figure III.3 : Evolution dans le temps d'un système réparable [23].

III.4. Evaluation de la fiabilité des systèmes :

III.4.1. Lois de fiabilité :

Les ingénieurs de fiabilité exploitent les bases de données et le retour d'expérience afin de mesurer la fiabilité de n'importe quelle entité. Ces données peuvent être soit de nature quantitative (taux de défaillance, fréquence des pannes, les probabilités conditionnelles...) soit de nature qualitative (causes, conséquences, gravité...).

Dans le cas de l'inexistence des connaissances nécessaires, les constructeurs organisent des essais et des tests qui visent à accélérer la dégradation d'un composant, et cela dans le but de produire une base de données propre à celui-là dans des délais plus courts.

Souvent, les fabricants fournissent pour chaque article, des données sur les lois de fiabilités et les taux de défaillance. De leur côté, les industriels dirigent des études d'estimation dès la phase de conception, en se basant sur les données des composants qui constituent le système. Et ce, dans le but de prévoir la fiabilité du système complet avant même sa fabrication.

Les méthodes d'évaluation de la fiabilité varient selon la nature des composants (électronique, mécanique, logicielle...). Selon le domaine de la science, des modèles d'approximation probabilistes ont été développés. La loi exponentielle, illustre le cas le plus

simple où le taux de défaillance est constant. Mais généralement, du fait que ce taux est croissant, nous sommes souvent invités à chercher une approximation possible par la loi de Weibull ou par la loi de Gamma

La loi de Weibull est utilisée principalement lorsque le taux de défaillance est décroissant, cela survient dans la situation où les pannes sévissent surtout en début de vie.

En mécanique il est courant de définir la loi de fiabilité par une distribution de type Weibull, Log-normale qui caractérisent correctement les durées de vie des systèmes soumis à des dégradations mécaniques.

La situation assez classique dans le domaine mécanique est celle illustrée par la courbe en baignoire, qui représente l'évolution du taux de panne d'un équipement durant son cycle de vie. On peut distinguer trois zones :

Zone A : appelée "jeunesse" ou "mortalité infantile" (des composants), se caractérise par un taux de panne relativement important, mais en décroissance, correspondant à l'élimination des défauts de jeunesse et au rodage.

Zone B : appelée "maturité" se caractérise par un taux de panne faible et constant. Les différents composants ont prouvé leur robustesse aux défauts de jeunesse, l'équipement est dans sa phase de maturité.

Zone C : appelée "vieillessement" ou "usure" dans laquelle le taux de panne augmente rapidement en fonction du temps.

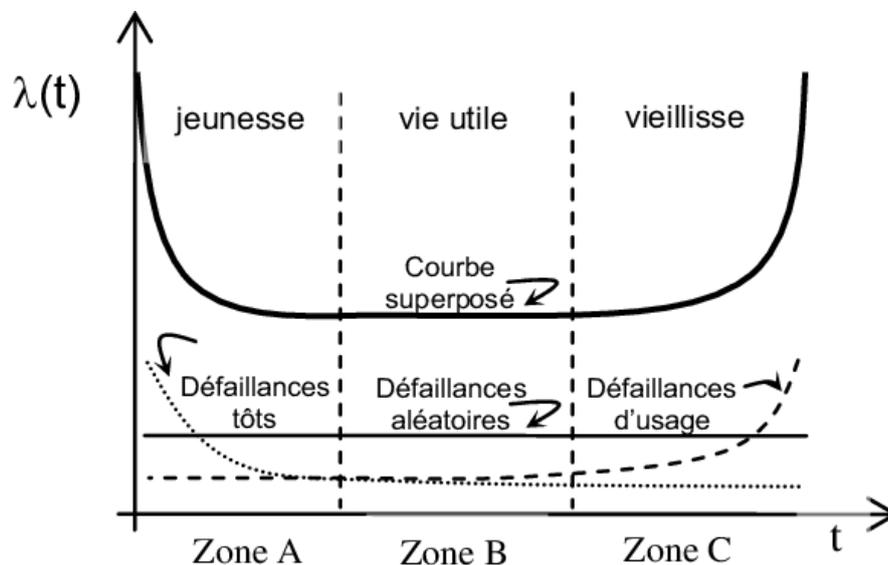


Figure III.4 : Le cycle de vie représenté par la courbe en baignoire.

III.4.2 .Méthodes d'analyse

Après avoir pris connaissance des lois usuelles qui peuvent modéliser la durée de vie des systèmes, nous allons nous intéresser aux méthodes et aux démarches qui permettent de déterminer et d'évaluer les défaillances de ceux-ci.

A chaque étape du processus de développement d'un système, la sûreté de fonctionnement est devenue un outil indispensable. Son but principal est d'optimiser le développement du produit. Pour ceci, il est obligatoire de faire appel à des méthodes permettant d'estimer la fiabilité en cours des phases de développement. Ces méthodes permettent d'étudier les projets dès le début à partir d'analyses qualitatives ou quantitatives afin d'estimer les conséquences des défaillances sur le service. Parmi les méthodes populaires les plus utilisées lors d'une analyse de la sûreté de fonctionnement, nous citons l'Analyse Préliminaire des Risques, l'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et Criticités (AMDEC), et les Arbres de Défaillances.

III.4.2.1. Analyse Préliminaire de Risque (APR) :

L'APR est une méthode générale utilisée dans presque tous les domaines (aéronautique, automobile, chimie, nucléaire...), son objectif principal est le repérage des risques et des situations dangereuses dès les phases de conception. Elle vise également à estimer la gravité des conséquences liées aux risques afin de proposer des recommandations et des mesures permettant la réduction de ces situations dangereuses et de mettre en évidence les points critiques. Elle suit une démarche inductive car elle part des causes pour en déduire les conséquences, ainsi elle est qualifiée comme qualitative car elle n'offre pas de possibilité de quantification.

Les principales étapes qui illustrent cette étude sont résumées dans la figure III.5.

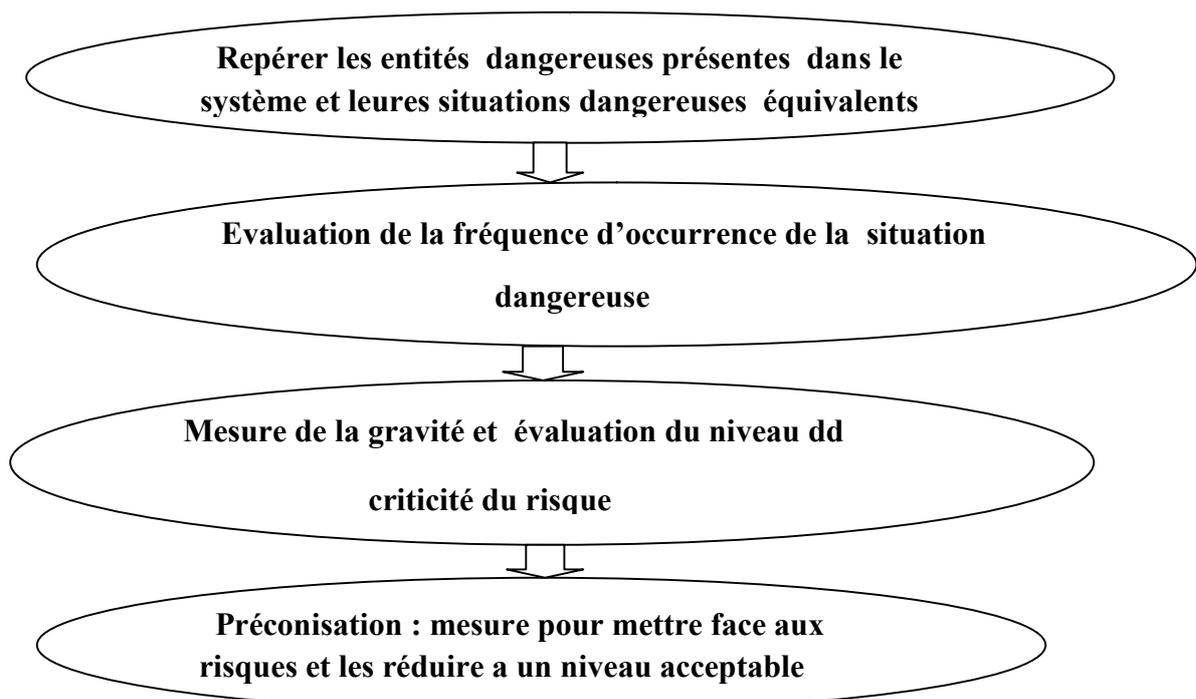


Figure III.5 : Démarche de l'analyse préliminaire des risques.

II.4.2.2. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC)

Est une analyse Inductive de recherche des effets des pannes des composants sur les sous-systèmes et le système. C'est un procédé systématique pour identifier les modes potentiels de défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés [29].

Système	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	/Criticité Classification	Actions Correctives
1	2	3	4	5	6	7

Tableau III.1 : Exemple de structure d'un tableau d'AMDEC [30]

Historiquement, l'AMDEC fut développée dans le secteur aéronautique par l'armée américaine en 1949. Elle fut utilisée pour la première fois dans les années 60 pour des analyses de sécurité des avions et elle prit son essor en Europe au cours des années 70 dans les secteurs automobile, chimique et nucléaire. Initialement, la méthode était appelée AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets). Aujourd'hui, elle a ajouté l'estimation de la criticité des risques, d'où son nom : AMDEC. [31]

Finalement, cette méthode spécifique à la sûreté de fonctionnement des systèmes permet de prioriser les interventions afin de réduire les risques les plus grands, mais aussi de formaliser la documentation. Elle aide à « prévoir » pour ne pas être obligé de « revoir ».

Elle peut être utilisée pour un objet, un procédé de fabrication ou encore un processus de production. On parle alors respectivement d'AMDEC Produit, d'AMDEC Processus ou d'AMDEC Moyen.

Classiquement, les résultats d'une AMDEC sont consignés dans un tableau semblable à celui de Tableau 1.

Réalisée sur un système donné (colonne n°1), l'AMDEC répertorie pour chaque fonction du système (colonne n°2) tous les modes de défaillance (colonne n°3). Puis il s'agit d'identifier les causes possibles de ces modes de défaillance (colonne n°4), sachant que plusieurs causes différentes peuvent être à l'origine d'un même mode de défaillance.

Ensuite, les effets des modes de défaillances doivent être identifiés (colonne n°5). Après, une classification de chaque couple {cause + effet} de tous les modes de défaillance doit être effectuée (colonne n°6). Souvent, il s'agit de choisir une criticité parmi les 5 classes : catastrophique, hasardeux, majeur, mineur ou sans importance. A ce stade, l'analyse proprement dite est en principe finie. Mais une ultime étape est ajoutée. Il s'agit, pour finir, de

définir les actions correctives à mettre en œuvre pour rendre les risques acceptables (colonne^o7).

III.4.2.3. Arbres de défaillances :

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne.

L'analyse par arbre de défaillance est largement répandue dans les études de sûreté de fonctionnement car elle caractérise de façon très claire les liens de dépendance, du point de vue du dysfonctionnement, entre les différents constituants d'un système. Cette technique est capable de gérer des combinaisons complexes de défaillances. Elle est donc bien adaptée à l'étude des défaillances multiples, même si elle ne s'intéresse pas à l'impact que peut avoir l'ordre dans lequel les événements sont considérés.

La méthode de l'arbre de défaillances part d'un événement indésirable et cherche à en connaître les causes possibles. L'objectif de la méthode est de déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable donné. Le résultat est formé d'une représentation graphique des combinaisons au moyen d'une structure arborescente. Un arbre de défaillances fournit alors une vue synthétique qui représente des interactions entre les composants d'un système du point de vue de la sûreté de fonctionnement [30].

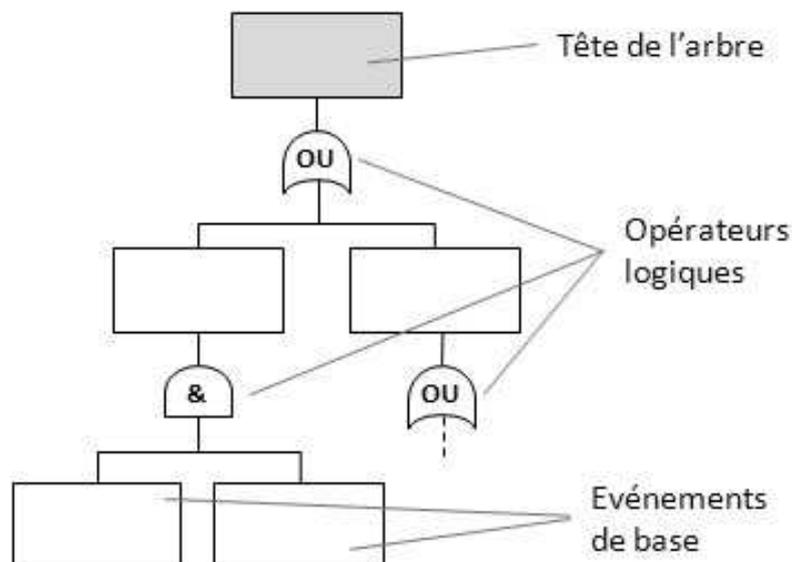


Figure III.6 : Exemple d'arbre de défaillance

La tête de l'arbre de défaillance (qui, par analogie, correspond à la racine) représente la plupart du temps un événement unique mettant sérieusement en question la sécurité du système étudié. Afin de faciliter l'analyse, cet événement indésirable (top événement) doit être précisément défini. L'arbre de défaillance lui-même est alors formé de niveaux successifs d'événements tels que chaque événement est généré à partir des événements du niveau

inférieur par l'intermédiaire de divers operateurs (ou portes) logiques. Ce processus déductif est poursuivi jusqu'à ce que l'on obtienne des événements dits événements de base : les feuilles de l'arbre.

Le tableau III.2 représente les deux portes logiques « ET » et « OU » et leurs signification.

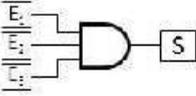
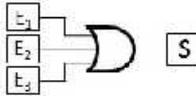
Symbol	Nom	Signification
	Porte ET	L'événement de sortie (s) de la porte ET est généré si tous les événements d'entrée (E1, E2,.....En) sont réalisés simultanément.
	Porte OU	L'événement de sortie (s) de la porte OU est généré si au moins un des événements d'entrée (E1, E2,.....En) est réalisés (OU INCLUSIF).

Tableau III.2 : Les portes logiques

Concernant la représentation des événements, il existe en fait toute une série de représentations possibles, qui ont chacune leur propre signification.

Le tableau III.2 en répertorie un certain nombre.

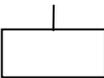
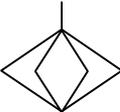
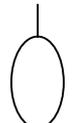
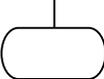
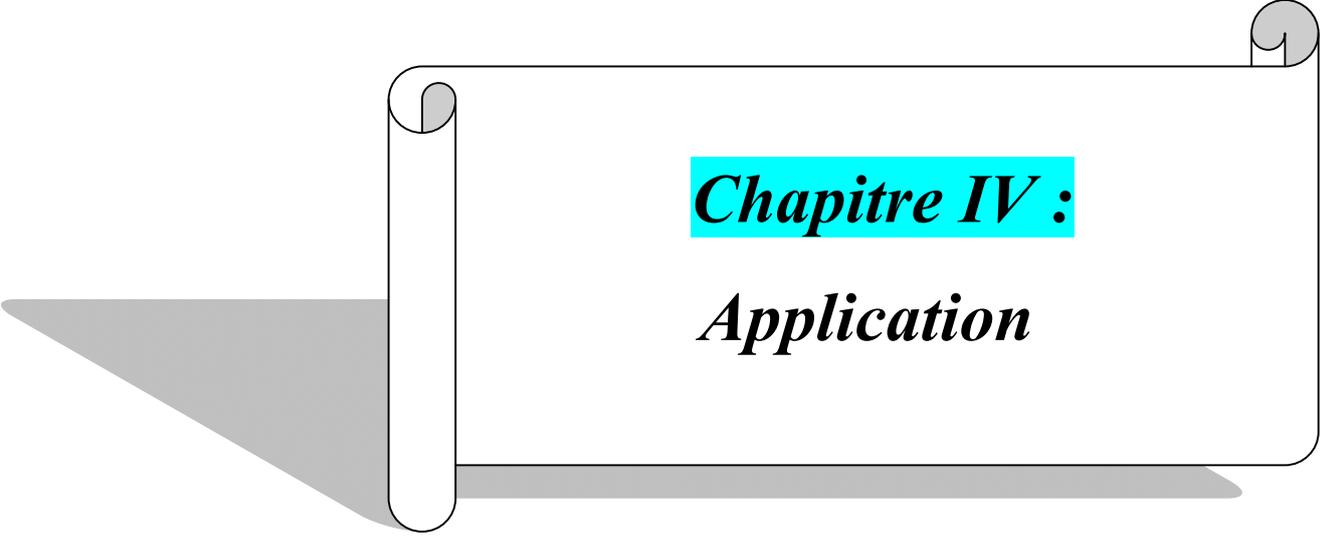
Symbols	Nom	Signification
	Rectangle	Résultant de la (intermédiaire) Evénement combinaison d'autre événements par intermédiaire d'une porte logique
	Losange	Evénement qui ne peut être considéré comme élémentaire mais dont les causes ne seront pas développées (moyens, temps limités , etc)
	Double Losange	Evénement dont les causes ne sont pas encore développées mais le seront ultérieurement (analyse en cours)
	Cercle	Evénement élémentaire qui ne nécessite pas d'être développée plus avant
	Maison	Evénement de base qui se produit normalement pendant le fonctionnement du système.
	Ovale	Evénement conditionnel ; utilisé avec certaines portes logiques.

Tableau III.3 : Les représentations des événements

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons introduit les notions de sûreté de fonctionnement. la sûreté de fonctionnement d'un système est la propriété qui permet de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre. Nous avons ensuite donné les concepts de base et terminologie de sûreté de fonctionnement des systèmes



Chapitre IV :

Application

IV.1.Introduction :

L'objectif de ce chapitre est d'appliquer une approche basée sur la combinaison de l'AMDEC avec la méthode d'arbre de défaillance détaillé dans le chapitre précédent (chapitre 3), nous utilisant ces deux outils pour étudier la performance du cas d'application qui est une voiture électrique.

IV.2. Définition de la maintenance :

La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou et de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal.

- ✓ Maintenir: contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.
- ✓ Rétablir: contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.
- ✓ État spécifié ou service déterminé: implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.
- ✓ Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité.
- ✓ Entretenir, c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production. Entretenir, c'est subir le matériel
- ✓ Maintenir, c'est choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global de possession maintenir, c'est maîtriser.

En fait, la plupart des services « entretien traditionnel » sont en mutation vers la maintenance [30].

IV.3. Méthodes de la maintenance :

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise [30]. Voir Figure IV.1

Pour choisir, il faut donc connaître :

- ✓ Les objectifs de la direction.
- ✓ Les directions politiques de maintenance.
- ✓ Le fonctionnement et les caractéristiques du matériel.
- ✓ Le comportement du matériel en exploitation.
- ✓ Les conditions d'application de chaque méthode.
- ✓ Les coûts de maintenance et les coûts de perte de production

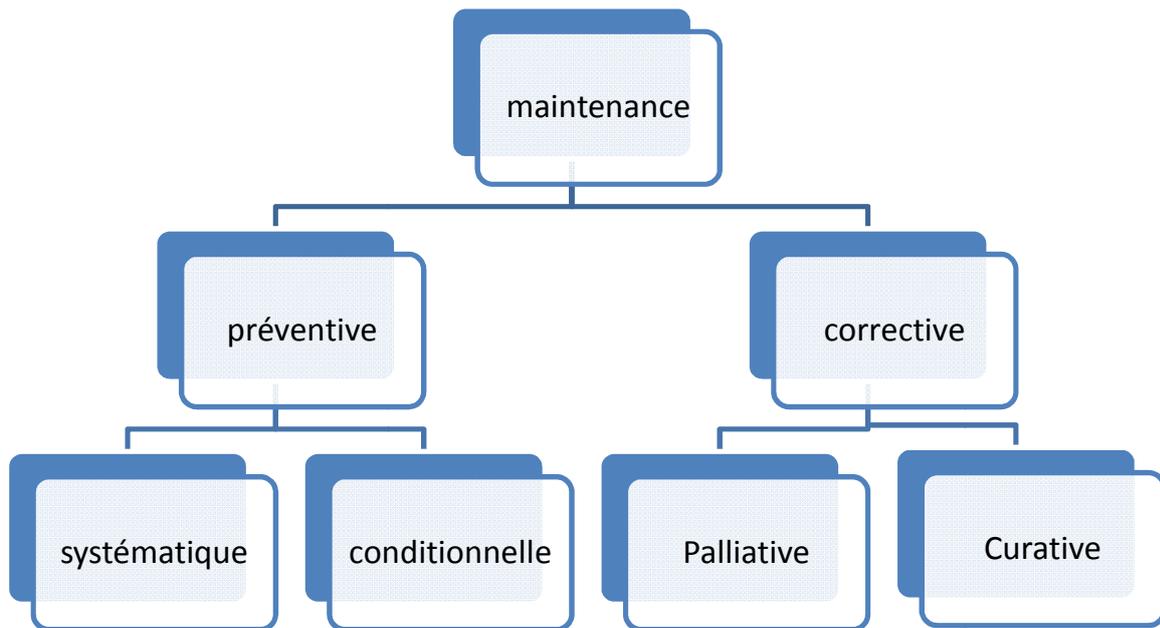


Figure IV.1: Méthode de la maintenance.

IV.3.1. Maintenance corrective :

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (subir) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel. Voir Figure IV.2

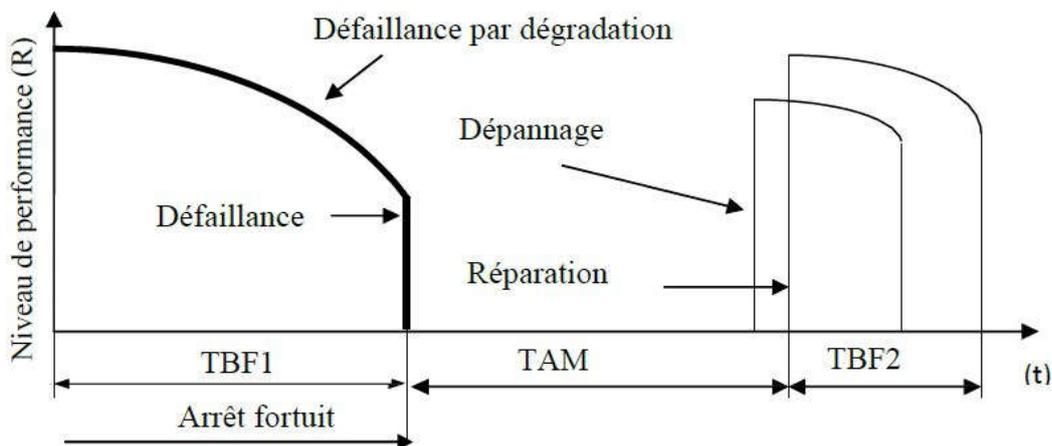


Figure IV.2 : Maintenance corrective.

IV.3.2. Maintenance préventive :

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. », Elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

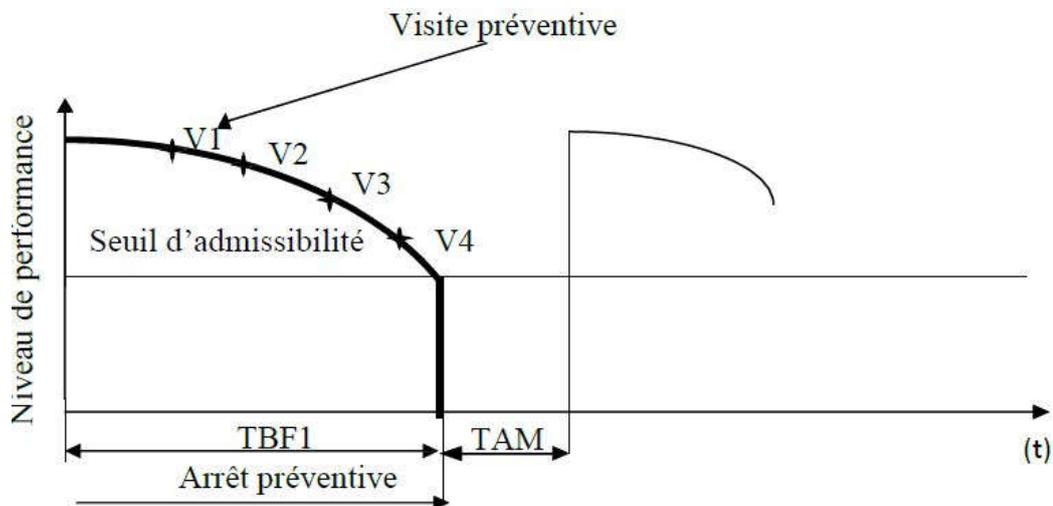


Figure IV.3 : Maintenance préventive

IV.4. l'AMDEC:

IV.4.1. Définition de l'AMDEC :

L'AMDEC, analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité, est un outil d'analyse performant qui permet de recenser de manière exhaustive les risques de dérive d'un processus, d'un produit ou d'un moyen de production. Elle s'inscrit dans la logique de maîtrise des risques ; sa finalité est de mettre en place des plans d'actions préventives visant à éliminer ou réduire les risques liés à la sécurité de l'utilisateur, au non qualité, à la perte de productivité, à l'insatisfaction des clients [31].

L'AMDEC se définit comme une « méthode inductive d'analyse de système utilisée pour l'analyse systématique des causes, des effets des défaillances qui peuvent affecter les composants de ce système ». Cette méthode est systématique, participative et préventive [32].

IV.4.2. Objectif de l'AMDEC :

L'AMDEC a pour objectif, dans une démarche inductive rigoureuse, d'identifier les défaillances dont les conséquences peuvent affecter le fonctionnement d'un système et de les hiérarchiser selon leur niveau de criticité afin de les maîtriser. On obtient en sortie l'ensemble des dysfonctionnements potentiels associés à leur criticité (fréquence d'apparition, gravité des effets et probabilité de détection de la défaillance) ainsi que les plans d'actions à mettre en œuvre afin de diminuer la criticité en faisant varier un des trois facteurs [33].

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production [34].

Elle permet de déterminer les points faibles d'un système et d'y apporter des remèdes, de préciser les moyens de se prémunir contre certaines défaillances, de faire dialoguer les personnes concernées par un projet, mieux connaître le système, et principalement d'étudier les conséquences de défaillance [35].

IV.4.3. Principe de l'AMDEC :

L'AMDEC est fondée sur une démarche inductive (compréhension du comportement) consistant à analyser les effets au niveau équipement puis sous-système et système de pannes de composants élémentaires.

Les modes de défaillance considérés peuvent être définis au niveau composant ou bloc fonctionnel (constitué de quelques composants assurant une fonction élémentaire). Ils sont issus de normes, de bases de données ou résultent d'une démarche déductive d'analyse de défaillance.

La liste des modes de défaillance des composants est vaste et recouvre notamment les types de panne suivants :

- court-circuit, circuit ouvert, dérive d'un paramètre électrique... pour des composants électroniques élémentaires,
- rupture, déformation, grippage, usure, pollution.. pour des composants mécaniques, modes déterministes ou aléatoires pour des composants électroniques intégrés.

A titre d'exemple, la figure 4 représente une liaison filaire numérique de type RS422 entre un émetteur et plusieurs équipements dont l'un est redondé.

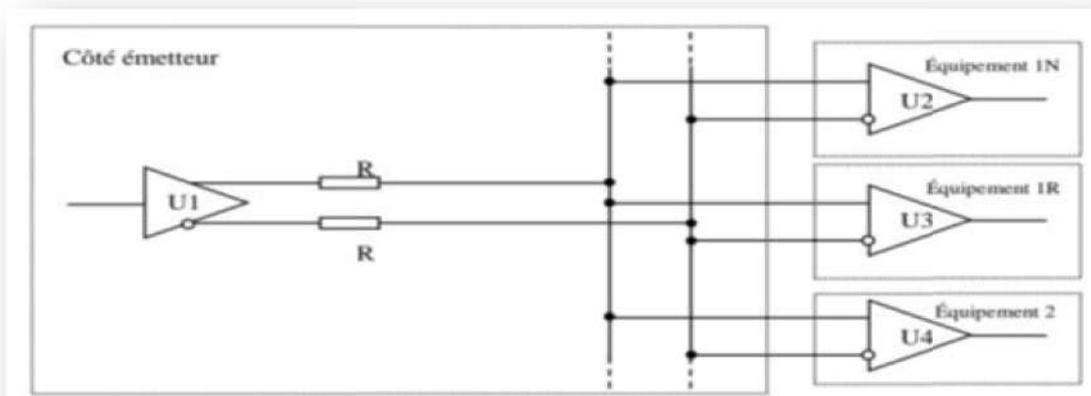


Figure IV.4 : liaison numérique RS422

Une AMDEC simplifiée de cette liaison est réalisée à Le tableau IV.1 en ne considérant que trois modes de panne en entrée du récepteur U2 de l'équipement 1N : circuit ouvert, court-circuit et surtension.

Composant	Modes de défaillance	Effet	Gravité	Recommandations
U2	Circuit Ouvert	Perte de l'équipement 1N Redondance possible (1R)	1	
U2	Court-Circuit	Perte de l'équipement 1N Ecrroulement du bus numérique Perte mission	3	Placer des résistances de limitation RL (en série sur les ligne) au niveau des récepteurs
U2	Surtension (alim U2)	Perte de Protection de l'équipement 1N Perte du bus Perte mission	3	Protection l'émetteur et des Autres récepteurs en surtension (zener). Nécessité de pouvoir déconnecter 1N

Tableau IV.1 : AMDEC simplifiée de la liaison numérique RS122

L'AMDEC est renseignée des effets des défaillances, de leur gravité et de recommandations, avec l'échelle de gravité suivante :

1 = Mineur, 2 = Mission dégradée, 3 = Perte Mission.

Le court-circuit de l'entrée du récepteur U2 pourrait entrainer la défaillance du composant U1 si los résistances de protection R avaient été omises. De même l'ajout de résistances RL au niveau des récepteurs garantit une résistance minimale de $2xR$, en cas de court- circuit, qui permet d'éviter l'écrroulement du bus numérique.

Une surtension à l'entrée du récepteur U2, due par exemple à une panne de son convertisseur d'alimentation, pourrait détruire tous les équipements branchés sur la liaison numérique que l'on peut alors protéger par une diode d'écrétage.

Il est cependant nécessaire de pouvoir déconnecter l'équipement défaillant via un autre chemin que la liaison numérique pour en retrouver l'usage.

IV.4.4.Mise en oeuvre:

Utilisée pour la première fois dans les années 1960 en aéronautique, l'AMDEC ou FMECA en anglais (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) est reprise dans de très nombreux secteurs d'activités (automobile, ferroviaire... et plus récemment médical)

L'AMDEC est normalisée (ECSS-Q-ST-30-02, NF X 60-510, CEI 812, MIL-STD-1629A...). Elle se présente sous la forme de tableaux à plusieurs colonnes dont le format peut être imposé.

Plusieurs variantes de cette méthode existent (AMD, AMDE, AMDEC...). L'AMDEC se distingue de l'AMDE par une quantification de la criticité qui peut se déterminer par le produit des indices de fréquence, gravité et détection, par exemple.

Composant	Vanne N2HA Repère v01
Fonctions Etats	Vanne monostable "Faire" Etat de repos : fermée
Mode de défaillance	1-bloquée ouverte
Causes	Défaut mécanique clapet interne Commande électrique permanente
Effets	En mode contrôle Orbite : orbite erronée Risque de perte
Gravité	3
Mode de Détection	Lors de la visibilité sol suivante : orbite Erronée ou. pas de réception du satellite
Actions Recommandations	Privilégier un mode ctrl d'orbite en phase Visibilité sol Dans ce cas stopper la propulsion Prévoir une limitation temporelle sur la commande de la vanne
Observations	La redondance sur la commande électrique de la vanne n'est d'aucun secours pour ce mode de panne

Tableau IV.2: AMDEC d'un système de propulsion

Ainsi, l'exemple de tableau IV.2 représente une ligne, parmi plusieurs centaines, de l'AMDE d'un système de propulsion de satellite dans laquelle seule la classe de gravité a été renseignée.

Les différentes synthèses des tableaux d'analyse permettent d'identifier :

- les composants les plus critiques (et de les dossier suivant leur gravité ou criticité).
- la liste de Points de Panne Unique (PPU) ou Single Point Failure (SPF) en anglais, dont la panne seule entraîne un événement redouté dans une architecture redondée,
- la liste des observables permettant de détecter une panne (signatures des anomalies),
- la liste des recommandations / actions qu'il est souhaitable de mener, etc.

L'AMDEC doit être, si possible, réalisée au moyen d'un tableur ou d'un outil informatique afin d'en simplifier la réalisation et surtout de faciliter son exploitation ultérieure. Un simple tri de la liste des observables permet ainsi de générer automatiquement le manuel de maintenance ou de traitement des anomalies.

Par ailleurs, l'AMDEC n'est pas seulement une compilation de tableaux (annexe du document) mais c'est surtout un dossier d'analyse qui peut être soumis à revue et contre-expertise éventuelles.

Outre une conclusion et diverses synthèses portant notamment sur les principaux risques et recommandations associées, elle doit décrire le fonctionnement du produit de manière synthétique afin d'être auto-suffisante et que sa lecture ne nécessite aucun autre document,

Par ailleurs, la terminologie est souvent fluctuante dans le domaine de la maîtrise des risques et on ne s'étonnera pas d'entendre parler d'AMDEC fonctionnelle indifféremment pour une analyse de type APR ou de type AMDEC à partir de modes de défaillance fonctionnelle, notamment dans le domaine de la mécanique.

Enfin l'AMDEC ne porte pas toujours sur des produits mais peut également concerner des processus comme dans l'exemple de tableau IV.3 partant sur une prise en charge hospitalière

Etape du processus	Défaillance	Causes	Conséquence	Gravité	Recommandation
Prise en charge du patient	Chute	Sol glissant	Blessure	3	Accompagnement
	Erreur de personne	Erreur secrétariat	Médication erronée	4	Test carte vitale
Lecture de l'ordonnance	Mauvais médicament	Erreur humaine Erreur de saisie Bug informatique	Complications médicales	4	Contrôle par pharmacien
	Mauvaise dose	idem	Médication erronée	3	Idem
	Mauvaise heure de prescription	Idem	Efficacité réduite	2	Idem
Fourniture des médicaments	Mauvais médicament	Erreur d'étiquette	Complications médicales	4	Améliorer le processus qualité

Tableau IV.3: AMDEC Process

IV.4.5. L'exploitation de l'AMDEC :

La méthode AMDEC comporte :

IV.4.5.1. Le livret des points critiques :

L'objectif de l'AMDEC était d'identifier les défaillances et/ou les composants critiques. Lorsqu'on a analysé un système complexe avec des centaines de modes de défaillance, il peut être nécessaire de rassembler dans un document réduit les seuls points qui sont apparus critiques.

Ce document est fréquemment désigné sous le nom de « livret des points critiques ». En pratique, il peut être constitué par une simple compilation des rubriques de l'AMDEC relatives aux points désignés comme critiques [36].

IV.4.5.2. Les colonnes « modification » sur le tableau AMDEC :

Il s'agit d'indiquer directement les modifications envisagées pour les points critiques, puis de procéder à une nouvelle évaluation de la criticité, en intégrant ces modifications, afin de vérifier qu'elles permettraient de rendre non critiques les points qui l'étaient initialement, ou au moins de diminuer leur criticité.

Cette façon de procéder peut amener à considérer que l'AMDEC va jusqu'à la recherche de solutions (voire jusqu'à la re-conception), or il existe une frontière entre l'AMDEC et cette phase ultérieure [36].

IV.4.5.3. L'AMDEC et la (re)conception :

Certaines modifications peuvent vraisemblablement être proposées par les personnes qui ont réalisé l'AMDEC(C) mais il nous paraît logique de considérer que la recherche des solutions s'apparentera souvent à une phase de re-conception.

Même si les personnes qui réalisent l'AMDEC peuvent être aussi les concepteurs, il paraît indispensable de bien positionner l'AMDEC et la conception (ou la re-conception), l'une par rapport à l'autre, en considérant l'AMDEC comme une méthode permettant de valider la conception ou d'identifier les points de conception non satisfaisants, selon le processus itératif décrit par la figure IV.5 [36].

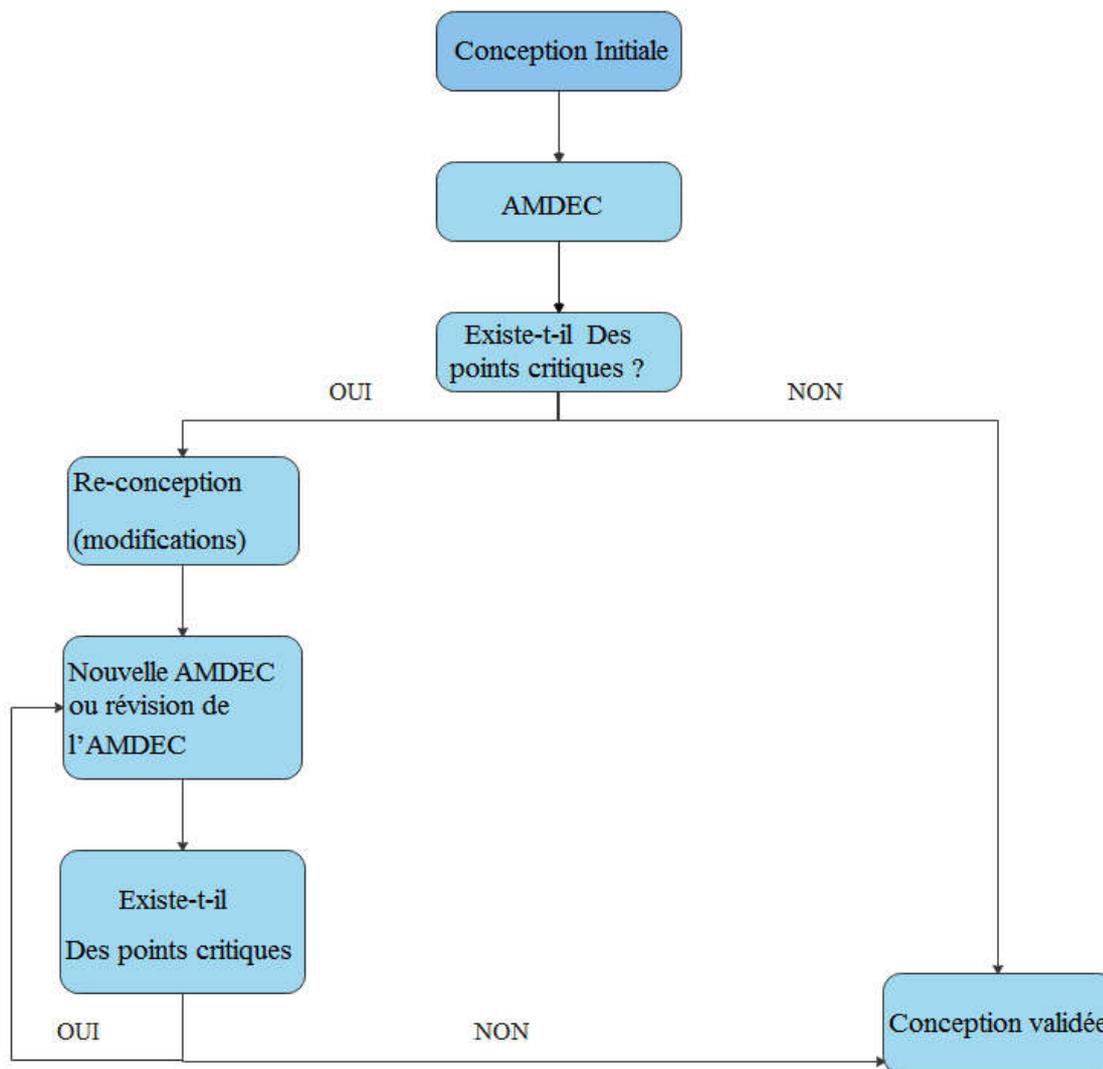


Figure IV.5 : l'AMDEC et la re-conception

IV.4.6. Types de l'AMDEC :

Il existe plusieurs types de la méthode d'analyse :

IV.4.6.1. L'AMDEC organisation :

L'AMDEC s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires, du premier niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système production, le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail [37].

IV.4.6.2. L'AMDEC-Produit :

Elle est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise.

Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation [34].

IV.4.6.3. L'AMDEC-Processus :

Elle est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication.

S'il s'agit d'un nouveau procédé, l'AMDEC-Processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, elle permettra l'amélioration [34]

IV.4.6.4. L'AMDEC moyen :

Permet d'anticiper les risques liés au non-fonctionnement ou fonctionnement anormal d'un équipement, d'une machine [31].

IV.4.6.5. L'AMDEC service :

S'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillance. Les objectifs de l'AMDEC services sont de :

- respecter les contraintes ;
- définir les points critiques ;
- proposer des changements sur le service ou la prestation ;
- optimiser, voire créer les contrôles [36].

IV.4.7. Les avantages d'AMDEC :**a) La satisfaction du client :**

Est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre laquelle personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.

b) Le pilotage de l'amélioration continue :

par la gestion de plan d'action l'élaboration et la gestion de ces plans avec la mise à jour régulières de l'AMDEC un des moyens majeurs de faire vivre l'amélioration continue et de démontrer sa mise en œuvre.

c) La réduction de coûts :

contrairement à ce que certains prétendant l'AMDEC vous aider à réduire les coûts internes d'obtention de la qualité a conditions de travaille aussi, sur les effets internes.

=> Dans le cadre de l'AMDEC procédé sur les réductions des rebuts et de retouches.

Les coûts externes eux aussi seront diminué.

=> Moins de retours garanties, moins de réclamations clients, moins de plaintes Etc.

d) L'optimisation de contrôles :

L'AMDEC vous aide à ne faire des contrôles que sur les points qui le nécessitent .Elle ne vous contraint pas à tout contrôler comme nous le voyons et l'entendons dire trop souvent.

e) L'élimination des causes de défaillances :

C'est un des objectifs majeurs de l'AMDEC qui se traduira par la mise en place de mesures préventives voire par l'élaboration de plans d'actions.

IV.4.8. Les étapes de la méthode AMDEC :

La méthode s'inscrit dans une démarche en huit étapes sont ;

a) Constituer l'équipe de travail :

L'AMDEC s'appuie sur le travail de groupe, la réflexion collective et l'expérience des participants. Il faut donc constituer un groupe de travail dont le choix des participants dépend de leur :

- expérience
- connaissance de la problématique
- niveau de technicité
- faculté à travailler en équipe

Le groupe de travail doit être piloté par un modérateur chargé du suivi des résultats.

Une fois le groupe de travail constitué, présenter la méthodologie qui suivie pour l'analyse [31].

b) L'analyse fonctionnelle :

Le but de l'analyse fonctionnelle est de déterminer d'une manière assez complète (les fonctions principales d'un produit, les fonctions contraintes et les fonctions élémentaires).

- Les fonctions principales : sont les fonctions pour lesquelles le système a été conçu, donc pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.
- Les fonctions contraintes : répondent aux interrelations avec le milieu extérieur.
- Les fonctions élémentaires : assurent les fonctions principales, ce sont les fonctions des différents composants élémentaires du système.

Pour réaliser correctement l'analyse fonctionnelle il faut effectuer trois étapes principales : Définir le besoin à satisfaire. Le principe consiste à décrire le besoin et la façon dont il est satisfait et comment il risque de ne pas être satisfait.

Définir les fonctions qui correspondent au besoin.

Etablir l'arbre fonctionnel afin de visualiser l'analyse fonctionnelle. Très souvent les fonctions principales comportent des sous-fonctions ou résultent d'un ensemble des fonctions élémentaires. D'où le besoin de l'arbre fonctionnel [37].

c) L'étude qualitative des défaillances :

Elle consiste à faire une identification des modes de défaillances, de leurs effets et des causes conduisant au dysfonctionnement d'un élément du système.

Ces trois notions sont liées par la relation suivante : Cause → Mode → Effet [37].

d) L'étude quantitative :**• Acceptabilité, criticité, critères de jugement :**

Une défaillance de « critique » si jugée à travers un ou plusieurs critères, elle nous apparaît inacceptable. La notion d'acceptabilité est une notion relative, elle n'a de sens que dans un contexte donné.

Le jugement que nous pouvons porter sur une défaillance peut être :

Mono critère : dans ce cas, le critère est généralement la gravité des effets de la défaillance

bi-critère : dans ce cas, les deux critères sont généralement la gravité des effets de la défaillance et la probabilité de survenue de cette défaillance

Multi critère : dans ce cas, les critères sont, par exemple, la gravité des effets de la défaillance, la probabilité de survenue de la défaillance, la possibilité de détection de la défaillance ,etc [36].

• Les échelles de jugement :

La criticité ou taux de criticité, est la combinaison de la sévérité d'un effet et de la fréquence de son apparition, ou d'autres attributs d'une défaillance, comme une mesure de la nécessité d'un traitement ou d'une atténuation [39].

L'analyse de la criticité des défaillances a été effectuée à l'aide des grilles proposées par l'outil AMDEC [40].

La criticité C, déduit par le produit des trois indices nominaux F, G et D.

$$C = F * G * D$$

C: Criticité (produit de l'occurrence, la gravité et la détection permettant la prise de décision quant à des actions correctives à mettre en oeuvre).

F : la Fréquence (probabilité qu'un défaut se réalise pour une cause donnée)

G : la Gravité

D : la Détection [41]

e) La hiérarchisation :

La hiérarchisation suivant l'échelle de criticité permet de décider des actions prioritaires. Elle permet de classer les modes de défaillances et d'organiser leur traitement par ordre d'importance [38].

f) La recherche des actions préventives/correctives :

Après le classement des différents modes de défaillances potentielles d'après les indices de criticité, le groupe désigne les responsables de la recherche des actions préventives ou correctives [38]

g) Le suivi des actions prises et la réévaluation de criticité :

Un nouvel indice de criticité est calculé de la même façon que lors de la première évaluation, en prenant en compte les actions prises. Cette valeur du nouvel indice de criticité est parfois appelée risque résiduel et peut être illustrée sous forme du diagramme Pareto.

L'objectif de cette réévaluation est de déterminer l'impact et l'efficacité des actions prises. Le nouvel indice de criticité doit donc être inférieur au seuil de criticité [38].

h) La présentation des résultats :

Pour pouvoir effectuer et appliquer l'AMDEC, des tableaux conçus spécialement pour le système étudié et préparés en fonction des objectifs recherchés. Ces tableaux sont habituellement disposés en forme de colonnes et contiennent, en général, les informations nécessaires pour réaliser l'étude [38].

IV.4.9.LA DEMARCHE AMDEC :

La réalisation d'une AMDEC comprend cinq étapes [42] :

IV.4.9.1.Etape 1: Initialisation :

La phase d'initialisation comprend trois étapes qui sont :

- Définition du système et des objectifs à atteindre
- Constitution du groupe de travail
- Mise au point de supports de l'étude

IV.4.9.1.1.Définition du système et des objectifs à atteindre :

L’AMDEC est un travail systématique et long, peut générer beaucoup de documents et donc devenir inutilisable. On aura donc intérêt à se limiter à des équipements qui posent problème. De même, les objectifs de l’étude seront précisés en termes d’amélioration attendues de disponibilité, de maintenance ou autre.

IV.4.9.1.2.Constitution du groupe de travail :

Le groupe de travail comprend :

- Un représentant du service procédant à l’investissement du moyen de production.
- Le concepteur du moyen étudié.
- L’utilisateur futur du moyen étudié.
- Le mainteneur futur du moyen étudié.
- Un spécialiste (expert d’un sujet traité ponctuellement).
- Les services : qualité, fiabilité, sécurité,...

IV.4.9.1.3.Mise au point de supports de l’étude :

Les méthodes d’évaluations des facteurs (Gravité, Fréquence, Détection, Criticité) seront plus détaillées au moment d’évaluation de la criticité. Une feuille d’analyse AMDEC est à réaliser Selon les sources, il existe plusieurs types de fiches AMDEC :

Analyse Fonctionnelle		Analyse de défaillance				Estimation de criticité				Mesures	
Composant	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effet local	Effet système	Gravité	Occurrence	Non détection	Criticité (indice)	Mesures envisagées	
											No
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Tableau IV.4 : Exemple 1 de feuille d’AMDEC.

ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE							AMDEC				
Système :.....					Phase de fonctionnement;...		Date analyse :.....		Page..		
Sous-système:.....											
N'	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
							F	G	D	C	

Tableau IV.5 : Exemple 2 de feuille d’AMDEC.

IV.4.9.2. Etape 2: Analyse fonctionnelle « AF » :

L'analyse fonctionnelle a pour but d'identifier la fonction de chaque élément étudié pour prévoir les modes de défaillance possibles.

IV.4.9.3. Etape 3 : Analyse des défaillances :

A partir de l'analyse fonctionnelle, la démarche AMDEC consiste en une recherche :

- Des modes de défaillance ;
- Des effets de défaillance ;
- Des causes de défaillance ;
- La criticité de défaillance ;

IV.4.9.3.1. Défaillance :

C'est le résultat d'un non fonctionnement, ou d'un non satisfaction aux spécifications, généré par une pièce ou un ensemble. La défaillance peut être :

- **Complète** : il s'agit de la cessation de la réalisation de la fonction d'un dispositif.
- **Partielle** : il s'agit de l'altération de la réalisation de la fonction d'un dispositif.

IV.4.9.3.2. Cause de défaillance :

C'est l'événement à l'origine du mode de défaillance, la ou les causes sont à rechercher à la conception, la construction, l'installation, l'utilisation et la maintenance de l'équipement.

Remarque : plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance, ainsi une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance.

IV.4.9.3.3. L'effet constaté :

C'est la conséquence de la défaillance sur laquelle on distingue deux types :

- **L'effet global** : c'est la conséquence de défaillance sur la mission du système et sa sécurité.
- **L'effet local** : c'est la conséquence de défaillance au niveau du sous-système étudié.

IV.4.9.3.4. Détection :

Ce sont les symptômes (anomalies, indicateurs,...) observés, détectés qui permettent de repérer assez tôt l'évolution d'un mécanisme défaillant.

IV.4.9.4. Etape 4 : Cotation de criticité :

Les modalités de cette cotation sont à définir lors de la mise au point des supports de l'étude, en fonction de l'étude et des objectifs. L'indice de criticité C, aussi appelé nombre de priorité de risque (NPR) ou encore Indice de Priorité de Risque (IPR), est le résultat du produit de La fréquence, de la détection et de la gravité qui caractérise le niveau de fiabilité du système analysé $C = G * F * D$

IV.4.9.4.1. L'indice F :

Relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance, cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. La fréquence F allant de 1 jusqu'à 4 (**Tableau .IV.6**) [43]

Niveau de fréquence : F		Définition des niveaux
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par année
Fréquence faible	2	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par semaine
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente: plusieurs défaillances par semaine

Tableau IV.6 : Grille de cotation de la fréquence.

IV.4.9.4.2.L'indice D :

Relatif à la possibilité de détecter la défaillance (le couple : Mode-Cause de défaillance) avant qu'elle ne produise l'effet. La détection D est évaluée de 1 pour une défaillance détectable, à 4 pour une défaillance indétectable (**Tableau IV.7**)

Niveau de détection D		Définitions
Détection évidente	1	Défaillance détectable à 100 % : -Détection à coup sûr de la cause de la défaillance. - Signe avant coureur évidant d'une dégradation.
Détection possible	2	Défaillance détectable: -Signe avant coureur de la défaillance facilement détectable mais nécessitant une action particulière de l'opérateur (visite, contrôle possible visuel,.).
Détection improbable	3	Défaillance détectable: -Signe avant coureur de la défaillance difficilement détectable, peu exploitable au nécessitant une action au des moyens complexe (démontage, appareillage,.).
Détection impossible	4	Défaillance détectable: -Aucun signe avant coureur de la défaillance.

Tableau IV.7: Grille de cotation de la probabilité de non détection .

IV.4.9.4.3.L'indice G :

Relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance en termes de

- Qualité des pièces produites.
- Sécurité des hommes ou des biens.
- Temps d'intervention qui correspond au temps actif de maintenance corrective (diagnostic+réparation ou échange+remise en service).

La gravité G est le plus souvent cotée de 1 jusqu'à 5 (Tableau .IV.8)

Niveau de gravité : G		Définition des niveaux
Gravité mineure	1	Défaillance mineure : -arrêt de production inférieur à 2 mn, -aucune dégradation notable du matériel
Gravité significative	2	Défaillance significative : -arrêt de production de 2 à 20 mn,ou repos possible d'intervention -remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire. -Déclassement du produit.
Gravité moyenne	3	Défaillance moyenne : -arrêt de production de 20 mn à 1 heure, -changement du matériel défectueux nécessaire. -Retouche du produit nécessaire ou rebat (non qualité a la production
Gravité majeure	4	Défaillance majeure : -arrêt de production de 1 à 2 heures, -intervention importante sur sous ensemble, -production de pièces non conformes non détectées.
Gravité catastrophique	5	Défaillance catastrophique : -arrêt de production supérieur à 2 heures, -intervention nécessitent des moyens coûteux. -problème de sécurité du personnel ou l'environnement

Tableau IV.8: Grille de cotation de la gravité

IV.4.9.5.Etape 5 : Actions menées :

Les actions menées consistent à :

- Classer les problèmes rencontrés ;
- Proposer l'amélioration ;
- Calcul de la nouvelle criticité [43];

IV.4.9.5.1.Classement des problèmes rencontrés :

Les actions menées sont décidées par le groupe de travail pour pouvoir éliminer tous points critiques. À partir de la valeur de la criticité, on peut classer les problèmes par ordre décroissant et les répartir en différentes classes (Tableau IV.9).

Valeur de la criticité	Politique de la maintenance
$C < 16$	Mise sous correctif.
$16 \leq C < 32$	Mise sous préventif à la fréquence faible.
$32 \leq C < 36$	Mise sous préventif à la fréquence élevée.
$36 \leq C < 48$	Recherche d'amélioration.
$48 \leq C < 64$	Reprendre la conception.

Tableau IV.9: Tableau de la criticité

IV.5. Cas d'application :

Notre cas d'application est une voiture électrique nous Commençons par l'essentiel, à savoir les grands éléments qui composent le système de traction d'une voiture électrique :

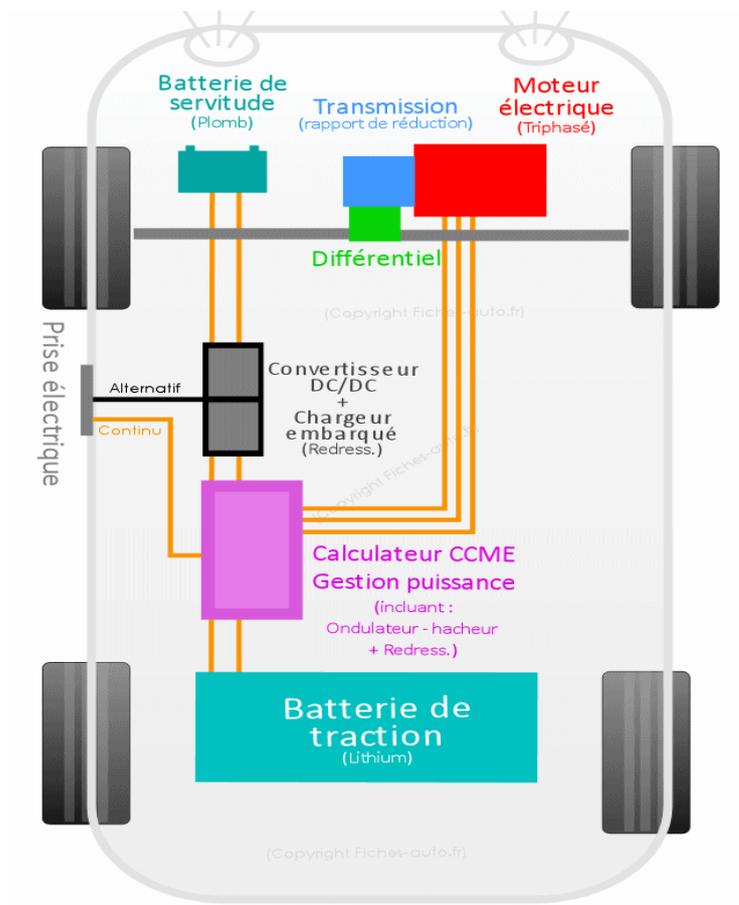


Figure IV.6 : système de traction d'une voiture électrique:

IV.5.1. Convertisseur DC/DC :

Il sert à convertir la haute tension (330V) de la batterie Lithium ion pour la batterie de servitude au plomb (12V). Donc $330V \gg 12V$

IV.5.2. Chargeur embarqué / redresseur :

Il transforme le courant alternatif en provenance de la prise vers un courant continu destiné à la batterie de puissance.

IV.5.3. Calculateur / Ondulateur / redresseur :

C'est le calculateur de puissance et gère beaucoup de choses ... Il contrôle les flux d'énergie grâce aux nombreux capteurs qu'il dispose. Par exemple, quand j'accélère j'appuie sur un capteur (la pédale) dénommé potentiomètre (c'est la même chose sur les voitures thermiques modernes), le calculateur gère alors le flux d'énergie à envoyer vers le moteur selon mon "degré d'accélération". Idem quand je relâche la pédale, il va gérer la récupération d'énergie en envoyant le jus généré par le moteur électrique (réversible donc) vers la batterie tout en modulant le débit électrique.

IV.5.4. Fiabilité :

La fiabilité d'un système est son aptitude à ne pas connaître de défaillance. Une meilleure fiabilité réduit les aléas de fonctionnement. La fonction MTBF (Mean time between failure) est l'indice de référence pour évaluer la fiabilité. Dans la réalité, les choses sont beaucoup moins simples. En effet, il faudrait disposer de l'inventaire complet des défaillances, autrement dit, que tous les temps de fonctionnement soient représentatifs de la population. Cela ne peut pas être le cas à cause de la complexité des équipements. Un système connaît trois périodes (jeunesse, maturité, vieillissement) et peut avoir des modifications, des transformations, des remises à neuf...etc.

En plus, à l'instant de l'évaluation de la fiabilité d'un système, bien que son comportement global soit connu, il est impossible d'estimer à l'avance et avec certitude la phase de sa vie.

- La mesure de la fiabilité est donc une estimation moins simple.
- La difficulté sera encore plus grande dans le cas de l'évaluation de la disponibilité.

IV.5.4.1. Batterie :

Les batteries sont constituées de solutions chimiques qui peuvent absorber et rendre des électrons. Les électrons sont la matérialisation de l'électricité et constituent "l'épiderme" des atomes (il y a différentes couches d'électrons gravitant autour de ces derniers, quand il y en a plusieurs évidemment).

A force d'enchaîner les cycles recharge / décharge, la solution perd de plus en plus ses propriétés. On constate toutefois que les batteries semblent pour le moment très bien tenir la durée avec par exemple Tesla qui annonce 80% de capacités après 500 000 miles (soit près de 800 000 km quand même).

Notez aussi que la manière d'utiliser la batterie aura une incidence (ce sont surtout les premiers cycles de charge qui peuvent être néfastes si mal effectués). Il est par exemple conseillé de ne jamais totalement décharger sa batterie avec comme repère les 10% de charge : en dessous les batteries le vivraient assez mal et pourraient même dans la foulée perdre en capacité (jusqu'à 20% de perte). L'idée qu'il est bon de recharger une fois la batterie vide est une fausse information.

Soyons clairs, la batterie représente le problème potentiel numéro un. Ce serait d'ailleurs l'un des premiers problèmes sur les Tesla comme l'indique



Figure IV.7 : VE et leur Batterie

IV.5.4.2. Moteur électrique :

IV.5.4.2.1. Défaut de bobine:



Figure IV.8: Bobine

Si la bobine du moteur électrique voit un des fils de cuivre céder ou fondre, il peut y avoir un court circuit qui anéantira la possibilité de faire passer le courant normalement dans cette fameuse bobine. L'aimant ne tournera plus et donc le moteur ne fonctionne plus ... Une mauvaise gestion de la puissance par le boîtier dédié peut mener à des surtensions qui feront fondre des fils par effet joule.



Figure IV.9 :La bobine du moteur électrique

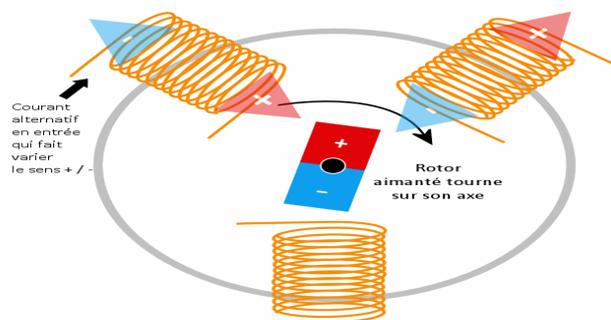


Figure IV.10: Moteur électrique

Au centre il s'agit en réalité d'un électro-aimant, une "chose" qui devient un aimant quand on l'alimente en courant (identique à un aimant permanent dans le principe donc, sauf qu'il faut l'alimenter). Donc ce dernier, l'électro-aimant, peut aussi avoir un souci de bobinage.

IV.5.4.2.2. Synchrones / asynchrones :

Les versions synchrones sont plus efficaces mais moins résistantes dans le temps, et ce sont donc les asynchrones qui sont privilégiés dans l'automobile électrique ... C'est une chose qu'il fallait savoir.

IV.5.4.2.3. Défaut de charbons / balais (anciens moteurs) :

Les voitures électriques des années 90 (qui fonctionnaient aux batteries au plomb et avec un courant continu) employaient des moteurs électriques dotés de charbon (comme sur votre démarreur). Ces derniers pouvaient alors s'encrasser à cause des arcs électriques générés (qui produisent une suie liée à la chaleur des arcs). Ce n'est désormais plus le cas sur les versions modernes.

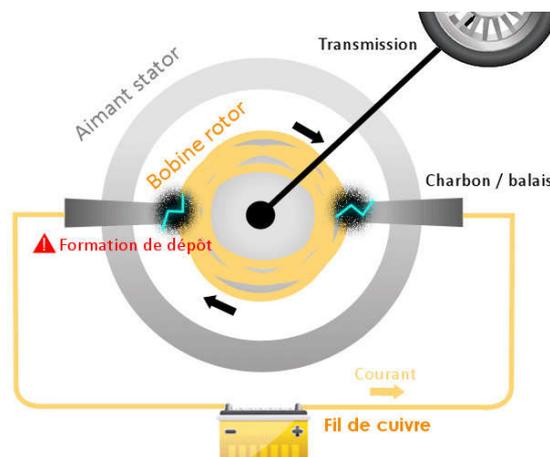


Figure IV.11 : Charbons / balais

IV.5.4.3 .Calculateur (CCME) :

Ce dernier a la tâche de gérer la puissance distribuée vers le moteur électrique, et dans le cas de la régénération d'énergie ou de la recharge de gérer la puissance envoyée vers la batterie. Si ce dernier a un souci, il pourra alors mal gérer la puissance, ce qui pourra donner lieu à l'endommagement du moteur ou de la batterie.

On l'appelle CCME pour Calculateur Contrôle Machine Electrique et se charge de beaucoup de choses, notamment de redresser et onduler le courant entre les différents organes qui fonctionnent soit en continu soit en alternatif.



Figure IV.12: Calculateur (CCME)

IV.5.4.4.Redresseur et onduleur :

Destinés à convertir le courant continu en alternatif et vice versa. Le redresseur (il redresse le courant) transforme le courant alternatif en continu et l'onduleur fait l'inverse (il "l'ondule" puisqu'il devient alternatif).

IV.5.4.5.Faisceaux :

Une surchauffe au niveau des faisceaux (qui transportent beaucoup d'énergie / d'électrons dans le cas d'une voiture électrique) peut provoquer une fonte par effet joule.

IV.5.4.6.Transmission :

Un réducteur est là pour éviter que les roues ne tournent pas exactement à la même vitesse que le moteur électrique (pour des questions d'optimisation), il peut rompre. Normalement c'est improbable (vous connaissez beaucoup de gens qui ont des soucis de différentiel ? Car c'est assez similaire dans le fonctionnement. En réalité c'est comme une boîte à 1 rapport) mais comme j'ai vu le cas d'une personne sur Renault Zoe qui a connu ce problème je me dois de le citer : le moteur électrique mal fixé aurait eu un peu de jeu. Ce jeu a eu raison de de l'usure des pignons

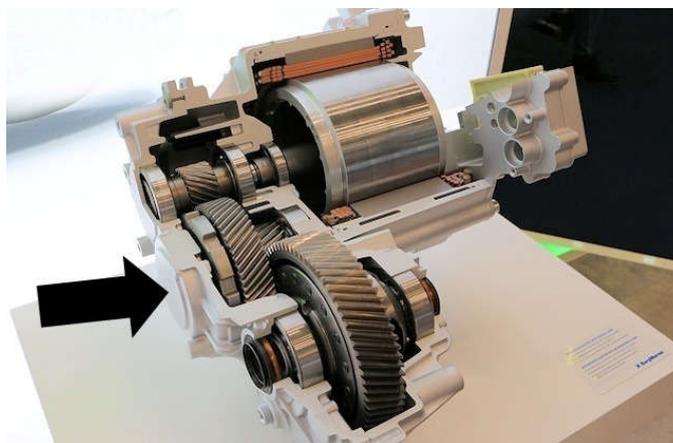


Figure IV.13 : Une boîte de vitesse

IV.5.5. Analyse du plan de maintenance actuel de la VE :

Après avoir défini les différents types de maintenance, il est impératif avant de se lancer dans l'analyse de l'AMDEC d'étudier celle adoptée actuellement par le service maintenance, Pour cette partie nous nous sommes basés sur les banques des données pour ce type de système. Ces données sont résumées dans le tableau IV-10:

Plan de maintenance	Corrective	Conditionnelle	Amélioration	Systematique	Total (heures)
Temps %	90,11%	7,58%	0,22%	2,09%	100%

Tableau IV-10: Types de maintenance de la VE

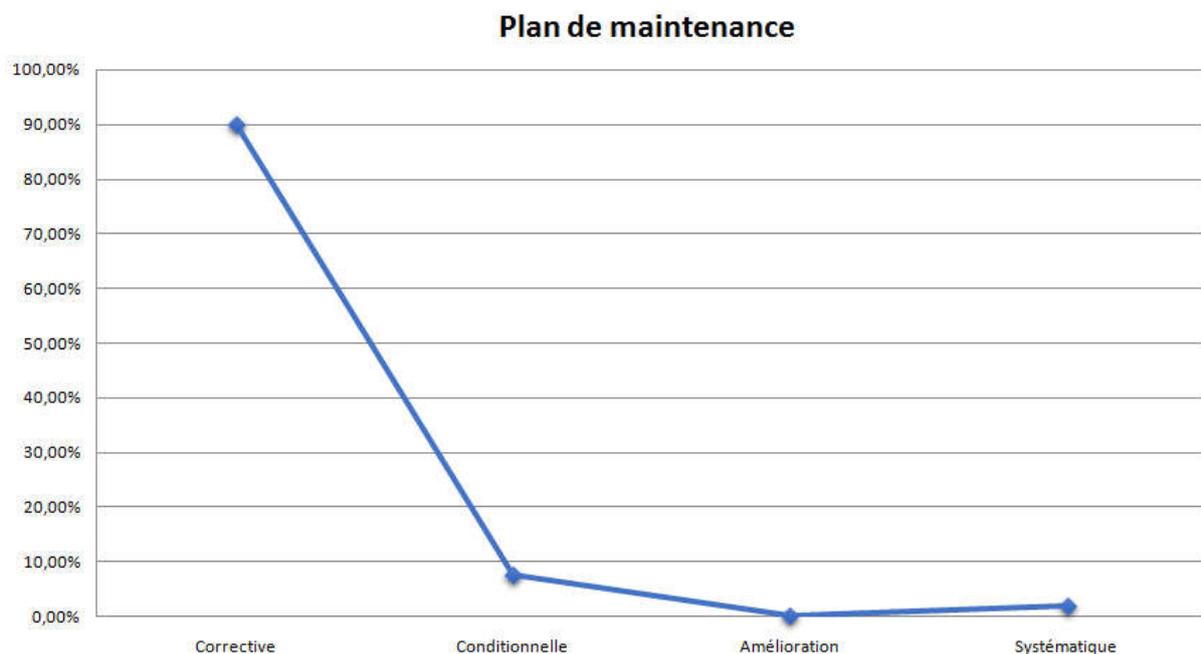


Figure IV-14: Plan de maintenance de la VE.

Nous remarquons de la figure IV-14 que la majorité des interventions de la maintenance sont correctives.

Vu le pourcentage élevé des heures de panne, nous concluons que la majorité des interventions de la maintenance du cas d'application est la maintenance correctives. Donc on va chercher les causes de ses pannes.

IV.5.5.1. l'AMDEC : (Aspect technique ou interne)

Pour analyser les défaillances d'un système il est nécessaire de bien identifier à quoi doit servir ce système; c'est-à-dire de bien identifier toutes les fonctions que ce système doit remplir durant sa durée de fonctionnement.

L'AMDEC a été développée précédemment (chapitre III).

IV.5.6. Analyse de la VE par la méthode AMDEC :

Pour pouvoir connaître les pannes les plus critique et pénalisation de notre système, nous avant mené une étude quantitative par la méthode AMDEC.

A la fin de cette analyse nous aurons une image sur l'ensemble des pannes et défauts ce qui nous permet de concentrer sur les panes critiques. Le tableau suivant résumé notre étude.

Elément	Fonction	Modèle défaillance	Cause delà défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	
Batterie de servitude	Transmettre le courant	Ne charge plus	Usure cause Cycles de recharge	Péret de l'allumage électrique a bord	Pas de lumière	1	2	4	8	Remplacement de la BT
Batterie d'attraction HT/400V	Transmettre le courant au moteur d'attraction	Ne charge plus	Usure cause Cycles de recharge	Arrêt du véhicule	Pas d'attraction	1	3	4	12	Remplacement de la BT
Circuit de recharge	Assure la liaison entre la batteries et le chargeur	Absence de la continuité électrique	Usure des câbles électriques	Pas d'allumage a bord	Visuel	1	1	1	1	Remplacement du câblage électrique
Convertisseur, Onduleur DC/DC	Assure la liaison entre la batteries et le chargeur	Vieillessement des composants électrique	Réchauffement thermique	Pas de recharge sur la BT de servitude	Echauffement ou sans	1	1	3	3	Remplacement de la carte électronique
Chargeur redresseur AC/DC	Recharge la BT d'attraction	Vieillessement des composants électrique.	Réchauffement thermique	Pas de recharge sur la BT d'attraction	Echauffement ou sans	1	1	3	3	Remplacement de la carte électronique
Moteur Electrique	Source de la puissance du véhicule	Mauvaise attraction	Arrêt du véhicule	Usure Charbons du rotor	Moteur ne tourne plus	1	4	3	12	Changement des charbons
Groupe de transmission	Liaison entre le moteur et les roues	Désalignement	Mauvaise attraction et avec bruit	Boulons desserrés	L'organe récepteur ne tourne pas	1	4	2	8	Contrôle périodique
Calculateur Moteur	Gère électroniquement le moteur/l'allumage et la sécurité	Mauvaifonctionnement du moteur	le vehicule ne demare pas	Réchauffement thermique	Pas d'allumage	1	4	3	12	Remplacement du Calculateur
Pompe de freins	Permet la distribution d'huile vers le cylindre de frein	Fuite, ou frein ne fonctionne pas	Arrêt de fonctionnement des freins	Perte d'huile, Durite abimée	Visuelle	1	1	1	1	Contrôle périodique
Capteur de pression pneumatique	Mesure la pression des pneus	Surconsommation énergétique	Perte de la performance	Usure et température	Visuelle	1	4	2	8	Remplacement
Capteur de pédale d'accélérateur	Détecte la position de pedale	Anomalie; vitesse moteur	Perte de la performance	Usure et temperature	Instrument	1	4	3	12	Remplacement

Tableau IV. 11: AMDEC du cas d'application .

Par simulation on trouve les résultats suivants :

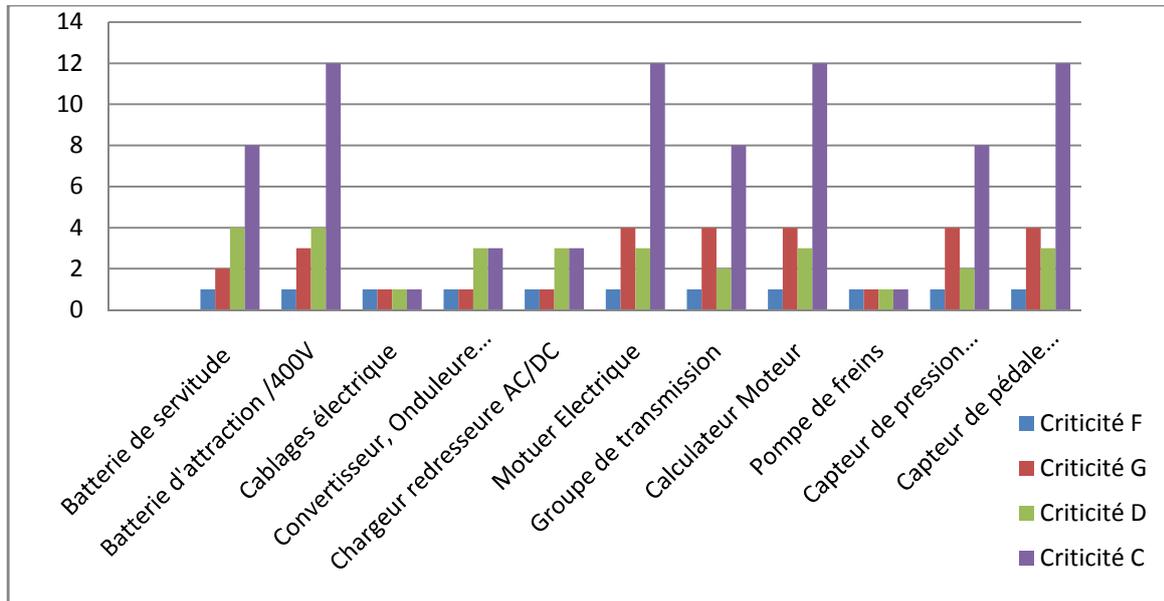


Figure IV.15: Histogramme d'AMDEC.

D'après le résultat obtenu du tableau de l'AMDEC, on trouve que (voir Figure IV.15) :

- Batterie d'attraction HT/400V
- Moteur Electrique
- Calculateur Moteur
- Capteur de pédale d'accélérateur

Ont la criticité la plus élevé, donc à partir des résultats trouvé auparavant, on construit l'arbre de défaillance réduite suivante :

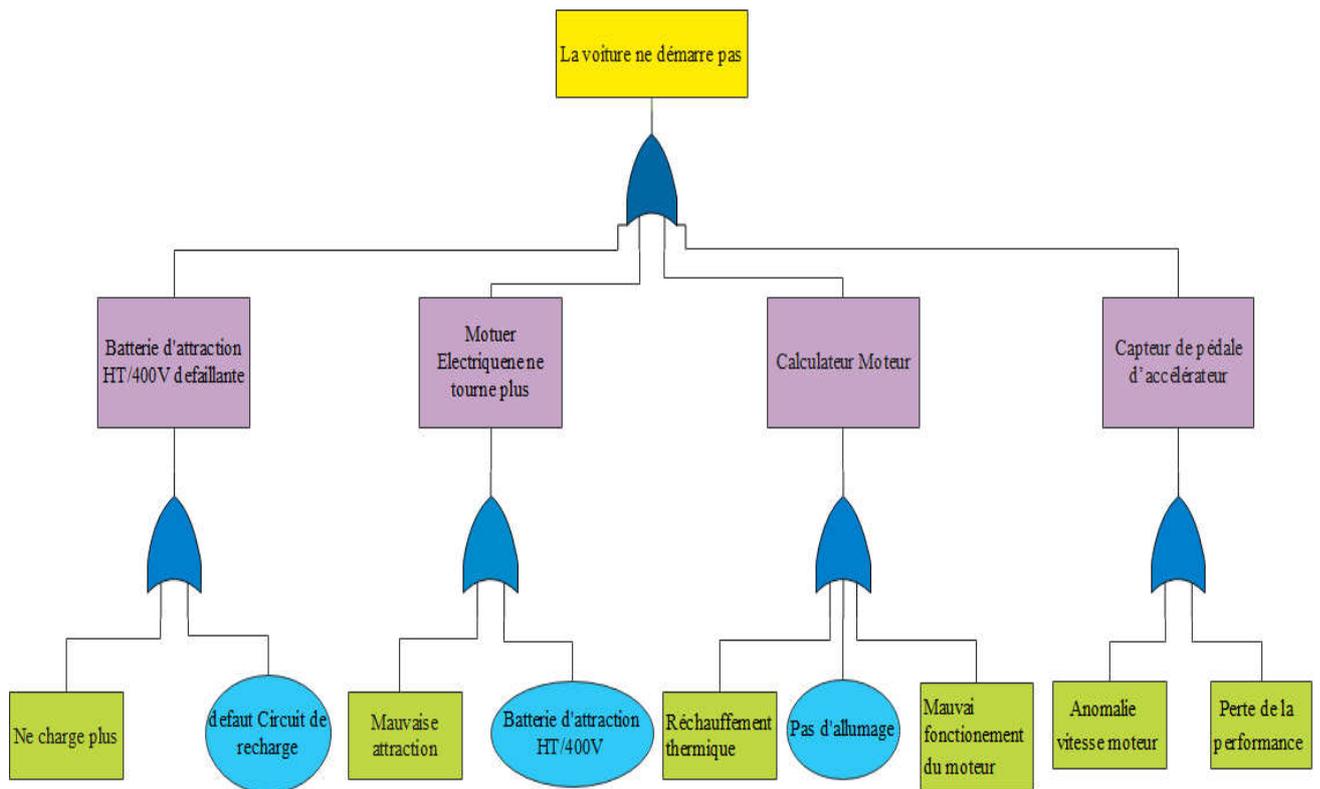


Figure IV.16. Réduction de l'Arbre de défaillance.

Donc si la batterie d'attraction est défaillante et avec une connaissance sur la nature de la défaillance des autres composants du système, il est possible d'utiliser la notion d'arbres de défaillances et les outils associés pour gérer la performance de chaque composant ainsi que l'efficacité du système (VE).

Par simulation avec une durée de vie 50000 h ; on trouve les résultats ci-dessous :

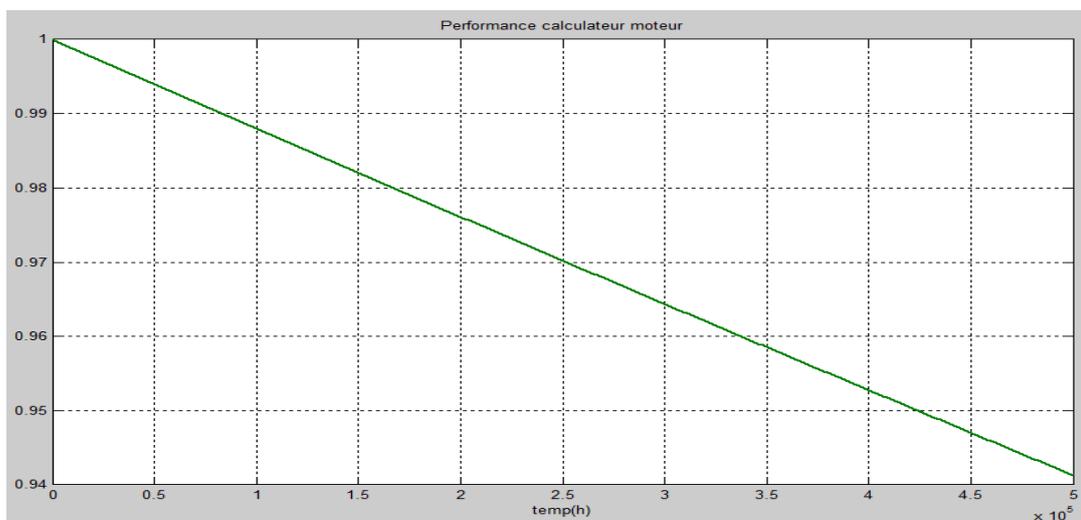


Figure IV.17 : Performance calculateur moteur.

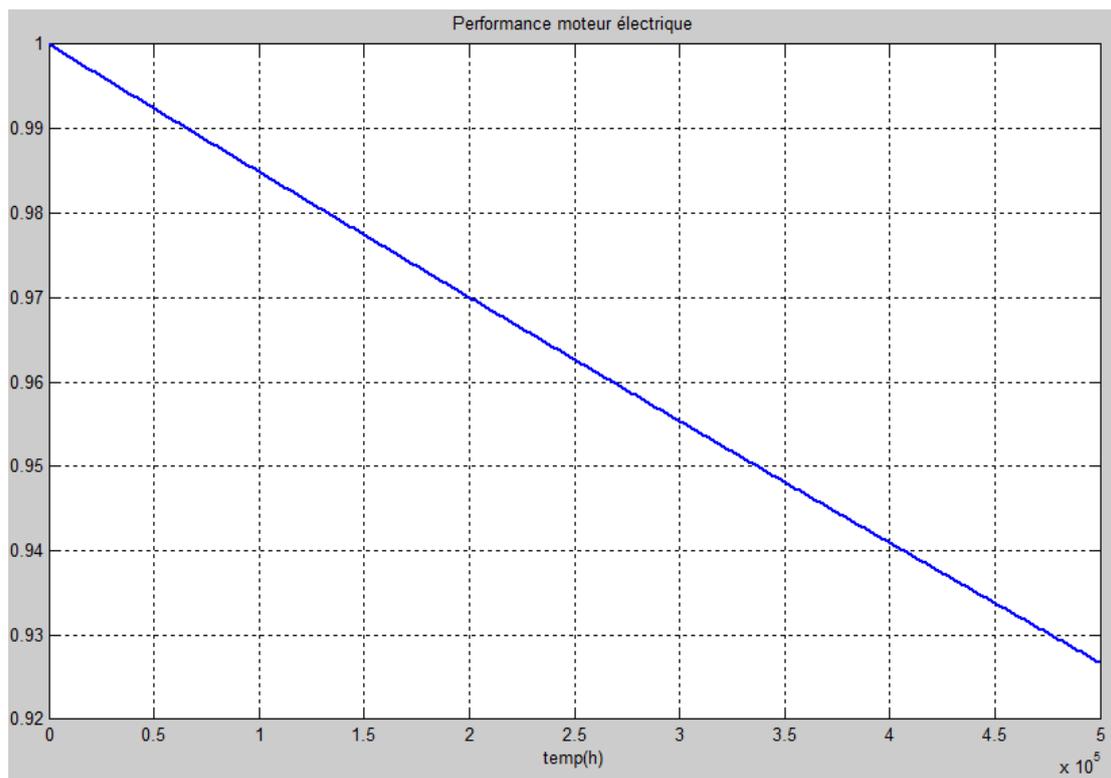


Figure IV.18 : Performance moteur électrique.

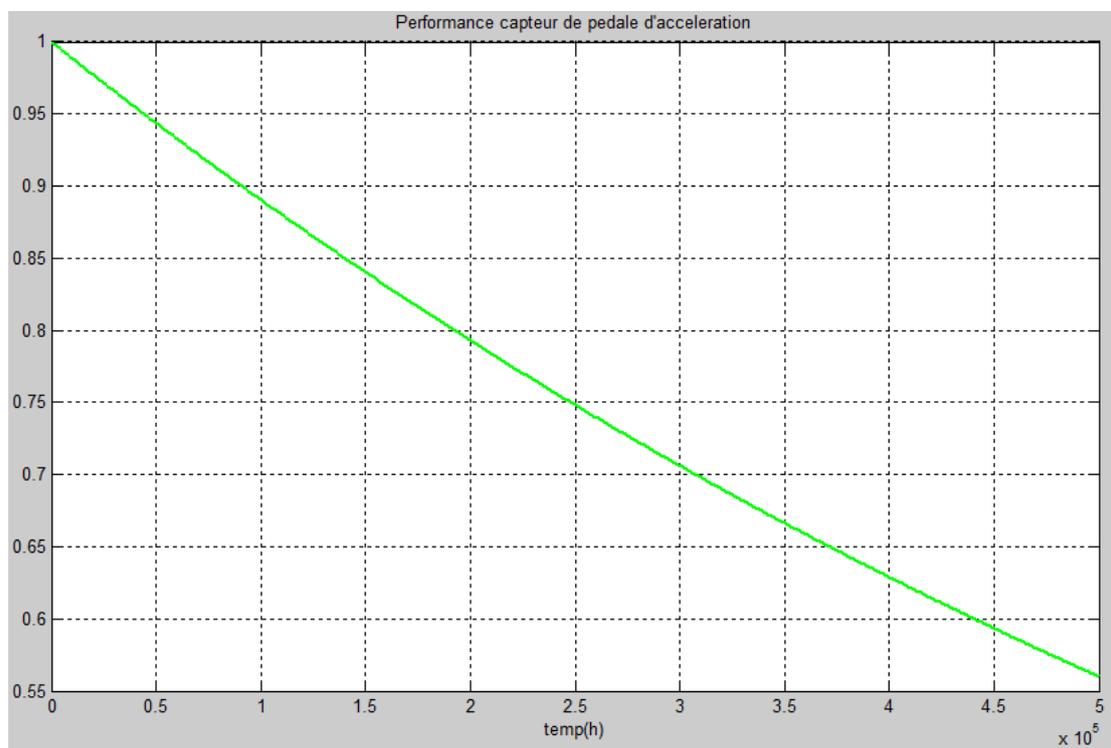


Figure IV.19 : Performance capteur de pédale d'accélération.

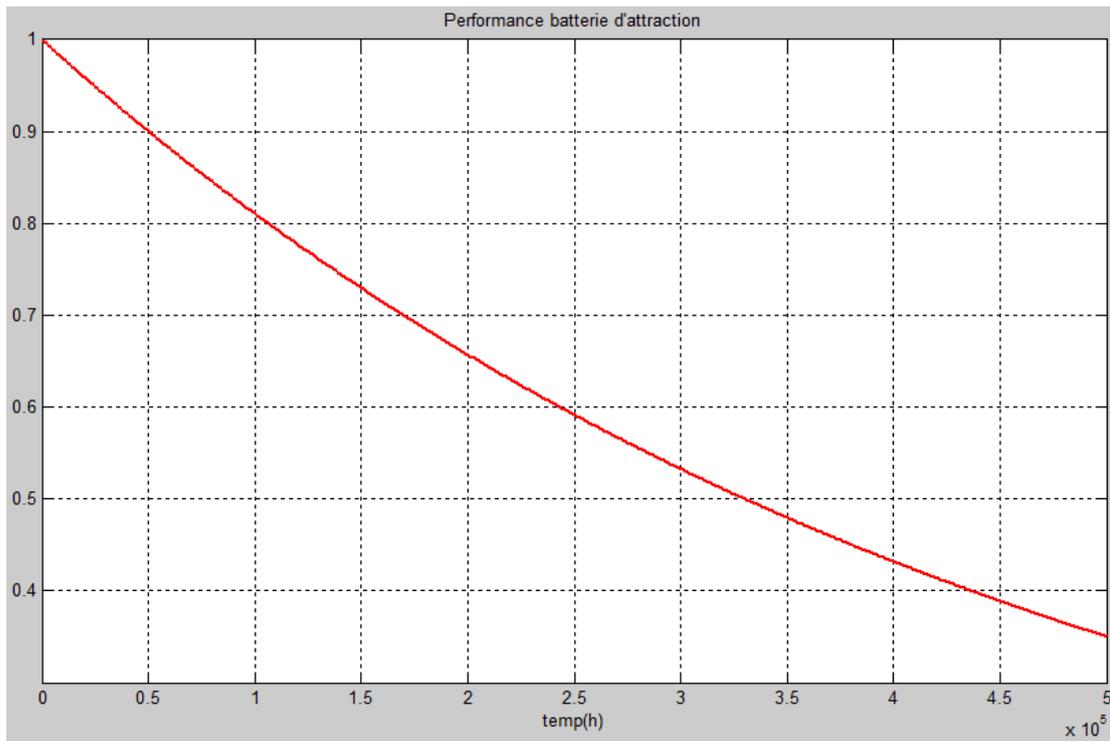


Figure IV.20 : Performance batterie d'attraction.

D'après la simulation, on remarque bien que le calculateur moteur et le moteur électrique sont plus performants que le capteur de pédale d'accélération et la batterie d'attraction.

Donc on remarque bien que la performance du système se dégrade à cause de la dégradation de la batterie d'attraction (voir figure ci-dessous **Figure IV.21**).

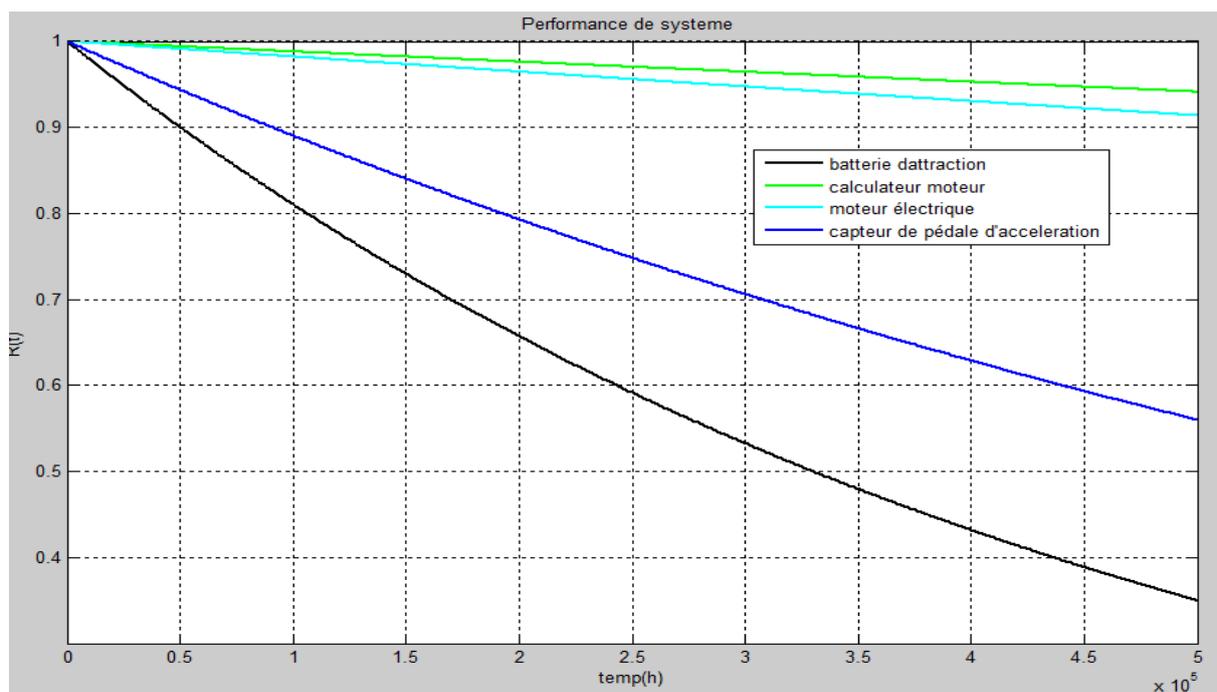


Figure IV.21 : Performance de système.

La figure IV.21 montre que les anomalies de la défaillance de la batterie d'attraction conduisent à des pertes d'efficacité des autres composants (le moteur électrique, le calculateur moteur et le capteur de pédale d'accélération) du système grâce à la défaillance de la batterie d'attraction.

IV.6.Conclusion :

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la performance d'une voiture électrique, vue leur influence directe sur le bon déroulement des tâches. Dans ce travail, nous avons analysé les modes de défaillances et les classés suivant leur criticité par la méthode AMDEC; cette analyse a mis en évidence un nombre très important de modes / causes de défaillance cela simplifier la construction de l'arbre de défaillance pour étudier les performances des composants du système et montre que les anomalies de la défaillance des composants conduisent à des pertes de performance du système grâce à la défaillance de la batterie d'attraction.

Conclusion générale :

Dans le contexte énergétique actuel (pénurie et pollution des énergies fossiles), l'automobile occupe l'univers quotidien de notre société. En effet, les pollutions sonores et par gaz à effet de serre ainsi qu'une consommation de carburant en constante augmentation, impliquent de plus en plus cet objet de consommation au cœur des débats autour de l'énergie. Le véhicule électrique (VE) est l'une des solutions préconisées, par les constructeurs automobiles et les organismes de recherche, pour remplacer peu à peu les véhicules classiques notamment dans les centres villes. Le devenir de l'automobile dans les prochaines années est donc un sujet de recherche d'actualité. Ces dernières années, ce sont la recherche d'une meilleure qualité de vie, les contraintes environnementales et économiques ainsi que l'économie de l'énergie qui constituent les facteurs essentiels de l'intérêt que suscite le développement du véhicule électrique. La réussite dans ce domaine proviendra d'un subtil mélange entre une vision scientifique de haut niveau et une maîtrise de la technologie. Dans cette combinatoire, l'électricité jouera un rôle fondamental et contribuera à atteindre les nouveaux objectifs de l'automobile en termes d'économie d'énergie et d'environnement.

Avec la prise de conscience de la limitation des réserves de pétrole et de l'enchérissement structurel de cette source d'énergie, ainsi que de la problématique des émissions de CO₂ et du changement climatique, les voitures électriques mue par la fée électricité est très présente, en particulier en France. Cette voiture virtuellement propre, indépendante du pétrole et silencieuse a de nombreux atouts pour séduire. C'est pourquoi la maintenance est une préoccupation des constructeurs et utilisateurs.

L'exposé théorique des méthodes de maintenance, nous a permis, d'appliquer la méthode AMDEC pour classer et hiérarchiser les défaillances selon certains critères (occurrence, détection, gravité). Les résultats de cette analyse sont les actions prioritaires propres à diminuer significativement les risques de défaillances potentielles. Cette dernière, nous a permet de sélectionner les éléments les plus critiques qui causes les pannes possible de la voiture électrique ainsi de construire l'arbre de défaillance pour analyser et étudier les performances des composant du système et d'augmenter l'efficacité du ce type de système.

Résumé :

Avec la prise de conscience de la limitation des réserves de pétrole et de l'enchérissement structurel de cette source d'énergie, ainsi que de la problématique des émissions de CO₂ et du changement climatique, les voitures sobres en carbone sont l'objet d'un fort engouement depuis quelques années.

Parmi ce type de véhicule, la voiture électrique mue par la fée électricité est très présente, en particulier en France. Cette voiture virtuellement propre, indépendante du pétrole et silencieuse a de nombreux atouts pour séduire. C'est pourquoi la sûreté de fonctionnement et la maintenance est une préoccupation des constructeurs et utilisateurs.

La conséquence est que l'évaluation de la sûreté de fonctionnement du système est dépendante de l'évaluation fonctionnelle et devient impossible avec les méthodes traditionnelles de la sûreté de fonctionnement et la maintenance. Pour surmonter ces difficultés, une approche hybride basée sur la méthode AMDEC et arbre de défaillance sont largement connus dans la maintenance et l'analyse des systèmes ainsi que dans les études de la sûreté de fonctionnement. Dans un premier temps, nous avons classé et hiérarchiser les défaillances selon certains critères (occurrence, détection, gravité). Cette dernière, nous a permet de sélectionner les éléments les plus critiques qui causes les pannes possible de la voiture électrique. Les résultats de cette analyse sont les actions prioritaires propres à diminuer la taille de l'arbre de défaillance du système étudié, cela simplifier l'analyse et l'étude des performances des composants du système et d'augmenter l'efficacité du système complet.

Mot-clé :

Voiture électrique, performance des calculateurs, maintenance, sûreté de fonctionnement, AMDEC, arbre de défaillance.

Abstract :

With the awareness of the limitation of oil reserves and the structural increase in the cost of this energy source, as well as the problem of CO2 emissions and climate change, low-carbon cars are the object of a strong craze for several years.

Among this type of vehicle, the electric car driven by the electricity fairy is very present, especially in France. This virtually clean, petroleum-independent and silent car has a lot going for it. This is why operational safety and maintenance is a concern of manufacturers and users.

The consequence is that the evaluation of the dependability of the system is dependent on the functional evaluation and becomes impossible with the traditional methods of the dependability and maintenance. To overcome these difficulties, a hybrid approach based on the FMEA and fault tree method is widely known in the maintenance and analysis of systems as well as in dependability studies. First, we classified and ranked the failures according to certain criteria (occurrence, detection, severity). The latter, allowed us to select the most critical elements that cause possible breakdowns of the electric car. The results of this analysis are the priority actions to decrease the size of the fault tree of the studied system, this simplify the analysis and study of the performance of the components of the system and to increase the efficiency of the entire system.

Key-word :

Electric car, performance of ECUs, maintenance, operational safety, FMEA, fault tree.

ملخص :

مع إدراك محدودية احتياطات النفط والزيادة الهيكلية في تكلفة مصدر الطاقة هذا ، بالإضافة إلى مشكلة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتغير المناخ ، فإن السيارات منخفضة الكربون هي هدف جنون قوي لعدة سنوات.

من بين هذا النوع من السيارات ، السيارة الكهربائية التي يقودها جنبة الكهرباء حاضرة للغاية ، خاصة في فرنسا. هذه السيارة الصامتة والنظيفة تقريبًا ، والمستقلة عن البنزين ، لديها الكثير مما تفعله. هذا هو السبب في أن السلامة التشغيلية والصيانة هي مصدر قلق للمصنعين والمستخدمين.

والنتيجة هي أن تقييم اعتمادية النظام يعتمد على التقييم الوظيفي ويصبح مستحيلًا مع الأساليب التقليدية للاعتمادية والصيانة. للتغلب على هذه الصعوبات ، فإن النهج الهجين القائم على AMDEC وطريقة شجرة الأخطاء معروف على نطاق واسع في صيانة وتحليل الأنظمة وكذلك في دراسات الاعتمادية. أولاً ، قمنا بتصنيف حالات الفشل وترتيبها وفقاً لمعايير معينة (الحدوث ، والكشف ، والخطورة). هذا الأخير ، سمح لنا باختيار العناصر الأكثر أهمية التي تسبب أعطال محتملة للسيارة الكهربائية. نتائج هذا التحليل هي الإجراءات ذات الأولوية لتقليل حجم شجرة خطأ النظام المدروس ، مما يبسط تحليل ودراسة أداء مكونات النظام ويزيد من كفاءة النظام بأكمله.

كلمة مفتاحية :

السيارة الكهربائية ، أداء وحدات التحكم الإلكترونية ، الصيانة ، سلامة التشغيل ، AMDEC ، شجرة الأعطال

Bibliographie :

- [1] Amin Benkhelifa, «Les systèmes embarqués dans l'automobile», mémoire de bachelor: haute école de gestion de Genève, 2018.
- [2] A.Barreteau, et R. Lebreton. "Moniteurs matériels pour la sécurité des systèmes embarqués".l'université Bretagne-Sud de Lorient, France, 2007.
- [3] www-igm.univ-mlv.fr
- [4] Tayari. Lassaad, «cours- systèmes-embarques», 2015.
- [5] MESSOLHI.NAIMA, «Vérification de code pour systèmes Embarqués », mémoire de magister, université 8 mai 45 Guelma, 2010.
- [6] Lakhdari. Faouzi, «Une approche basée automate cellulaire pour optimiser les performances dans les systèmes embarqués temps réel»,mémoire de master, Université L'arbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi, 2014.
- [7] Mahé (Thierry). – L'automobile préfère le bus. Industries et techniques, vol. 747, Mars 1994, pp. 70–7
- [8] <https://entretien-voiture.ooreka.fr>
- [9] www.techniconnexion.com
- [10] H. Benariba , Contribution à la commande d'un véhicule électrique , Thèse de doctorat , Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen , Décembre 2018
- [11] www.les-energies-renouvelables.eu
- [12] <https://www.bluecorner.be/fr/>
- [13] <http://www.fiches-auto.fr/>
- [14] <https://www.automobile-propre.com/>
- [15] <https://www.caa.ca/fr/>
- [16] [S. Butterbach, Stockage d'énergie électrique par association de batteries au plomb et de supercondensateurs pour véhicule lourd, Thèse de doctorat, Université de technologie de Compiègne, septembre 2012.].
- [17] [W. Lajnef, Modélisation des supercondensateurs et évaluation de leur vieillissement en cyclage actif à forts niveaux de courant pour des applications véhicules électriques et hybrides, Thèse de doctorat, L'université Bordeaux 1, Décembre 2006.].

[18] [S. Zaouzaou, S. Meziani , Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique , Mémoire de Master , Université Abderrahmane Mira de Bejaia , 2017.].

[19] <http://lavoiturehybride.e-monsite.com/>

[20] D. Benoudjit, Contribution a l'optimisation et a la commande d'un système de propulsion pour véhicule électrique, Mémoire de magister, Université de Batna, Thèse de doctorat, Janvier 2010.].

[21]. A.Daanoune, Contribution à l'Etude et à l'Optimisation d'une Machine Synchrone à Double Excitation pour Véhicules Hybrides, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, Décembre ,2012.

[22]. Anatoly Lisnianski, Ilia Frenkel, Yi Ding, (2007) « Multi-state System Reliability Analysis and Optimization for Engineers and Industrial Managers ».

[23]. Y. MORTUREUX « La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques », Techniques de l'Ingénieur, AG 4 670, (2002)

[24]. A. VILLEMEUR, « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ». Éd. Eyrolles EDF, Collection de la Direction des Études et Recherches d'Electricité de France, (1997)

[25]. J.C. LAPRIE « Guide de la sûreté de fonctionnement », Toulouse, (1995).

[26]. A. MKHIDA « Cours de sûreté de fonctionnement », ENSAM Meknès, (2014).

[27]. A.G. MIHALACHE « Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué », Engineering Sciences, Université d'Angers, (2007).

[28]. FAUCHER. J, assurez la qualité et la suréte de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés, (2009).

[29] .GUILLERM.R, la sûreté de fonctionnement des systèmes complexes, (2011)

[30] MAROUF SIDI MOHAMMED, Amélioration de la Maintenance des équipements au niveau de l'atelier de tissage (denitex-sebdou), mémoire de master, université Aboubakre Belkaïd – Tlemcen –2015.

[31] KELADA. J, 1994, l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude en qualité totale.

[32] HERGON. E, CRESPEAU. H, ROUGER. Ph, Modes de défaillance du processus transfusionnel. Intérêt de l'analyse prévisionnelle de sureté de fonctionnement, Institut National de la Transfusion Sanguine, Paris.

[33] BIGRET. R, FÉRON. J.L avec la collaboration de PACHAUD. C, Diagnostic - maintenance disponibilité des machines tournantes (modèle-mesurage-analyses-des Vibrations

[34] RIDOUX. M, ag4220 AMDEC – Moyen, base documentaire : méthodes de production dans le thème : Conception et Production et dans l'univers Génie industriel, date de publication : 10/07/1999.

[35] MARTIN. C, CLAUDE BOCQUET. J, Conception Intégrée. Interopérativité des méthodes : AF, QFD, AMDEC dans le cadre du projet PIRAMID, Thèse à l'ADEPA, Ecole Centrale – Paris : Laboratoire Productique Logistique, Congrès Primeca, La Plagne (3-5 avril1999).

[36] FAUCHER. J, Pratique de l'AMDEC (Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés), Série Performance industrielle, WWW.dunod.com.

[37] NOUREDDINE. M, MESSAOUDI. M. A, Application de l'AMDEC à un satellite en phase active, Département d'Informatique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO).

[38] Fiche pratique, 0512 Pratiquer l'AMDEC, base documentaire : Evaluer et maîtriser le risque chimique, délivré le : 23/06/2014.

[39] HUMBERT. J, LHOMME. J, Nouvelle méthode pour l'analyse de la criticité des dispositifs médicaux en exploitation (MACE), QPO12 : Communication professionnelle de projet, automne 2012.

[40] MAREY. A, et all, Impact d'une démarche qualité en sécurité transfusionnelle sur la prescription, l'optimisation des circuits, la traçabilité, Expérience du CHRU de Lille, Unité et Comité de Sécurité Transfusionnelle et d'Hémovigilance.

[41] FRANÇOIS. J, INFOQUALITE, Lettre d'information du management par la qualité N°6 du 1er Juillet 2002.

[42] AYAD Mohammed, KEBBAB Toufik, AMDEC – Etude de cas : Extracteur de fumée de l'Entreprise Nationale de la Pétrochimie ENIP. 2008/2009.

[43] Michel RIDOUX. AMDEC- Moyen Technique de l'ingénieur, AG4220, 7/1999