

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Polytechnique

Laboratoire de commande des processus



Mémoire de Master en Automatique

Thème :

**Optimisation d'un système flou par un
algorithme génétique : Application à la gestion
de l'énergie d'un véhicule hybride**

Realisé par :

Abdelatif GUETTOUCHE

Proposé et dirigé par :

Pr. M.S. BOUCHERIT
Dr. K.BENMANSOUR

Juin 2014

Ecole Nationale Polytechnique, 10, Avenue Hassan Badi, 16200 El Harrache, Alger.

Résumé :

Ce travail consiste à proposer une méthode pour l'optimisation d'un système d'inférence flou. L'étude se porte sur l'application d'un algorithme génétique pour trouver les paramètres optimaux des différentes fonctions d'appartenances.

Mots clés: Véhicules électriques hybrides, système flou, algorithme génétique, gestion d'énergie.

Abstract :

The main objective of this work is to suggest a method for the optimization of a fuzzy inference system. This study focuses on the use of a genetic algorithm to find the optimal parameters for the different membership functions.

Keywords: Hybrid electric vehicle, fuzzy system, genetic algorithm, energy management.

ملخص :

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو اقتراح طريقة لتحسين نظام الاستدلال غامض. تركز الدراسة على تطبيق الخوارزمية الجينية للعثور على الخصائص الامثل للنظام الغامض.

الكلمات المفتاحية : السيارة الكهربائية الهجينة , تسيير الطاقة , المنطق الغامض , الخوارزمية الجينية

Sommaire

Introduction générale	4
I Les véhicules électrique hybrides	6
I.1 Définition	7
I.2 Les modes de fonctionnement d'un véhicule électrique hybride	7
I.3 Taux d'hybridation	8
I.4 Les principales architectures	8
I.4.1 L'architecture Hybride-Série	8
I.4.2 L'architecture Hybride-Parallèle	9
I.4.3 L'architecture Hybride-Mixte	9
I.5 Problématique de gestion d'énergie dans un véhicule hybride	10
I.6 Conclusion	11
II Les algorithmes génétiques	12
II.1 Introduction	12
II.2 Principe de la méthode	12
II.2.1 Evaluation	13
II.2.2 Sélection	13
II.2.3 Croisement	14
II.2.4 Mutation	15
II.3 Conclusion	16
III Optimisation d'un système flou	17
III.1 Introduction	17
III.2 Mise en œuvre	17
III.2.1 Codage	18
III.2.2 Fonction objectif	18
III.3 Résultats	19
III.4 Conclusion	21
IV Conclusion générale et perspectives	22
Bibliographie	23

Introduction générale

Le nombre de véhicules en circulation ne cesse d'augmenter, et même si les nouveaux moteurs thermiques sont de moins en moins polluants, les problèmes de pollution sont de plus en plus critiques, particulièrement pour les gaz à effet de serre responsables du réchauffement de la planète. Un moyen de lutter contre ces émissions est de mettre en place des normes de plus en plus restrictives pour les véhicules neufs.

Les limites imposées par les normes seront, malgré les avancées technologiques, trop restrictives pour être respectées par les moteurs thermiques. Une conséquence est la nécessité de prévoir de nouvelles technologies qui permettront de rendre les véhicules bien moins polluants.

Malgré le contexte climatique très préoccupant, c'est surtout l'augmentation du prix du pétrole qui rend le secteur des transports si soucieux de l'avenir, et qui le pousse à chercher des solutions pour réduire la consommation de carburant et les émissions de CO_2 . Les véhicules électriques sont apparus, dans un premier temps, comme une solution prometteuse. Leur faible autonomie combinée à un coût trop élevé ne leur a pas permis d'être concurrentiels vis-à-vis de leur homologue conventionnel.

Dans ce contexte automobile actuel, étroitement lié à la volonté de pouvoir disposer d'un moyen de transport qui ne soit pas dépendant du pétrole et de réduire les émissions de CO_2 dans l'atmosphère, les véhicules hybrides demeurent un passage obligé à court et moyen terme. Un véhicule hybride possède deux sources d'énergie pour assurer sa propulsion : en général un moteur thermique constitue la principale source d'énergie, tandis qu'un moteur électrique représente la source secondaire. La capacité d'un véhicule hybride à consommer moins de carburant, et à rejeter moins de CO_2 , provient de la présence du moteur électrique. Celui-ci peut être utilisé soit conjointement avec le moteur thermique, soit seul, aucun carburant n'étant alors consommé.

La présence de ces deux sources d'énergie impose au système global d'être régi par une stratégie de contrôle déterminant la répartition du couple entre les deux moteurs en fonction de l'état de charge de la batterie. Cette répartition peut être déterminée pour être optimale vis-à-vis de critères tels que la consommation de carburant, les émissions de polluants, etc. Plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour la gestion optimale de l'énergie pour un véhicule hybride, où les méthodes à base des règles floues ont fait leurs preuves d'être des méthodes performantes mais aussi réalistes et facilitent l'implémentation en temps réels [1].

La construction d'un système flou, quelle que soit son utilisation, nécessite une expertise. Cette expertise peut être acquise par le concepteur soit par ses connaissances sur le système étudié ou bien par l'interrogation des experts. Dans les deux cas, ce processus peut s'avérer très gourmand en temps et difficile à mettre en œuvre.

C'est dans ce cas où des algorithmes d'optimisation globale rentrent en jeu pour éliminer le temps perdu dans le processus de collecte de données et de trouver les paramètres optimaux du système flou. Plus particulièrement, c'est les algorithmes génétiques qui sont utilisés dans ce contexte grâce à leur performances [2].

Dans ce travail, on propose une optimisation d'un système flou, dédié à la gestion d'énergie d'un véhicule hybride, par l'application d'un algorithme génétique.

Ainsi, ce mémoire est composé comme suit :

Chapitre 1 : Le premier chapitre sera consacré à la description des véhicules électriques hybrides de part leurs architectures, leurs modes de fonctionnements et les méthodes de gestion de l'énergie.

Chapitre 2 : Ce chapitre décrira les principes de fonctionnement des algorithmes génétiques et leurs domaines d'applications.

Chapitre 3 : L'application d'un algorithme génétique pour l'optimisation d'un système flou sera détaillée dans ce chapitre où le but est de chercher les paramètres optimaux pour la minimisation de la consommation en carburant pour un véhicule hybride.

Finalement, une conclusion et une série de perspectives clôtureront l'étude.

Chapitre I

Les véhicules électrique hybrides

Face à la limitation de la motorisation électrique, l'échec des véhicules thermiques conventionnels en termes d'exigences environnementales et l'immaturité d'autres technologies¹, les constructeurs ont besoin d'un système performant et qui réponds aux contraintes du moyen et long terme.

L'hybridation de la technologie thermique avec une motorisation électrique constitue une bonne combinaison qui regroupe à la fois performances et développement durable.

Les moteurs à combustion interne ne produisent pas de couple sous certaines vitesses appelées vitesses de décrochages (Stall Speed), dans l'autre côté le moteur électrique peut produire des couples très forts même à vitesse nulle, et il peut garder un couple presque constant dans les basses vitesses (figure I.1).

Dans les voitures hybrides le moteur électrique est utilisé pour les phases de démarrage et de

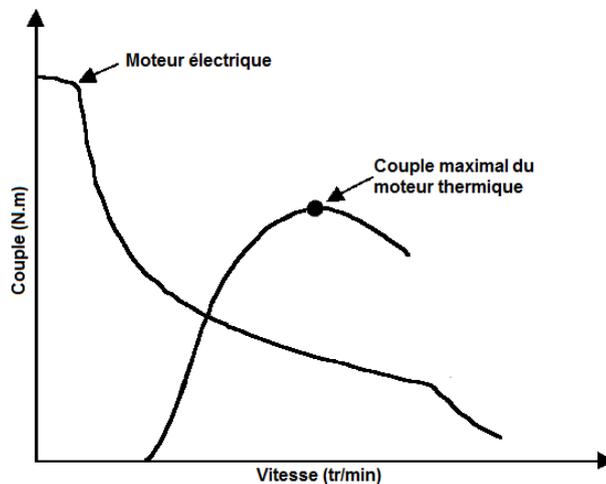


FIGURE I.1 – Caractéristiques de couples des moteur électrique et thermique [3].

petite vitesse, par exemple pour une circulation urbaine, et présente un appoint de puissance pour les demandes élevées, étant donné que le moteur thermique souffre d'un rendement réduit dans ces deux régions.

Cette hybridation a aussi son apport quant au côté écologique, des modèles sont déjà sur le

1. Pile à combustible, bio-carburant...

marché et ils ont marqué plusieurs points en termes d'émission de polluants et de consommation du carburant, dont la Toyota Prius est la plus connue.

On présente dans ce chapitre une description des véhicules électriques hybrides avec leurs architectures et modes de fonctionnement. Un état de l'art sur la problématique de gestion d'énergie entre les différentes sources et aussi présenté où quelques méthodes sont appliquées et simulées à la fin.

I.1 Définition

Un véhicule hybride est un véhicule pour lequel l'énergie nécessaire pour se mouvoir est transmise aux roues par au moins deux dispositifs de conversion d'énergie différents, tirant leurs énergies d'au moins deux dispositifs de stockage d'énergie différents [4].

Dans le cas d'un véhicule électrique hybride les deux dispositifs de conversion sont typiquement, un moteur thermique et un moteur électrique, tirant leurs énergies d'un réservoir à carburant et d'un pack de batteries respectivement.

I.2 Les modes de fonctionnement d'un véhicule électrique hybride

Selon la manière que ces dispositifs sont gérés, on peut définir plusieurs modes de fonctionnement utilisant une seule source d'énergie ou les deux. De plus, comme dans le cas du véhicule électrique, le véhicule hybride dispose de la faculté de récupérer dans sa batterie une partie de l'énergie de décélération².

Le mode thermique pur : Le moteur thermique assure seul la traction du véhicule, donc le véhicule hybride se comporte comme un véhicule conventionnel. Ce mode peut être utilisé pour des raisons de rendement, par exemple, lors d'un trajet sur autoroute, pour lequel le moteur thermique est utilisé à un bon rendement, ou bien parce que la batterie est déchargée.

Le mode électrique pur : Le moteur électrique fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire à la propulsion du véhicule. Ce mode est utilisé généralement dans les zones urbaines, grâce à l'absence du bruit et l'émission des polluants. La durée durant laquelle ce mode pourra être actif dépend de la capacité de la batterie.

Le mode hybride : Les deux moteurs fonctionnent simultanément pour assurer la propulsion du véhicule. Le moteur thermique peut assurer à la fois la traction du véhicule et la recharge de la batterie lorsqu'il fournit plus de puissance que celle demandée aux roues.

Freinage récupératif : Le freinage récupératif consiste à utiliser une partie de l'énergie de décélération du véhicule pour la stocker dans les batteries. Dans cette situation le moteur électrique fonctionne comme un générateur et se charge de récupérer cette énergie cinétique sous forme d'énergie électrique et l'utiliser pour recharger les batteries.

Le Start and Stop : Ce mode permet de couper le moteur thermique pendant un arrêt du véhicule (dans des embouteillages ou devant un feu rouge) et de le redémarrer rapidement

2. On trouve dans [4] une description détaillée.

et sans bruit, lorsque le conducteur enfonce la pédale d'accélération. Ce redémarrage est assuré par une machine électrique qui doit être suffisamment puissante [5].

I.3 Taux d'hybridation

Suivant l'utilisation souhaitée du véhicule, les constructeurs peuvent varier l'importance de la propulsion hybride par rapport à la propulsion thermique. Pour un véhicule électrique hybride le taux d'hybridation est égal au rapport de la puissance électrique sur la puissance totale disponible à bord, et se calcule selon la formule suivante :

$$TH = \frac{Pe}{Pe + Pth} (\%) \quad (I.1)$$

Ainsi plusieurs définitions existent [6] :

Micro-hybrid : Ces véhicules ont un faible taux d'hybridation, et sont propulsés uniquement par le moteur thermique, et utilisent le moteur électrique uniquement au travers du système Stop&Start. Ces véhicules permettent d'éviter la consommation de carburant quand le véhicule est au repos.

Mild-Hybrid : Les véhicules Mild-hybrid ont un niveau d'hybridation moyen. Le système électrique n'agit pour ces véhicules que comme un complément du moteur thermique. La propulsion en mode électrique seul ne pourra alors pas être effectuée. Ces véhicules sont équipés de moteurs électriques d'appoint n'ayant pas une puissance très importante. Le fait que l'apport de la propulsion électrique soit limité permet d'éviter de s'encombrer avec des systèmes de stockage d'énergie électrique (principalement des batteries) trop volumineuses et lourdes.

Full-Hybrid : Dans les véhicules Full-hybrid le moteur électrique peut assurer la propulsion seul, par exemple dans le cas d'un roulage urbain ou embouteillages. Ce type d'hybridation permet la diminution de l'utilisation du carburant, et donc l'émission de polluants. Mais il exige de disposer d'un moteur électrique de forte puissance ainsi qu'un pack de batteries assez encombrant.

I.4 Les principales architectures

L'architecture d'un véhicule hybride est la façon avec laquelle les deux sources d'énergies (moteur thermique et moteur électrique dans notre cas) sont reliées aux roues. Il existe plusieurs architectures [7], toutefois, on présente ici ceux communément utilisés.

I.4.1 L'architecture Hybride-Série

Dans cette architecture seul le moteur électrique est directement connecté aux roues, et est alimenté soit par les batteries, soit par le moteur thermique via un générateur (Figure I.2). Les batteries sont rechargées soit par le moteur électrique lors d'un freinage récupératif, ou bien par la génératrice entraînée par le moteur thermique via un convertisseur. Le principal avantage de cette architecture réside dans le fait que le moteur thermique ne soit pas directement connecté aux roues, ce qui lui permet de travailler dans sa plage de fonctionnement optimale, ceci va

donc permettre de réduire la consommation du carburant et l'émission des polluants.

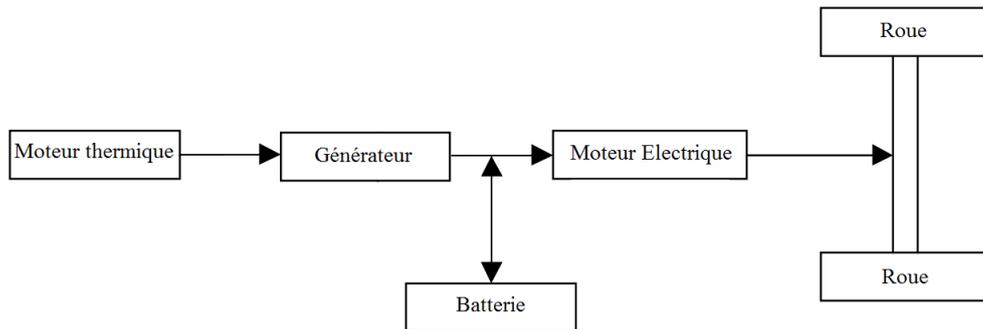


FIGURE I.2 – Architecture Série

Toutefois, malgré les avantages de l'architecture série et sa simplicité, elle présente aussi des inconvénients :

- Trois dispositifs de conversion d'énergie sont utilisés (moteur thermique, moteur électrique et un générateur).
- L'énergie mécanique produite par le moteur thermique est transformée en énergie électrique via la génératrice, puis à nouveau transformée en énergie mécanique par le moteur électrique, ce qui pénalise le rendement global du système.
- Etant donné que le moteur électrique doit fournir toute la puissance aux roues il doit donc être de forte puissance (donc encombrant).
- Mode tout thermique impossible puisque le moteur thermique n'est pas connecté aux roues.
- Mode boost impossible.

I.4.2 L'architecture Hybride-Parallèle

Dans l'architecture parallèle les deux moteurs, thermique et électrique, sont connectés aux roues (Figure I.3), dans ce cas la puissance maximale est fournie par les deux moteurs, alors les moteurs thermique et électrique sont de petites tailles. Les deux moteurs peuvent fonctionner simultanément ou indépendamment. Lorsque la demande de puissance est faible, le moteur thermique entraîne le moteur électrique qui fonctionne alors comme générateur rechargeant les batteries. Lorsque la demande de puissance est plus forte, le moteur thermique entraîne la transmission et se retrouve secondé par le moteur électrique alimenté par les batteries. Le moteur électrique peut aussi être utilisé comme générateur pour charger la batterie par le freinage récupératif. L'inconvénient majeur de cette architecture est sa complexité, puisque plusieurs composants sont liés aux roues ce qui rend la gestion et le contrôle plus délicat.

I.4.3 L'architecture Hybride-Mixte

L'architecture hybride-mixte est l'association de l'hybride série et de l'hybride parallèle. En effet, elle intègre un moteur thermique, une génératrice, un moteur électrique et un train planétaire pour réaliser l'addition de vitesse (Figure I.4).

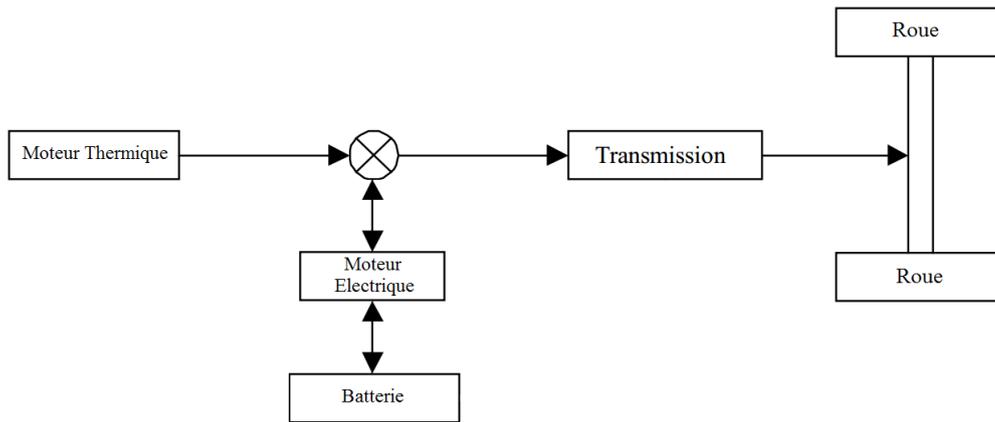


FIGURE I.3 – Architecture Parallèle

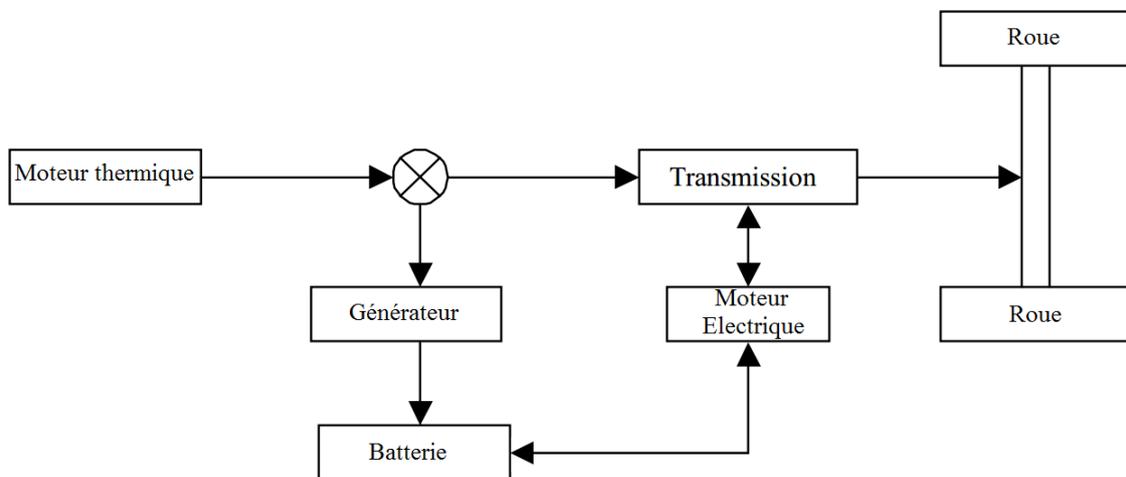


FIGURE I.4 – Architecture Mixte

I.5 Problématique de gestion d'énergie dans un véhicule hybride

Le conducteur traduit sa demande en puissance par l'enfoncement de la pédale d'accélérateur, et dans le cas d'un véhicule conventionnel c'est le moteur thermique qui se charge de répondre à cette demande, et de transférer la puissance nécessaire aux roues.

Pour un véhicule hybride la puissance demandée par le conducteur peut être répartie entre le moteur thermique et le moteur électrique, puisque les deux moteurs sont susceptibles de fournir l'énergie nécessaire à la traction, ce qui amène donc un degré de liberté en plus.

L'intérêt principal d'un véhicule hybride provient de sa capacité à pouvoir consommer moins de carburant, comparé à un véhicule équivalent équipé seulement d'un moteur thermique. Il faut alors trouver des stratégies qui permettent de répartir cette demande d'énergie entre les deux moteurs de manière à optimiser le fonctionnement de la chaîne de traction.

Ces stratégies sont regroupées sous le terme : « *lois de gestion d'énergie* ».

Les lois de gestion d'énergie définissent la meilleure répartition de l'énergie entre toutes

les sources, afin de satisfaire la demande faite par le conducteur, d'optimiser la consommation d'énergie et de respecter les normes de pollution [8].

Elles doivent donc choisir quel mode de fonctionnement adopter en prenant en considération [6] :

- La puissance devant être transmise aux roues.
- La puissance maximale pouvant être fournies par chacune des deux propulsions.
- Les cartographies de rendement du moteur thermique, du moteur électrique et de la batterie.
- L'état de charge de la batterie.

Ce problème de gestion optimale de l'énergie peut être abordé par plusieurs méthodes, mais les méthodes à bases de règles floues ont été appliquées avec un grand succès dans beaucoup de travaux parmi lesquels [1] [2] [9].

I.6 Conclusion

Ce chapitre a présenté, d'une façon générale, les véhicules hybrides, passant par leurs architectures, leurs modes de fonctionnements et le problème lié à la gestion optimale de l'énergie.

Chapitre II

Les algorithmes génétiques

II.1 Introduction

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle : croisements, mutations, sélection, etc. Les algorithmes génétiques ont déjà une histoire relativement ancienne puisque les premiers travaux de John Holland sur les systèmes adaptatifs remontent à 1962.

II.2 Principe de la méthode

Un algorithme génétique pour un problème particulier doit avoir les cinq composants suivants [10] :

1. *Un principe de codage des éléments de population* : C'est une représentation génétique des solutions possibles au problème. Elle associe à chacun des points de l'espace d'état une structure de donnée où chaque paramètre est assimilé à un gène. Elle est donnée sous forme d'un vecteur de gènes appelé chromosome ou individu. La représentation peut être de type binaire lorsque les gènes ne prennent que les valeurs 0 ou 1, ou bien entière/réelle quand les gènes sont définies dans l'espace des entiers/réels.



FIGURE II.1 – Principe de codage.

2. *Des paramètres de dimensionnement* : Taille de la population, nombre total de générations, critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs.
3. *Un mécanisme de génération de la population initiale* : Ce mécanisme produit une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures.
4. *Des opérateurs génétiques* : Ils permettent d'altérer et diversifier la population au cours des générations afin de mieux explorer l'espace des solutions.

5. *Une fonction d'évaluation* : C'est la fonction objectif à optimiser appelé « Fitness Function », elle joue le rôle de l'environnement et évalue les individus suivant leurs valeurs.

La figure II.2 présente un organigramme d'un algorithme génétique de base. Tout d'abord, une population d'individus est générée de façon aléatoire. Ensuite, l'algorithme répète les opérations suivantes [11] :

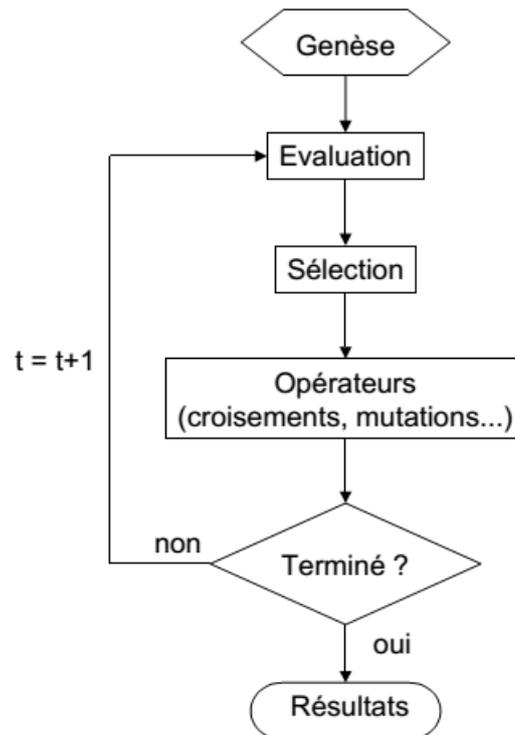


FIGURE II.2 – Principe générale des algorithmes génétiques.

II.2.1 Evaluation

Pour tout individu créé sa fitness est calculée. Cette valeur sera utilisée par le processus de sélection pour favoriser les individus les mieux adaptés. L'évaluation représente donc la performance de l'individu vis-à-vis du problème à résoudre.

II.2.2 Sélection

Une fois réalisée l'évaluation de la génération, on opère une sélection pour déterminer quels individus sont plus enclins à obtenir les meilleurs résultats.

Cet opérateur est très important puisqu'il permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement liée à son efficacité relative au sein de la population. On trouve essentiellement quatre types de méthodes de sélection différentes :

La méthode de sélection par rang : Cette méthode consiste à sélectionner les n individus dont on a besoin pour la nouvelle génération $G + 1$ en prenant les n meilleurs individus

de la population G après l'avoir triée de manière décroissante selon la fitness de ses individus. L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'elle peut amener l'algorithme à une convergence prématurée car la pression de sélection est très importante et la diversité est inexistante.

La méthode de sélection proportionnelle à l'adaptation (roulette-wheel) : Cette méthode représente la population comme une roue de roulette, où chaque individu représente une portion proportionnelle à sa valeur de fitness. La sélection d'un individu se fait en tournant la roue en face d'un pointeur fixe, on sélectionne après l'individu correspondant au secteur désigné par le pointeur.

L'inconvénient de cette de cette méthode est qu'elle peut choisir toujours le même individu si ce dernier à une fitness bien meilleur que les autres, ce qui cause une perte de diversité dans la population.

La sélection par tournois : Ce mode de sélection forme aléatoirement n paires d'individus à partir des n chromosomes parents (plusieurs combinaisons sont possibles, un individu pouvant être présent dans plusieurs paires). On définit alors une probabilité de "victoire du plus fort", qui représente la chance qu'a l'individu le mieux noté de chaque paire d'être sélectionné. On sélectionne alors un individu par paire selon cette probabilité, formant ainsi une nouvelle génération de n individus. La probabilité de "victoire du plus fort" doit donc être assez élevée (entre 0,7 et 1) afin d'améliorer la population.

La sélection universelle stochastique : Cette méthode est une amélioration de la méthode de Roulette-Wheel qui ne représente pas de biais. Elle utilise toujours une roulette partagée en portion proportionnelle aux valeurs de fitness des individus. Mais cette fois, les individus sélectionnés sont désignés par un ensemble d'indicateurs équidistants où une rotation de la roue de la roulette sélectionne tous les parents simultanément.

II.2.3 Croisement

L'opérateur de croisement favorise l'exploration de l'espace de recherche en combinant les caractéristiques des individus.

Seuls les individus passant l'épreuve de sélection peuvent passer à la génération intermédiaire où ils peuvent se reproduire. En effet, la génération intermédiaire est deux fois plus petite que la génération dont elle est issue. Donc des paires d'individus sont sélectionnés comme parents pour subir un croisement et produire des enfants. Chaque couple de parents donne naissance à deux enfants, nous aboutissons ainsi à nouveau à une génération entière formé par les parents et leurs enfants.

Plusieurs méthodes existent nous citons ici les plus utilisées [11]¹ :

Le croisement en un point : On choisit au hasard un point de croisement pour chaque couple et on échange les deux parties entre les deux individus. La figure II.3 représente le principe.

Le croisement en deux points : Dans ce cas on choisit deux points de croisement et on échange les informations contenues entre ces deux points. La figure II.4 illustre le principe.

1. Vingt-deux types de croisements sont présentés dans [11].

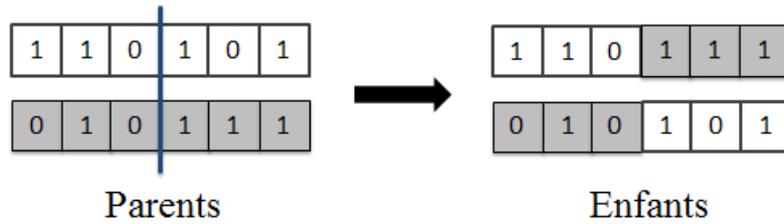


FIGURE II.3 – Croisement en un point.

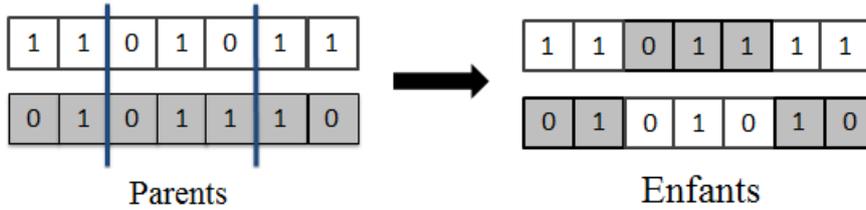


FIGURE II.4 – Croisement en deux points.

Le croisement uniforme : Dans les deux méthodes précédentes, deux gènes successifs ont plus de chance de se reproduire ensemble. Dans cette méthode on évite ce phénomène et chaque gène a une chance égale d’être hérité des deux parents.

L’idée est de tirer aléatoirement une chaîne de bits appelé “un masque”, de même longueur que le chromosome. Après, pour chaque gène, si le bit du masque présente un 0 alors le fils numéro 1 hérite son gène du parent 1, si c’est 1 alors il l’hérite du 2^{ème} parent. La création du fils n° 2 se fait de manière symétrique.

La figure II.5 reprend le principe.

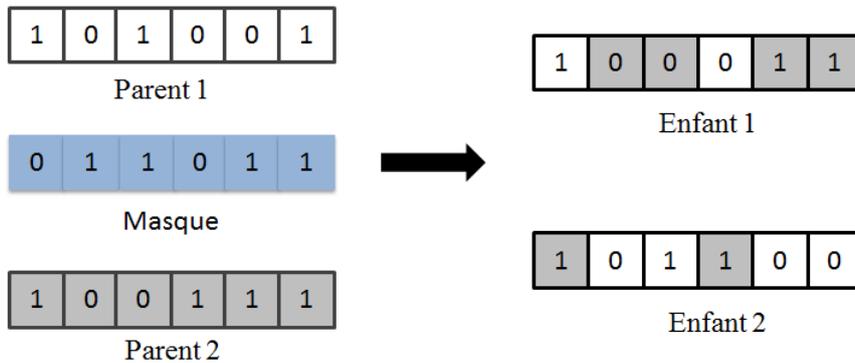


FIGURE II.5 – Croisement uniforme.

II.2.4 Mutation

L’opérateur de mutation modifie de manière complètement aléatoire les caractéristiques d’une solution. Il permet ainsi de maintenir la diversité de la population et d’explorer l’espace de recherche en évitant à l’algorithme de convergé prématurément vers un optimum local. La

mutation est généralement appliquée avec un taux faible. Les valeurs typiques sont de l'ordre de 0.001 [12], car un grand taux peut occasionner une destruction de l'information utile contenue dans les solutions et la recherche devient aléatoire.

Plusieurs méthodes de mutation existent parmi lesquelles :

1. **Insertion** : L'opérateur d'insertion choisit un gène aléatoirement et l'insère dans une autre position du chromosome.
2. **Echange** : L'opérateur d'échange consiste à prendre au hasard deux gènes du chromosome et à les permuter.
3. **Inversion** : L'inversion inverse l'ordre de visite des clients entre deux points de coupure choisis aléatoirement.

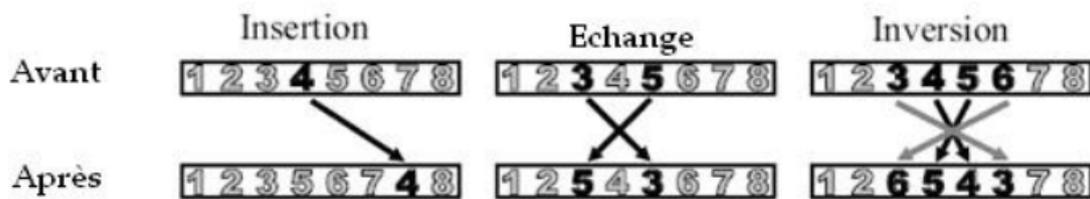


FIGURE II.6 – Différents types de mutation.

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre le principe de fonctionnement des algorithmes génétiques a été présenté où plusieurs méthodes de sélection, croisement et mutation ont été détaillées.

Chapitre III

L'optimisation d'un système d'inférence flou par algorithme génétique

III.1 Introduction

Dans cette partie, on applique un algorithme génétique pour l'optimisation d'un système flou utilisé dans [13] pour la répartition optimale de l'énergie pour un véhicule hybride.

Dans la conception d'un système flou, les paramètres (fonctions d'appartenances, base des règles) peuvent être choisies en se basant sur l'expertise que le groupe de concepteurs possède sur le système. Mais trouver les grandeurs optimales n'est pas une mince affaire et augmente exponentiellement avec la complexité du système. Dans la majorité des cas, le réglage se fait par une fastidieuse approche d'essais/erreurs.

Dans le but de la simplification de ce stade de conception, plusieurs propositions peuvent être trouvées dans la littérature, qui reposent principalement sur des techniques d'intelligence artificielle [14]. Parmi ces méthodes, on trouve les Algorithmes Génétiques où leurs applications pour le réglage des contrôleurs flous a été le sujet de plusieurs travaux¹.

III.2 Mise en œuvre

L'application des algorithmes génétiques pour optimiser un système flou peut se faire soit pour trouver le jeu de règles et maintenir les fonctions d'appartenances fixe, soit en changeant les fonctions d'appartenances et garder le jeu de règles fixe, soit changer les deux à la fois [15]. Dans notre cas on se servira de l'algorithme génétique implémenter sous Matlab pour trouver les paramètres des fonctions d'appartenances en gardant le jeu de règles fixe.

Le déroulement général de l'optimisation du système flou par l'algorithme génétique est illustré dans la figure III.1. A chaque pas de l'algorithme génétique, le système d'inférence flou est construit à partir des paramètres de chaque individu. Le système flou ainsi élaboré est ensuite évalué le long du cycle et sa fonction objectif est calculée. Les opérateurs génétiques sont par la suite appliqués sur les individus de la population actuelle pour créer la nouvelle génération.

1. Quelques références sur le sujet peuvent être trouvées dans [2].

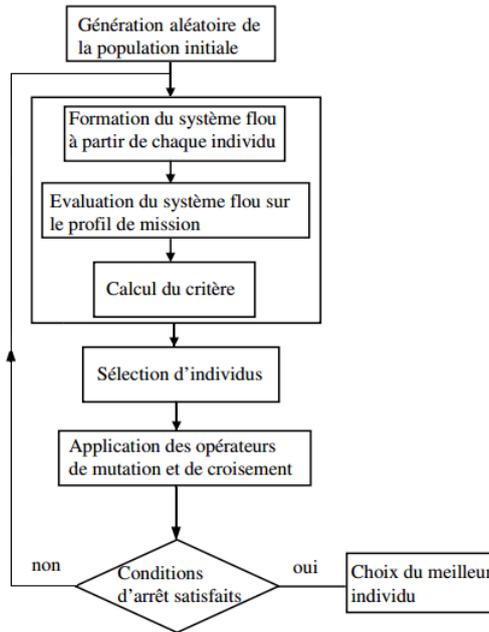


FIGURE III.1 – Organigramme de fonctionnement de l'algorithme génétique.

L'algorithme peut être arrêté lorsque la population n'évolue plus ou plus suffisamment rapidement ou bien si le nombre de générations que l'on souhaite exécuter, fixé à priori, est atteint.

III.2.1 Codage

Comme déjà dit précédemment le codage des individus est la représentation génétique des paramètres. Dans notre cas les paramètres sont les grandeurs des fonctions d'appartenances. En gardant le même nombre et type de fonction d'appartenances déjà évoqué dans la section précédente, 3 paramètres sont nécessaires pour coder les fonctions d'appartenances de l'état de charge, et 6 pour la puissance demandée, comme illustré dans la figure III.2. Il est bon de mentionner que la fonction d'appartenance "Zéro" de la puissance demandée a été considérée invariante. En effet, l'intervalle de variation de la fonction est très étroit et tend à ralentir la convergence de l'algorithme.

Un individu sera alors représenté comme un chromosome contenant 9 gènes de type réel III.3.

III.2.2 Fonction objectif

La fonction objectif caractérise le critère à minimiser. Dans notre cas nous cherchons à minimiser la consommation du carburant tout en ayant une variation globale de l'état de charge de la batterie admissible. En effet, si le critère prend uniquement la minimisation du carburant en considération, l'algorithme finira par donner une solution qui épuise la batterie. Donc pour garder l'état de charge dans une fourchette admissible nous avons pris la fonction objectif suivante :

$$F = cons + k|Dx|$$

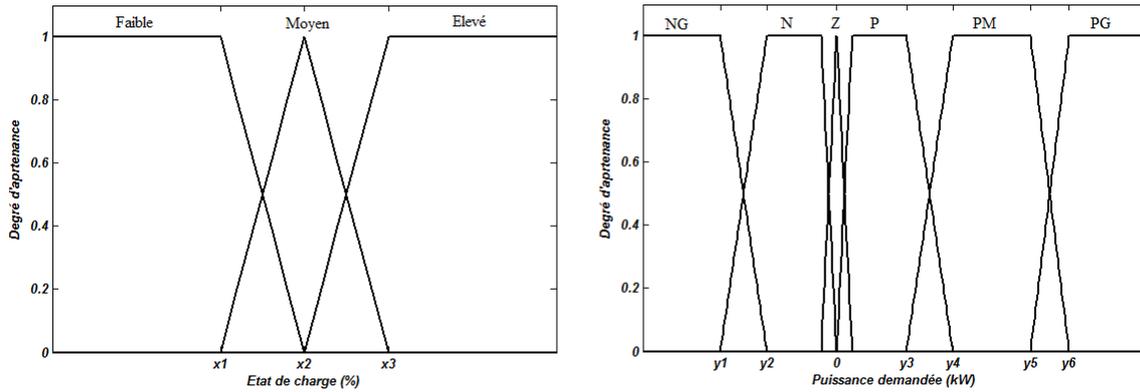


FIGURE III.2 – Paramètres des fonctions d'appartenance.

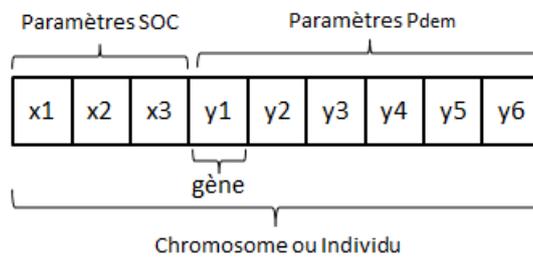


FIGURE III.3 – Représentation d'un individu.

où : $cons$ est la consommation finale, Dx est la variation globale de l'état de charge, et k est un paramètre de pondération, plus k est faible, plus on favorise la minimisation de la consommation face à Dx et vice versa.

En outre, pour éviter les solutions non faisables nous utilisons une fonction de pénalité qui pénalise les solutions qui violent les contraintes.

En effet, l'algorithme génétique nous permet de fixer des bornes inférieures et supérieures sur chacun des gènes de l'individu. Ces bornes vont jouer le rôle des contraintes. Donc chaque individu qui ne respectera pas ces contraintes se voit attribuer une fitness importante plus un terme de pénalité, on réduit ainsi ces chances d'être choisis par le processus de sélection. Cela permet d'accélérer la convergence de l'algorithme en ne choisissant que les valeurs faisables. Les équations sont données par :

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 < x_i < 100 \\ -6 < y_i < 6 \\ x_i < x_{i+1} & i = 1, \dots, 3 \\ y_i < y_{i+1} & i = 1, \dots, 6 \end{array} \right.$$

III.3 Résultats

Tout d'abord nous devons fixer les paramètres de l'algorithme et signaler les fonctions choisies et les probabilités d'application des différents opérateurs génétiques.

On a fixé un nombre maximal de génération égale à 40 où chaque population contient 90 in-

dividus. Pour l'opérateur de croisement, nous avons choisi la méthode de croisement uniforme avec une probabilité de 80%. Et en ce qui concerne la méthode de mutation c'est la méthode de mutation uniforme([10]) qui a été utilisée avec un taux d'application égale à 0.001. Aussi, pour protéger la rémanence de bonnes solutions et d'assurer leurs survie tout au long de la recherche, nous avons utilisé un opérateur d'élitisme qui choisit les 18 (20% de la population) meilleurs individus de la population pour passer directement à la nouvelle génération.

Ainsi, nous avons obtenu les fonctions d'appartenances illustrées dans les figures III.4 III.5. L'évaluation de cet individu le long du cycle a donné une consommation finale de $5.65L/km$

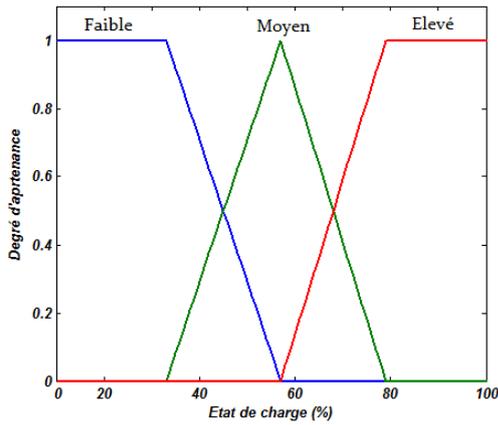


FIGURE III.4 – Fonctions d'appartenances de la variable SOC

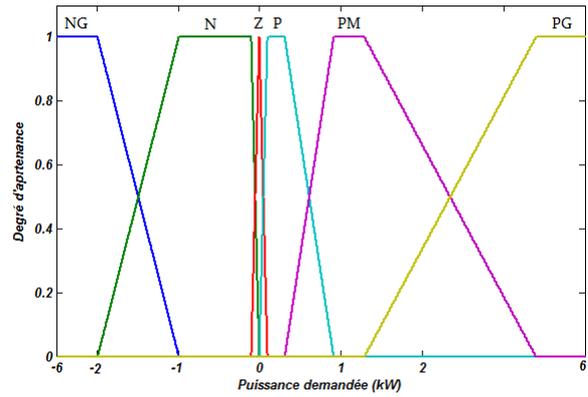


FIGURE III.5 – Fonctions d'appartenances de la variable P_{dem}

avec une variation globale de l'état de charge de -0.03% .

On remarque aussi à partir des graphes de simulation (figure III.6) que les résultats sont assez proches de ceux obtenus dans [13]. Toutefois, outre l'amélioration apportée, il est aussi important de noter que la fastidieuse approche d'essais/erreurs a été évité.

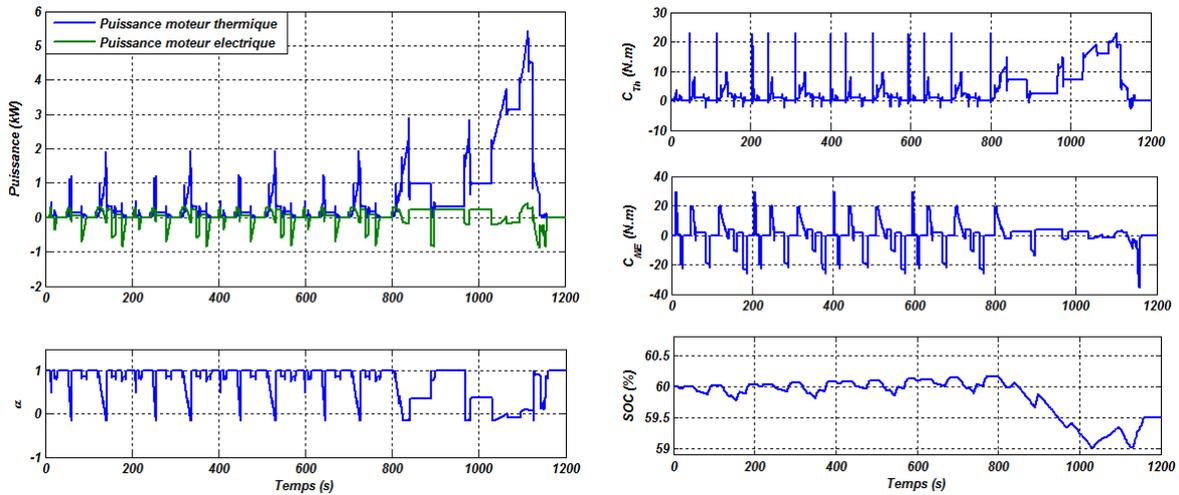


FIGURE III.6 – Application de la méthode floue-génétique.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre une application d'un algorithme génétique a été présentée où le but était d'optimiser un système d'inférence flou pour la gestion d'énergie au sein d'un véhicule hybride.

Chapitre IV

Conclusion générale et perspectives

Le but principal de ce travail était l'optimisation d'un système flou par l'application d'un algorithme génétique. L'idée était d'utiliser l'algorithme génétique pour trouver les paramètres optimaux du système et éviter ainsi l'approche fastidieuse d'essais/erreurs.

Pour une suite des travaux on envisage l'évaluation des performances de l'algorithme génétiques par l'application sur plusieurs cycles de conduite normalisés qui doivent être assez différents. Des études fréquentielles et temporelles de la puissance demandée sont nécessaires dans ce cas, pour pouvoir tirer des interprétations concernant les résultats obtenus.

Bibliographie

- [1] Nour-eddine HADDADI and Mohamed Adlane MAGHENEM. *Gestion de l'énergie et optimisation du fonctionnement d'un véhicule électrique hybride*. Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique, 2013.
- [2] Walid HANKACHE. *Gestion Optimisée de l'Energie Electrique d'un Groupe Electrogène Hybride à Pile à Combustible*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2008.
- [3] Iqbal HUSSEIN. *Electric and Hybrid vehicles, Design Fundamentals*. CRC PRESS, 2005.
- [4] Julien SCORDIA. *Approche systématique de l'optimisation du dimensionnement et de l'élaboration de lois de gestion d'énergie de véhicules hybrides*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Nancy1, 2004.
- [5] Saida KERMANI. *Gestion énergétique des véhicules hybrides : de la simulation à la commande temps réel*. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2009.
- [6] Remi DUBOUIL. *Etude par simulation des transferts thermiques dans un groupe motopropulseur hybride électrique automobile*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2012.
- [7] Grégory ROUSSEAU. *Véhicule hybride et commande optimale*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des mines de Paris, 2008.
- [8] Alexandra DUBRAY. *Adaptation des lois de gestion d'énergie des véhicules hybrides suivant le profil de mission suivi*. Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, 2002.
- [9] Sébastien DELPRAT. *Evaluation des stratégies de commande pour véhicules hybrides parallèle*. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2002.
- [10] Zbigniew MICHALEWICZ. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag Heidelberg, New York, 1996.
- [11] Pascal CHATONNAY. *Différentes opérateurs évolutionnaires de permutation : sélections, croisements et mutations*. Rapport de recherche N° RR 210-07, Juillet, 2010.
- [12] David COLEY. *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*. World Scientific Publishing, 1999.
- [13] Abdellah ALLAOUCHICHE and Abdelatif GUETTOUCHE. *Véhicule Hybride*. Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique, 2014.
- [14] Gerardo ACOSTA and Elias TODOROVICH. *Genetic Algorithms and fuzzy control : a practical synergism for industrial applications*. Computers in Industry, vol. 52, pp. 183-195, Avril 2003.
- [15] Stanislaw Zak. *Systems and Control*. Oxford University Press, 2003.