

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du grade de DOCTORAT 3^{ème} Cycle

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes et Réseaux de Télécommunications

Par : Bendiabdellah Zoulikha

Sujet

Contribution à l'étude du réseau électrique intelligent: Application aux véhicules électriques

Soutenue publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mr LEHSAINI Mohamed	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Mr FEHAM Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr Sidi-Mohammed Senouci	Professeur	Univ. de Bourgogne, France	Co- Directeur de thèse
Mr KAZAR Okba	Professeur	Univ. Biskra	Examineur
Mme LAALAM Fatima Zohra	MCA.	Univ. Ouargla	Examineur
Mr MERZOUGUI Rachid	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur

NB : les membres du jury doivent être classés conformément au P.V d'autorisation de soutenance

Remerciement

Je tiens à remercier infiniment Monsieur FEHAM Mohammed, Professeur à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour le temps et les efforts qu'il m'a consacrés, ainsi que pour la richesse et la pertinence de ses remarques, merci encore cher professeur.

Un merci très particulier à Monsieur Senouci Sidi-Mohammed, Professeur à l'Université de Bourgogne, France, pour avoir également fait partie intégrante de mon encadrement, mais aussi pour les conseils, l'écoute et le soutien qu'il m'a apportés tout au long de cette thèse. Je le remercie également pour m'avoir accueillie au sein du laboratoire DRIVE de l'école ISAT lors de mes stages en France au cours de ces années de thèse. Ces quelques lignes ne suffiront pas pour exprimer toute ma gratitude pour lui.

Je tiens à remercier Monsieur LEHSAINI Mohamed, Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse. Je tiens à remercier également les membres du jury, Mr KAZAR Okba, Professeur à l'université de Biskra, Madame LAALAM Fatima Zohra, Maître de conférences à l'université d'Ouargla et Monsieur MERZOUGUI Rachid, Maître de conférences à l'université de Tlemcen, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Merci à ma famille, et particulièrement à mes parents, sans qui je ne serai jamais arrivée là où j'en suis. Merci pour leur soutien sans faille.

RESUME

Aujourd'hui, le monde est entrain d'assister à la naissance et au développement de deux immenses systèmes pour contribuer à la transition énergétique pour un environnement plus propre : les réseaux électriques intelligents et les véhicules électriques. Ces deux technologies sont fortement dépendantes l'une de l'autre, étant donné que les véhicules électriques ne peuvent se déplacer sans charger leurs batteries à partir du réseau électrique. L'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent est une évidence, mais cette intégration a deux impacts sur le système électrique. Le premier impact concerne la demande supplémentaire sur les ressources d'approvisionnement. L'autre impact relatif au stockage d'énergie connecté au réseau de distribution d'énergie qui a le potentiel d'améliorer la performance du réseau électrique intelligent en fournissant une capacité et une énergie supplémentaires de stockage, par exemple pendant des périodes de pointe de demande d'énergie. Ces deux impacts ont fait l'objet de deux axes de recherches qui dominent l'étude d'intégration des véhicules électriques dans le réseau intelligent nommées respectivement la Grille à Véhicule (G2V) et Véhicule à Grille (V2G).

Le travail mené dans cette thèse est structuré essentiellement en deux contributions techniques. La première contribution traite, le problème de planification des stations de recharge pour les véhicules électriques et la deuxième contribution propose une nouvelle approche pour étudier l'intégration des véhicules électriques comme une source d'énergie supplémentaire (V2G) dans le réseau intelligent. En utilisant une nouvelle modélisation basée sur la théorie de jeu, nous avons montré que, lorsque les propriétaires des véhicules électriques agissent stratégiquement, ils peuvent tirer des bénéfices importants de la vente de leur surplus d'énergie stocké à la grille du réseau intelligent. Ces avantages se reflètent en termes de revenus qui sont considérés comme des gains monétaires pour les deux participants au jeu (la grille et le véhicule électrique) ainsi qu'à d'autre gain non-pécuniaire comme la réduction des émissions de CO2 dans l'environnement

Mot clés : Réseau électrique intelligent, Véhicule électrique , Optimisation , G2V, V2G

ABSTRACT

Today the world is witnessing the birth and development of two huge systems to contribute to the energy transition for a cleaner environment: smart grid and the electric vehicle. These two technologies are highly dependent on each other since electric vehicles cannot move without charging their batteries from the power grid. The integration of electric vehicles into the smart grid is obvious, but this integration has two impacts on the electrical system. The first is the impact of additional demand on supply resources. The other impact relates to the storage of electrical energy connected to the power distribution network, which has the potential to improve the performance of the smart grid by providing additional storage capacity and energy, for example during periods of Peak energy demand. These two impacts have been the subject of two axes of research which dominate the study of integration of electric vehicles in the intelligent network named respectively the Vehicle Grid (G2V) and the Grid Vehicle (V2G).

The work carried out in this PhD is structured essentially into two technical contributions. The first contribution deals with the problem of planning charging stations for electric vehicles and the second contribution proposes a new approach to study the integration of electric vehicles as an additional energy source (V2G) into the smart grid within. Using new modeling based on game theory, we showed that electric vehicle can derive significant profits from the sale of their surplus stored energy to the smart grid. These benefits are reflected in terms of monetary revenues for both players in the game (grid is vehicle) as well as other non-monetary gain such as the reduction of carbon emissions in the environment.

Key words: Smart Grid, Electric vehicle, Optimization, G2V, V2G

ملخص

يشهد العالم اليوم على ولادة وتطور اضخم نظامين مساهمين في المرحلة الانتقالية للطاقة من اجل ايقاف التلوث البيئي :الشبكة الكهربائية الذكية والسيارات الكهربائية. ان هاتين التقنيتين تعتمدان اعتمادا كبيرا على بعضها البعض. نظرا لأن السيارات الكهربائية لا يمكن أن تتحرك دون شحن بطارياتها من الشبكة الكهربائية فان دمجها في الشبكة الذكية يعتبر امر ضروري ، هذا الدمج لديه تأثيرين على نظام الطاقة : تأثير الطلب الإضافي على موارد الإمدادات و تأثير آخر يتعلق بتخزين الطاقة الكهربائية داخل بطاريات السيارات الكهربائية و توزيعها للشبكة الكهربائية لتساعد على تحسين أداء الشبكة الذكية من خلال توفير سعة إضافية مثلا أثناء فترات ذروة الطلب على الطاقة. خلال السنوات الاخيرة شكل كل من هذين التأثيرين موضوعا للمجالات البحثية التي تهيمن على دراسة دمج السيارات الكهربائية في الشبكة الذكية تحت اسمين : من الشبكة الى المركبات (G2V) و من المركبات الى لشبكة (V2G) على التوالي

في هذه الأطروحة تم تقسيم العمل المنجز بشكل رئيسي إلى مساهمتين . في المساهمة الأولى قمنا بدراسة الشحن تخطيط مكان انشاء محطات شحن السيارات الكهربائية اما بالنسبة للمساهمة الثانية فقدمنا مقاربة جديدة لدراسة التكامل بين السيارات الكهربائية و الشبكة الذكية ضمن مفهوم V2G

Table des matières

RESUME	3
ABSTRACT	4
Table des matières	6
Liste des tableaux	10
Acronymes	11
<i>Chapitre I : Introduction générale</i>	13
I.1 Contexte et motivation	14
I.2 Méthodologie et contributions	16
I.3 Organisation du manuscrit	17
<i>Chapitre II: Réseau électrique intelligent et véhicule électrique</i>	18
II.1 Introduction.....	19
II.2 Véhicules électriques	20
II.2.1 Brève histoire du véhicule électrique	20
II.2.2 Composants principaux du véhicule électrique	21
II.2.3 Types de véhicules électriques	22
II.2.3.1 Véhicules électriques hybrides	22
II.2.3.2 Véhicules électriques à batterie.....	22
II.2.3.3 Véhicules électriques hybrides rechargeables.....	23
II.2.3.4 Véhicules électriques à pile à combustible	23
II.2.4 La technologie de batterie	24
II.2.5 Infrastructure et options de recharge des véhicules électriques	27
II.3 Réseau électrique intelligent.....	33
II.3.1 Intérêt du réseau électrique intelligent	33
II.3.2 Concept du réseau électrique intelligent	34
II.3.3 Architecture du réseau électrique intelligent	34
II.3.4 Nouveau paradigme du réseau intelligent	38
II.3.4.1 Micro-grille	38
II.3.4.2 Production distribuée et intégration des énergies renouvelables	38
II.4 Conclusion	39
<i>Chapitre III : Intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent</i>	40

III.1 Introduction	41
III.2 Axes de recherche communs V2G/G2V	41
III.2.1 Défis de la technologie batterie	41
III.2.2 Infrastructure et déploiement de station de recharge	42
III.3 Grille à véhicule (G2V)	44
III.3.1 Le concept G2V	44
III.3.2 Travaux existants	44
III.3.2.1 Impact de l'intégration des véhicules électriques sur le réseau électrique intelligent	44
III.3.2.2 Contrôle de charge	45
✓ Optimisation du profit de la grille	46
✓ Optimisation du profit du propriétaire du VE	47
III.4 Véhicule à Grille (V2G)	48
III.4.1 Le concept V2G	48
III.4.3 Travaux existants	49
III.4.3.1 Services	50
✓ Services des réserves tournantes et la régulation des fréquences	50
✓ Service de lissage de la charge de pointe	50
III.4.3.2 Support des énergies renouvelables	51
III.4.3.3 Objectif des travaux	52
III.4.3.4 Méthodes de modélisation et/ou résolution	52
III.5 Conclusion	56

***Chapitre IV : Optimisation du déploiement des stations de recharges pour les véhicules électriques*** **57**

IV.1 Introduction et énoncé du problème	58
IV.2 Formulation du problème	59
IV.2.1 Modèle mathématique	60
IV.2.2.1 Fonction «objectif»	60
✓ L'idée centrale de l'algorithme	62
VI.2.2.2 Première étape : algorithme K-means	62
VI.2.2.3 Deuxième étape : algorithme génétique	63
✓ Définition de l'algorithme génétique	63
✓ L'algorithme génétique proposé	65
1- Code génétique	65
2- Fitness	65
3- Sélection	65
4- Opérateur de croisement	66

5- Opérateur de mutation	66
IV.3 Evaluation de performances	66
IV.4 Conclusion.....	70
<i>Chapitre V : Théorie de jeu pour l'intégration du véhicule électrique et de la grille intelligente</i>	71
V.1 Introduction et énoncé du problème	72
V.2 Problématique.....	72
V.3 Formulation du problème	72
V.3.1 Théorie de jeu	73
V.3.2 Modèle de jeu d'interaction entre le VE et le RI.....	73
V.3.2.1 Coût de dégradation de la batterie.....	74
V.3.2.2 La disponibilité du véhicule	74
V.3.2.3 Profit de l'environnement	75
V.3.1.4 Quantité d'énergie délivrée au RI.....	76
V.3.2.5 Quantité d'énergie demandée par le RI.....	76
V.3.3 Matrice d'utilité.....	76
V.3.4 Equilibre Bayésien de Nash	78
V.3.4.1 Théorème.....	78
V.3.4.2 Preuve.....	78
V.4 Evaluation des performances.....	79
V.5 Conclusion.....	85
<i>Chapitre VI: Conclusion générale.....</i>	87
VI. Conclusion générale.....	88
VI.1 Contributions.....	88
VI.2 Perspectives	89
Liste des travaux.....	90
Bibliographie.....	91

Liste des figures

Figure 1-1 Evolution de la consommation mondiale en électricité [11]	14
Figure 2-1 La première voiture électrique au monde [13].	20
Figure 2-2 Configuration fondamentale du véhicule électrique.....	22
Figure 2-3 Modèle des bornes de recharge	28
Figure 2-4 Trois connecteurs prédominants pour les véhicules électriques.....	29
Figure 2-5 Schéma illustratif des équipements de recharge conductrice	29
Figure 2-6 Système de remplacement de batterie	31
Figure 2-7 Schéma illustratif de charge inductive.....	32
Figure 2-8 Architecture de la grille traditionnelle.....	35
Figure 2-9 Modèle conceptuel du réseau électrique intelligent proposé par le NSTI [48]	35
Figure 3-1 Schéma illustratif du concept V2G.....	49
Figure 4-1 Le code génétique.....	65
Figure 4-2 Localisation initiale des stations de recharges.....	68
Figure 5-1 Production mondiale d'électricité en 2013 [199].....	75
Figure 5-2 Convergence des probabilités : (a) Probabilité p^* que le RI charge,	82
Figure 5-3 Evolution de la demande	83
Figure 5-4 Evolution des prix.....	84

Liste des tableaux

Tableau 1-1 Caractéristiques des différents types des véhicules électriques	24
Tableau 2-2 Caractéristique des différents types des batteries utilisées dans les VEs.....	26
Tableau 2-3 Batteries utilisées dans les VEs (Meilleure vente en 2016) [20]	27
Tableau 2-4 Comparaison entre les différents niveaux de charge.....	30
Tableau 2-5 Couches et domaines dans le modèle conceptuel du NIST du réseau intelligent [54]	36
Tableau 2-6 Technologies de communication utilisée dans le smart Grid	37
Tableau 3-1 Classification des travaux existants dans la littérature.....	55
Tableau 4-1 Paramètres du Modèle mathématique	60
Tableau 4-2 Localisation des stations et nombre de VEs par zone.....	68
Tableau 4-3 Paramètres de simulation	67
Tableau 4-4 Résultat de simulation	69
Tableau 4-5 Simulation pour différents scénarios.....	69
Tableau 5-1 Matrice d'utilité entre les deux joueurs RI et VE	76
Tableau 5-2 Paramètre de simulation.....	80
Tableau 5-3 Prix d'achat d'électricité à partir des sources vertes et non vertes de l'état de la Californie [203]	85

Acronymes

RI réseaux électriques intelligents (RI)

V2G Véhicule A Grille

TICs Technologies de l'Information et de La Communication

VE Véhicule Électrique

CO₂ Dioxyde de carbone

G2V Grille A Véhicule

GES Gaz à Effet de Serre

PAC Piles A Combustibles

VMCI Véhicule à Moteur à Combustion Interne

VEH Véhicule Electrique Hybride

VEB Véhicules Electrique à Batterie

VEHR Véhicule Electriques Hybride Rechargeable

VE-PAC Véhicule Electrique à Pile à Combustible

Wh/kg Watt-heure par Kilogramme

Li-ion Lithium- ion

Ni-MH Nickel-Metal

DC Courant Continu

AC Courant Alternatif

kWh Kilowatt-heure

ITS Système de Transport Intelligent

SG Smart Grid

BNE Equilibre Bayésien de Nash

MIP Mixed Integer Program

GWh Gigawatt-heure

DOD Depth-Of-Discharge

ISO Independant Operator System

AG Algorithme Génétique

OEP Essaim de particules Optimisation

IP Integer Programming

Chapitre I : Introduction générale

I.1 Contexte et motivation.....	14
I.2 Méthodologie et contributions.....	16
I.3 Organisation du la manuscrit	17

I.1 Contexte et motivation

Parmi toutes les inventions et les technologies, qui nous sont inévitables aujourd'hui, c'est la grille du réseau électrique, qui a remporté le titre de « la réalisation d'ingénierie la plus significative du 20^{ème} siècle » [1]. En effet, les travaux fondamentaux de l'ingénierie électrique ont abouti à l'invention des transformateurs, des machines à courant alternatif et des générateurs de turbines à vapeur. Par conséquent de grandes quantités d'électricité ont pu être produites et transmises à longue distance pour construire le tout premier système électrique au monde [2]. Par la suite, de plus grandes lignes de transmission et des centrales électriques plus éloignées ont été construites, et les systèmes de transmission sont devenus beaucoup plus importants, traversant de nombreux kilomètres de terrains. Dans les années 1930, les services d'électricité réglementés sont devenus bien établis, fournissant les trois principaux aspects de l'électricité, les centrales électriques, les lignes de transmission et la distribution.

Aujourd'hui, le système électrique se compose de plus de 9 200 unités de production électrique avec plus d'un million de mégawatts de capacité de production fortement connectée à des lignes de transmission [3]. Toutefois, la surcharge sur le système électrique ne cesse d'augmenter (voir figure 1.1). Les études prévoient une augmentation de la demande énergétique de 40 % d'ici 2040 [4] et par conséquent la grille du réseau électrique sera exploitée au-delà de sa conception.

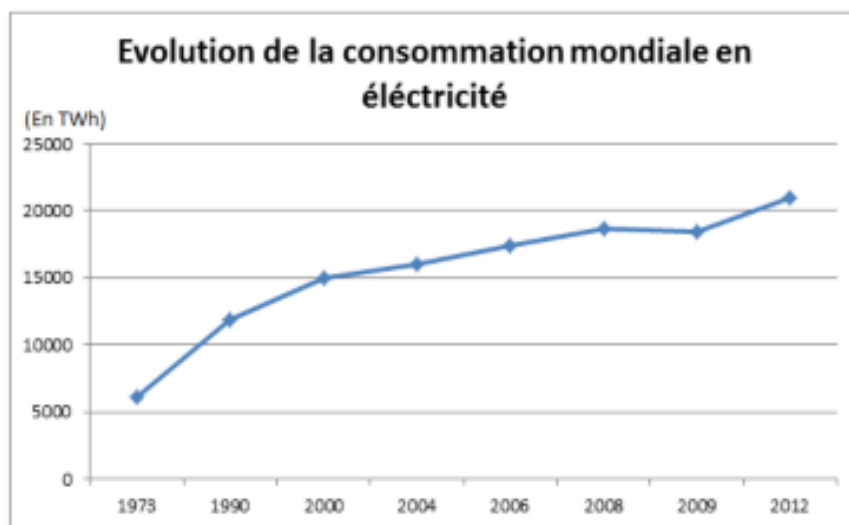


Figure 1-01 Evolution de la consommation mondiale en électricité [11]

D'autres problèmes auxquels la grille fait face aujourd'hui sont les contraintes de livraison liés à la transmission limitée par les infrastructures obsolètes, le comportement stochastique de la demande d'électricité et le manque de flexibilité. De plus en plus de pannes et de coupures de courant se produisent en raison des temps de réponse lents des commutateurs mécaniques et des transferts de puissance imprévisibles sur de longues distances à cause du manque d'analyse automatisé. En réalité, ces problèmes de pannes d'électricité ont des implications beaucoup plus larges et peuvent causer des pertes économiques énormes [5]. Pour réduire ces impacts, un nouveau type de grille plus intelligent est construit sur des

méthodes, des outils et des technologies pratiques basées sur des avancées dans les domaines du calcul, du contrôle et des communications, permettant aux systèmes électriques et aux autres infrastructures de s'auto réguler localement et de se reconfigurer automatiquement en cas de défaillance, de menace ou de perturbation. Ce réseau comme son concept l'indique est nommée le réseau électrique intelligent ou « *Smart Grid* » en anglais. Dans les réseaux électriques intelligents (RI) d'aujourd'hui, les technologies de communication et d'information stimulées par Internet, tels que le comptage avancé, les thermostats et les compteurs intelligents, la production distribuée et le stockage d'énergie, sont appliquées au réseau électrique afin de lui permettre de fournir de nouvelles compétences et services aux entreprises publiques, aux exploitants des systèmes électriques, aux distributeurs, aux consommateurs d'électricité et aux décideurs en vue de rendre le système électrique plus réactif, fiable et souple. Le réseau intelligent se caractérise par son intelligence où il est capable de détecter les surcharges du système et la puissance de redirection pour prévenir ou minimiser les pannes potentielles et travailler de façon autonome lorsque les conditions requièrent une résolution plus rapide que les humains ne peuvent réagir et coopérer pour aligner les objectifs de tous les éléments qui lui sont connectés.

Sur un autre plan, l'industrie électrique au cours des dernières années a conduit à l'extraction et à la combustion des milliards de tonnes de combustibles fossiles qui sont bien évidemment l'énergie primaire de la production électrique, mais aussi le destructeur de l'environnement. Toutefois, les préoccupations et les sensibilisations mondiales au sujet de l'environnement et du changement climatique ont donné un élan à la dé-carbonisation du secteur électrique et à l'adoption des énergies renouvelables, qui sont des énergies propres, mais malheureusement fortement dépendant des aléas météorologiques. Cependant, la grille intelligente est un outil clé pour faire face à la nature variable de ces ressources renouvelables. Basée sur des moyens de contrôle et de stockage appropriés et des appareils plus intelligents pour ajuster la demande en fonction de la situation actuelle du réseau, la grille électrique intelligente permettra une intégration optimisée des énergies renouvelables, y compris le solaire et le vent, aussi facilement et de manière transparente.

Hormis le secteur électrique, l'électrification du secteur de transport est aujourd'hui un autre avènement élaboré pour lutter contre le changement climatique. Ainsi, de nouveaux défis seront rajoutés sur le système électrique, car le transport électrique augmentera considérablement la demande d'électricité. La puissance de charge des batteries des véhicules présentera certainement une déstabilisation inestimable du réseau électrique et par conséquent, elle sera difficile à manipuler. Cependant, une grille électrique plus intelligente avec des infrastructures de recharge centrées sur des communications et des technologies appropriées est une exigence pour brancher, gérer et contrôler la pénétration attendue de la nouvelle génération automobile sur des réseaux déjà à contraintes.

Par ailleurs, il y a beaucoup plus à réaliser dans l'intégration des véhicules électriques dans la grille que de simplement brancher et charger des batteries. Dans un nouveau concept nommé véhicule à grille (V2G), grâce aux technologies avancées d'information et de communication (TICs), les véhicules

électriques peuvent être utilisés en tant que périphériques de stockage distribués, pour fournir de l'énergie au réseau électrique afin de répondre à la demande dynamique et aux situations d'urgence de ce dernier. Les véhicules seront utilisés pour contribuer aux services auxiliaires du système électrique, tels que la régulation de fréquence et le lissage des charges aux heures de pointe, tout en contribuant à l'intégration efficace des énergies renouvelables dans le réseau électrique intelligent. Par conséquent, la capacité de transférer de l'énergie du véhicule au réseau sera une aubaine pour le système d'alimentation électrique, pour le propriétaire du véhicule électrique (VE) et pour l'environnement. Par ailleurs, tous ces modes de fonctionnement ont besoin de cadres réglementaires appropriés et une grille électrique plus intelligente pour capitaliser la souplesse des véhicules électriques.

Nous soulignons que les véhicules électriques comprennent les voitures, les trains, les camions, les avions, les bateaux, les motocyclettes et les scooters électriques. Cependant dans ce travail, nous nous référons à la terminologie du véhicule électrique en considérant seulement les voitures électriques.

I.2 Méthodologie et contributions

Cette thèse contribue principalement dans l'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent.

Dans le RI, les VE sont traités comme une nouvelle charge mobile (grille à véhicule, ou G2V), avec des disponibilités de stockage (véhicule à grille, ou V2G) [6]. Cependant, étant donné que la fonction principale des VEs est de fournir le service de mobilité attendu par son utilisateur, elle nécessite une infrastructure de recharge spécifique. Donc, une méthode de planification raisonnable est très importante dans la mesure où elle orientera de façon ordonnée le développement de l'infrastructure de recharge, Non seulement pour répondre aux besoins des véhicules électriques, mais aussi pour parvenir à un développement coordonné avec le réseau intelligent.

Partant de cette présentation, nous avons proposé dans une première contribution une nouvelle approche, basée sur un algorithme hybride, pour le déploiement des stations de recharges publiques dans une région urbaine spécifique.

Le développement des réseaux intelligents ouvre de nouvelles perspectives au système électrique du point de vue de la distribution de l'électricité. L'efficacité peut être améliorée en mettant en œuvre des réserves d'énergie à la disposition du réseau électrique au moment des pics de consommation électrique [7]. Les VEs sont potentiellement capables de satisfaire leurs besoins en électricité selon un calendrier préétabli, et même d'injecter de l'énergie dans le réseau électrique dans les cas où la demande à l'échelle du système est élevée ou la production intermittente est faible [6]. Dans le cadre du concept V2G, visant principalement à réduire les émissions de CO₂ à travers l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau électrique, nous avons proposé un nouveau modèle d'intégration des VEs dans le réseau électrique intelligent. Ce travail constitue notre deuxième contribution dans cette thèse.

I.3 Organisation du manuscrit

Cette thèse est organisée en quatre chapitres en plus d'une introduction générale et d'une conclusion générale.

Le chapitre 2 est composé de deux parties. Dans la première partie, nous exposons un résumé de l'état de la technologie des véhicules électriques et leurs caractéristiques pertinentes. Cependant, la deuxième partie porte sur l'étude de la révolution du système électrique et le concept du réseau électrique intelligent et ses diverses manifestations.

Le chapitre 3 porte sur l'intégration des véhicules électriques dans les réseaux électriques intelligents. Tout d'abord, nous soulignons les différents travaux de fond qui ont été réalisés pour préparer l'intégration des véhicules dans le réseau intelligent et ensuite nous abordons les travaux existants dans la littérature dans les deux contextes d'intégration Grille à Véhicule (G2V) et Véhicule à Grille (V2G).

Le chapitre 4 expose notre première contribution dans cette thèse. Elle est constituée d'une nouvelle approche pour le déploiement des stations de recharges publiques dans une région urbaine spécifique. Cette technique est basée sur un algorithme hybride qui combine un algorithme génétique et un algorithme de partitionnement K-means. Ce travail vise le déploiement d'un nombre optimisé de stations de recharges pour les véhicules électriques, dans une zone donnée. Ce travail a donné lieu à une publication dans une conférence IEEE GIIS2014

Dans **le chapitre 5**, nous proposons un nouveau modèle d'interaction entre les véhicules électriques et le réseau intelligent, basé sur une approche de jeu Bayésienne. Ce modèle est conçu avec l'objectif d'aplatir la courbe de charge journalière. Il prend en compte les principaux défis de la technologie V2G, telle que la disponibilité du VE et la durée de vie de la batterie. En outre, contrairement à la plupart des travaux de recherche existants, nous introduisons dans notre formulation un nouveau facteur représentant l'impact sur l'environnement afin d'encourager l'utilisation des sources renouvelables. Ce facteur a un effet significatif sur les décisions du joueur ainsi que sur les résultats de la simulation. Ce travail a donné lieu à une publication dans le journal « Green Engineering »

Chapitre II: Réseau électrique intelligent et véhicule électrique

II.1 Introduction.....	19
II.2 Véhicules électriques	20
II.2.1 Brève histoire du véhicule électrique.....	20
II.2.2 Composants principaux du véhicule électrique	21
II.2.3 Types de véhicules électriques	22
II.2.4 La technologie Batterie	24
II.2.5 Infrastructure et options de recharge des véhicules électriques	27
II.3 Réseau électrique intelligent.....	33
II.3.1 Intérêt du réseau électrique intelligent.....	33
II.3.2 Concept du réseau électrique intelligent.....	34
II.3.3 Architecture du réseau électrique intelligent	34
II.3.4 Nouveau paradigme du réseau intelligent.....	38
II.4 Conclusion	39

II.1 Introduction

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a lancé une alerte mondiale concernant le changement climatique [8]. Ces experts ont toutefois annoncé avec confiance que les émissions anthropiques récentes de gaz à effet de serre (GES) sont les plus élevées de l'histoire. L'augmentation des émissions anthropiques de GES au cours des dernières décennies a été principalement attribuée à la croissance économique et démographique mondiale. Pour lutter contre la menace universelle du changement climatique, un total de 195 pays ont adopté le premier accord universel et juridiquement contraignant sur le changement climatique lors d'une conférence à Paris en décembre 2015 [9]. Ce plan ambitieux nécessite une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre à partir de 2020. Selon l'Agence internationale de l'énergie, la concentration à long terme des gaz à effet de serre dans l'atmosphère doit être limitée à environ 450 parties par million d'équivalent dioxyde de carbone [10]. Dans le monde d'aujourd'hui la majeure partie des émissions de gaz à effet de serre est causée par le secteur du transport et par l'industrie électrique. Selon [11] les véhicules à moteur à combustion contribuent à 16 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone produites par l'homme. Cependant, ces polluants nocifs et les émissions de gaz à effet de serre peuvent être considérablement réduits si l'homme utilise une méthode de transport plus propre. Dans ce contexte, les véhicules électriques (VEs) tout électrique, hybrides, hybrides rechargeables ou à piles à combustible (PAC), présentent une solution prometteuse. D'ailleurs, ces types de véhicules ont déjà commencé à prendre un rythme remarquable sur le marché. Les études économiques prévoient que d'ici 2020, les VEs vont remplacer les véhicules à moteur à combustion interne (VMCI) avec une augmentation de 15 % voir 40% [12]. En revanche, il est inutile de dé-carboniser le secteur d'automobiles si le secteur électrique (c'est-à-dire la source d'où les véhicules rechargent leurs batteries) repose toujours sur les énergies fossiles comme source initiale de production électrique. Dans ce contexte, la nature offre une gamme d'options alternatives pour générer une énergie propre à partir des sources efficaces, fiables et commodes pour l'environnement. Néanmoins, la production intermittente des énergies renouvelables pose des défis différents sur la planification, le fonctionnement et le contrôle du réseau électrique actuel, qui est déjà confronté à d'autres problèmes liés à son vieillissement et son épuisement devant la croissance démographique et technologique accrue. Ainsi, le monde est entrain d'assister à la naissance d'un nouveau réseau électrique plus intelligent, nommé «SMART GRID en anglais», un système avancé de grille électrique s'appuyant sur les dernières technologies de l'information et de la communication (TICs) à l'instar d'internet. Ce chapitre, divisé en deux parties, a été consacré à plus de développements. La première partie est dédiée à la présentation des véhicules électriques et les technologies fondamentales associées. L'accent sera mis sur les types des véhicules électriques existant, les technologies des batteries ainsi que l'infrastructure de recharge qui est primordiale pour la charge des véhicules électriques. Dans la deuxième partie, nous élaborons le développement des réseaux d'électricité traditionnels en réseaux électriques intelligents, y compris,

l'architecture et les défis techniques. Cependant, nous détaillons en particulier les technologies en relation avec l'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent.

II.2 Véhicules électriques

Cette section, fournit un bref aperçu sur l'état de l'art de la technologie du véhicule électrique (VE), en tenant compte de leurs types, des technologies de batteries et de la technologie de l'infrastructure de recharge nécessaire pour la recharge des VEs.

II.2.1 Brève histoire du véhicule électrique

Le développement des véhicules électriques (VEs) a commencé dans le 19^e siècle, et depuis l'homme n'a pas arrêté ses essais pour concevoir et développer un véhicule alimenté par l'électricité. Le lieu de naissance de la toute première voiture électrique est partagé entre l'U.K. et les États-Unis où Robert Anderson de l'Écosse a construit un chariot électrique, tandis que Thomas Davenport du Vermont a inventé le second moteur électrique. En 1837, il a réussi à créer une petite locomotive électrique en utilisant deux électroaimants, un pivot et une batterie [13]. La première voiture électrique à quatre roues a été mise au point en 1884 par l'inventeur Thomas Parker et ce n'est qu'en 2009 qu'une photographie la reprenant a apparu au public (figure 1.1) [14].



Figure 2-1 La première voiture électrique au monde [13].

A cette époque, la batterie rechargeable n'était pas encore inventée et de plus, les matériaux étaient beaucoup trop coûteux, ce qui a empêché l'utilisation des véhicules électriques à grande échelle. Quand le 19^e siècle a pris fin, les voitures électriques commerciales étaient sur le marché et sont même devenues plus populaires que les voitures à essence grâce à l'invention des batteries rechargeable au plomb acide par Gaston Planté [15].

Cependant plusieurs facteurs notoires ont brutalement freiné le développement de ces voitures dans le 20^e siècle, y compris la faiblesse de l'autonomie (due aux limitations de la technologie des batteries) qui la rendu incompatible avec les nouveaux usages et les réseaux routiers qui s'étendent, le manque de l'infrastructure de recharges et la disponibilité du pétrole.

Dans le 21^e siècle, les préoccupations relatives à la hausse des prix du pétrole et le mouvement environnemental croissant a entraîné un regain d'attention accordée à l'électrification du secteur automobile. La course entre les constructeurs des VEs n'a pas été limitée au moteur électrique ou à la batterie seulement, mais elle a passé plutôt à la conception des véhicules complets avec un corps confortable sécurisé et efficace. Aujourd'hui, plus de 30 modèles de véhicules de différentes marques, utilisant entièrement ou partiellement l'électricité, sont disponibles sur le marché.

II.2.2 Composants principaux du véhicule électrique

Fondamentalement, le VE comporte trois composantes basiques (Figure.2.2.) traduites par une unité de stockage d'énergie comprenant les dispositifs de stockage, de gestion et de charge d'énergie ; une unité de contrôle et enfin une unité de propulsion comprenant le convertisseur de puissance, le moteur électrique, la transmission mécanique et les roues motrices [16]. Pour propulser un VE, la puissance est d'abord extraite de l'unité de stockage et écoulee vers le contrôleur de puissance qui représente le cerveau du VE. Ce dernier est responsable de la réalisation des fonctions clés de modulation de puissance et de conversion d'énergie, mais surtout, il décide de la quantité de puissance à transférer de l'unité de stockage vers l'unité de propulsion. Le contrôleur fonctionne également avec l'unité de charge pour contrôler la charge. Il est aussi responsable de l'augmentation ou de la diminution de l'ampérage [16]. Le moteur électrique, fait simplement tourner les roues suite à une conversion de l'énergie électrochimique en énergie cinétique. Pour améliorer leur efficacité, la plupart des véhicules électriques déploient une solution relativement nouvelle concernant le freinage par récupération. Le freinage conventionnel gaspille de l'énergie, tandis que le freinage régénératif utilise une méthode de retour de l'énergie cinétique à l'unité de stockage de puissance comme énergie électrochimique. Lorsque le conducteur du VE appuie sur la pédale de frein, les circuits électroniques inversent le sens et la puissance passe du moteur/générateur à l'unité de stockage d'énergie. Plutôt que d'expulser l'excès d'énergie cinétique comme chaleur résiduelle, elle sera stockée sous forme d'énergie électrochimique pour une utilisation ultérieure [17], [18].

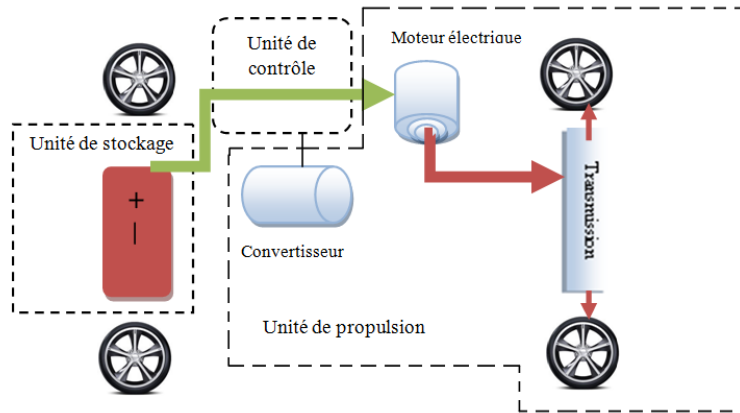


Figure 2-2 Configuration fondamentale du véhicule électrique

II.2.3 Types de véhicules électriques

Les véhicules électriques possèdent un ou plusieurs moteurs électriques, associés à des dispositifs de stockage d'énergie électrochimique. Il existe quatre catégories de véhicules électriques dépendant de la façon dont cette énergie est stockée: les véhicules électriques hybrides (VEH), les véhicules électriques hybrides rechargeables (VEHR), les véhicules électriques à batterie (VEB) et les véhicules électriques à pile à combustible (VE-PAC).

II.2.3.1 Véhicules électriques hybrides

Les véhicules électriques hybrides (VEH) sont dotés de deux moteurs, un moteur à combustion interne et un moteur électrique. Leurs accumulateurs sont généralement de faible capacité, ce qui limite considérablement leurs charges et par conséquent la vitesse de pointe du véhicule en mode électrique. La batterie, qui entraîne le moteur électrique ne peut être chargée que par la capture d'énergie en utilisant le freinage par récupération qui convertit l'énergie cinétique en électricité et donc elle ne peut pas être chargée à partir d'une source d'énergie externe [19].

II.2.3.2 Véhicules électriques à batterie

Les véhicules à batterie (VEB), nommés aussi les véhicules tout électriques, utilisent la technologie de batterie rechargeable, similaire à celle utilisée dans les appareils électriques pour stocker de l'énergie électrochimique. Ils adhèrent aux mêmes principes opérationnels fondamentaux, mais avec des systèmes de gestion thermique plus avancés. Ces batteries sont destinées à gérer une puissance élevée. Le VEB est propulsé uniquement par des moteurs électriques et la source de puissance provient exclusivement des batteries rechargeables sur le réseau électrique. Les VEBs ont généralement des batteries de capacité beaucoup plus grande que celles des véhicules hybrides afin de leur assurer une grande autonomie en énergie. Les VEBs les plus répandus au monde sont Tesla model S, Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV et Kia Soul EV [20].

II.2.3.3 Véhicules électriques hybrides rechargeables

Les véhicules électriques hybrides rechargeables (VEHR ou PHEV en anglais pour « Plug-in Hybrid Electric ») combinent un moteur à essence ou diesel avec un moteur électrique et une grande batterie rechargeable. Contrairement à des véhicules hybrides conventionnels qui peuvent être seulement chargés en mouvement par l'intermédiaire de freinage par récupération, les VEHRs peuvent être branchés et rechargés à partir d'une source d'électricité extérieure à l'aide d'une prise murale standard. En conséquence, les VEHRs sont potentiellement plus efficaces que les VEHs à cause de leurs batteries permettant une autonomie d'énergie électrique sur des distances plus grandes. Lorsque la batterie est vide, le moteur classique se met en marche et le véhicule fonctionne comme VEH classique. Les VEHRs combinent les avantages des VEHs et des VEBs [21]. Parmi les VEHR les plus célèbres sur le marché commercial, on trouve la Toyota Prius et la Chevrolet Volt de Ford, [20]

II.2.3.4 Véhicules électriques à pile à combustible

Les véhicules électriques à pile à combustible (VE-PAC) utilisent des piles à combustible pour produire de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène. L'électricité utilisée pour conduire le véhicule est stockée soit dans une batterie ou dans un super-condensateur [21]. Comme les VEBs, les VE-PACs offrent un rendement énergétique supérieur à celui des modèles conventionnels, tout en diversifiant les sources d'énergie au-delà du pétrole. Les avantages de la pile à combustible comprennent le rendement élevé de conversion du carburant en énergie électrique, le fonctionnement silencieux, l'émission très faible ou nulle (Les seuls produits rejetés sont de la vapeur d'eau et de la chaleur), la durabilité et la fiabilité. Cependant, les VE-PACs ont des problèmes majeurs, tels que le cycle de vie des réservoirs de carburant, le stockage de l'hydrogène à bord, nécessitant une meilleure densité énergétique et une infrastructure de distribution et de ravitaillement en hydrogène qui doit être construite [21]. Bien que des prototypes de VE-PACs aient déjà été proposés par les fabricants, les installations de production et de distribution d'hydrogène, n'a pas encore été prouvé. Honda FCX Clarity est la première voiture commerciale qui débute dans la famille des VE-PACs [22]

Aujourd'hui, les VEBs, les VEHRs et les VE-PACs sont à différents stades de développement, confrontés à différents défis. Les principales caractéristiques techniques et économiques de ces trois types de véhicules, sont résumées dans le tableau 2.1 [23].

Tableau 1-1 Caractéristiques des différents types des véhicules électriques

	VEB	VEHR	VE-PAC
Propulsion	<ul style="list-style-type: none"> • Moteur électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Moteur électrique • Moteur à combustion interne 	<ul style="list-style-type: none"> • Moteur électrique
Sous-système de stockage d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Batterie • Super condensateur 	<ul style="list-style-type: none"> • Batterie • Super condensateur • Combustibles fossiles ou carburant alternatif 	<ul style="list-style-type: none"> • Réservoir d'hydrogène • Batterie / super condensateur nécessaire pour augmenter la densité de puissance
Sources d'énergie et infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Stations de recharge électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Stations service • Stations de recharge électrique pour plug-in-hybride 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogène • Infrastructure de production et de transport de l'hydrogène
Caractéristique	<ul style="list-style-type: none"> • emission locale nulle • Indépendant des combustibles fossiles • Haute efficacité énergétique • Coût initial élevé • Autonomie relativement courte • Commercialement disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible emission locale • Economie élevée de fuel • Coût élevé des véhicules • Longue autonomie • Commercialement disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission faible à nulle • Indépendant des combustibles fossiles • Haute efficacité énergétique • Coût élevé • En cours de développement
Problèmes majeurs	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement et gestion de la batterie • Manques des stations de recharge • Coût • Autonomie de la batterie 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement et gestion de la batterie • Contrôle, optimisation et gestion de multiples sources d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût • Cycle de vie et fiabilité des piles à combustible • Infrastructure de production et de distribution d'hydrogène

Malgré les caractéristiques supérieures globales des VEHRs, la différence de popularité entre VEHRs et VEBs n'est pas évidente dans certaines régions géographiques, telles que le Royaume-Uni et le Japon, alors que dans certains pays, comme la Norvège et le Danemark, les VEBs sont beaucoup plus populaires que le VEHRs [24]. Il convient de noter que dans la suite de ce document on s'intéressera aux VEBs et VEHRs, et on utilisera le terme de véhicule électrique (VE) pour simplifier la terminologie.

II.2.4 La technologie de batterie

La batterie a toujours été considérée comme étant la limite la plus fondamentale qui affecte extrêmement le développement et la promotion des VEs. En effet les batteries des VEs doivent être dimensionnées de telle sorte qu'elles stockent suffisamment d'énergie (kWh) et fournissent une puissance (kW) suffisante, pour que le véhicule ait la performance d'accélération et la capacité de répondre aux

cycles de conduite appropriée afin de satisfaire les exigences de la portée dans la conduite réelle. Ces exigences varieront considérablement en fonction des paramètres et des caractéristiques qui définissent la performance des VEs.

II.2.4.1 Paramètres clés des batteries

Les différents paramètres caractérisant les performances des batteries sont résumés dans les points suivants [25] :

- ✓ **Énergie spécifique (Wh/kg)** : elle est définie par la quantité d'énergie qu'une batterie peut stocker par unité de masse. Elle est exprimée en Watt-heure par kilogramme (Wh / kg). L'énergie spécifique est le paramètre clé pour déterminer le poids de la batterie nécessaire pour atteindre une gamme électrique donnée. Une batterie avec une énergie spécifique plus élevée sera plus légère qu'une batterie de capacité similaire avec une énergie spécifique inférieure. Donc une batterie à haute densité d'énergie est typiquement un avantage.
- ✓ **Densité d'énergie (Wh/l)** : elle est également appelée densité d'énergie volumétrique et exprimée en Watt heure par litre (Wh/l), traduisant l'énergie nominal de la batterie par unité de volume. Elle détermine la taille de la batterie nécessaire pour atteindre une gamme électrique donnée.
- ✓ **Densité de puissance (W/kg)** : la densité de puissance d'une batterie est liée à sa densité d'énergie, ainsi qu'à la capacité de la batterie à décharger rapidement. Elle représente la puissance que peut délivrer l'unité de masse.
- ✓ **Durée de vie de la batterie** : elle définit le temps écoulé avant qu'elle ne soit inutilisable
- ✓ **Cycle de vie** : c'est le nombre de fois qu'une batterie peut être complètement chargée/déchargée avant d'être dégradée à 80% de sa capacité d'origine à pleine charge [26].

II.2.4.2 Types des batteries

Actuellement, lithium ion (li-ion) et nickel-metal hybride (Ni-MH) sont les deux batteries leader, utilisées dans les voitures électriques en raison de leur forte performance relative aux spécifications résumées et citées dans le tableau 2.2.

- ✓ **Lithium-ion** : dans les batteries lithium-ion (Li-ion), les ions lithium se déplacent entre l'anode et la cathode pour produire un flux de courant qui permet la charge et la décharge [25]. Les caractéristiques techniques de la cellule de base comprennent sa densité et sa tension qui dépend de la chimie utilisée. Les batteries li-ion sont des sources d'énergie omniprésentes pour les dispositifs et sont utilisées dans la plupart des équipements portatifs comme les ordinateurs portables, les téléphones portables et les appareils photos. Comparativement aux technologies alternatives de batterie [27], les batteries Li-ion fournissent l'un des meilleurs rapports énergie/poids (100- 250) Wh/kg [28] et une durée de vie relativement longue (1200-2000) cycles. D'autant plus les batteries Li-ion ne présentent pas d'effet mémoire et ont un faible taux

d'auto-décharge lorsqu'elles ne sont pas utilisées. Ces caractéristiques ont fait des batteries Li-ion, les principaux candidats pour la prochaine génération d'applications. Toutefois, le prix de ces batteries reste un inconvénient majeur [29].

- ✓ **Ni-MH:** les piles Ni-MH utilisent l'oxyhydroxyde de nickel pour l'électrode positive et le cadmium métallique pour l'électrode négative. Les batteries Ni-MH ont été la chimie de choix pour les applications VEB et VEH/VEHR jusqu'à l'année 2006, en raison de leur densité de puissance relativement élevée (150-400) W/kg, de leur énergie spécifique (60-120) Wh/kg, de leur sécurité éprouvée, de leur bonne tolérance aux abus et de leur très longue durée de vie (600-1200) cycles [14]. Cependant, les principaux défis liés aux batteries Ni-MH sont leur coût élevé, leur auto-décharge élevée, leur production de chaleur à des températures élevées, ainsi que la nécessité de contrôler leur perte d'hydrogène.

Tableau 2-2 Caractéristique des différents types des batteries utilisées dans les VEs

Type	Densité de puissance (W/kg)	Énergie spécifique (Wh/kg)	Densité d'énergie (Wh/L)	Cycle de vie (Cycles)	Auto-décharge
Pb-Acid	70-80	20-35	200	2000	faible
Li-Ion	1500	100-200	jusqu'à 600	500-2000	faible
Ni-MH	2000	60-80	350	<3000	grande

Les attentes du marché d'automobile ont indiqué que le lithium-ion (li-ion) est la technologie préférée dans le secteur des VEs. En effet, dans un rapport de recherche présenté dans [30] les auteurs ont prévu qu'environ 80% des véhicules électriques nouvellement immatriculés en 2015 allaient être alimentés par la technologie des batteries Li-ion.

Le Tableau (2.3) [20] approuve ce rapport, où on constate que presque tous les véhicules électriques (VEBs ou VEHRs) disponibles sur le marché aujourd'hui utilisent des batteries Li-ion en raison de sa technologie mature et du potentiel d'obtention d'une énergie et d'une densité d'énergie plus élevées. Il convient de noter qu'il existe plusieurs types de batteries Li-ion basées sur une chimie similaire mais certainement différente.

Tableau 2-3 Batteries utilisées dans les VEs (Meilleure vente en 2016) [20]

Type du véhicule	Model du véhicule	Batterie
VEHR	Toyota Prius	Lithium-ion
VEHR	Chevrolet Volt	Lithium-ion
VEB	Mitsubishi iMiEV	Lithium-ion
VEB	BMW i3	Lithium-ion
VEB	Nissan Leaf	Li-manganese
VEB	Tesla Model 3	Lithium-ion
VEB	Kia Soul EV	Lithium-ion polymère
VEB	Tesla model S	Lithium-ion

II.2.5 Infrastructure et options de recharge des véhicules électriques

Une des différences majeures entre les VEs et les véhicules classiques est leurs capacités d'être rechargée à partir du réseau électrique. En tant que tel, l'infrastructure de recharge est un élément critique nécessaire pour accueillir et soutenir la réussite du déploiement des VEs. Elle est composée de deux domaines principaux : les installations de recharge et les dispositifs de charge. Les installations de recharge peuvent être catégorisées en recharge à domicile et publique. Les installations de recharge publique peuvent être identifiées comme des stations de recharge rapides et des stations d'échange de batteries. Pendant ce temps, les dispositifs de charge peuvent être classés en tant que chargeurs conducteurs et chargeurs inductifs [31]. La conception des chargeurs et de l'infrastructure de recharge est différente d'un pays à un autre en fonction des configurations spécifiques selon la fréquence, la tension, la connexion au réseau électrique et les normes de transmission [32]. Les différentes options de recharge avec leurs dispositifs sont résumées dans les points suivants.

II.2.5.1 Charge conductrice (enfichable)

Ce type de charge recommande une connexion d'alimentation qui assure la connexion physique entre la station et le VE pour transmettre le flux d'énergie électrique [33], ainsi qu'une infrastructure de communication dédiée, fiable, sécurisée et capable d'assurer la charge nécessaire pour atteindre la prochaine destination. Les équipements employés dans une charge enfichable sont :

1) Borne de recharge : c'est l'équipement, relié à une source d'alimentation électrique, qui fournit le courant alternatif (AC) ou l'alimentation en courant continu (DC) au VE nécessaire pour charger les batteries de traction du véhicule. Il est important de prendre en considération les options de la capacité des bornes de recharge (figure 2.3) car elles ont une influence directe sur la

vitesse à laquelle les batteries peuvent être rechargées. Par exemple, la borne de niveau 2 est disponible en capacité de 20, 30 et 40 ampères et un ampérage plus élevé équivaut à des temps de recharge plus rapides [34].



Figure 2-3 Modèle des bornes de recharge

2) Le chargeur : c'est un dispositif important, embarqué dans le VE pour convertir l'alimentation alternative (AC) de la borne en courant continu (DC) nécessaire pour charger les batteries. Cependant, le chargeur doit avoir la capacité de correspondre à la sortie de la borne de recharge [34]. En pratique, Le chargeur de batterie peut être un chargeur interne (installé à l'intérieur du VE) comme il peut être un chargeur externe (palace à poste fixe à l'extérieur du VE). Le chargeur embarqué est conçu avec un faible taux de charge et est dédié à la charge de la batterie pendant une longue période de temps (généralement 5 à 8 h pour la pleine charge). En raison de la limitation de la charge utile admissible et de l'espace du VE, le chargeur embarqué doit être léger (généralement inférieur à 5 kg) et compact. D'autre part, le chargeur extérieur est conçu avec un taux de charge élevé et n'a pratiquement aucune limitation sur son poids et sa taille. Le chargeur du véhicule électrique peut être soit unidirectionnel ou bidirectionnel. Cependant, le chargeur unidirectionnel permet l'acheminement de l'énergie de la source vers la batterie. Alors que l'alternative du chargeur bidirectionnel permet à la grille du réseau électrique de recevoir l'énergie de la voiture [35].

3) Connecteur de véhicule électrique : la connexion d'un véhicule électrique à une borne de recharge nécessite un câble équipé de connecteurs pour correspondre à la prise de sortie de la borne et la prise d'entrée du véhicule. Le connecteur assure la connexion physique entre la borne et le VE [36]. La plupart des câbles ont un connecteur à chaque extrémité (pour raccorder la prise du chargeur et l'entrée du véhicule) où ils sont attachés, ce qui signifie que le câble est fixé de façon permanente à l'unité de charge. Il existe actuellement trois connecteurs prédominants (figure 2.4): le connecteur SAE J1772 (développé par l'organisme de développement américain SAE), le connecteur CHAdeMO (développé par l'organisme japonais de développement de normes

automobiles) et le connecteur Supercharger développé par Tesla utilisé exclusivement pour la charge Tesla électrique automobile [37].



Figure 2-4 Trois connecteurs prédominants pour les véhicules électriques

4) Port d'entrée du véhicule électrique : c'est le dispositif placé sur le véhicule électrique pour assurer la connexion physique entre le VE et le connecteur de la borne de recharge (figure 2.5). Certains VEs possèdent plus d'un port d'entrée et leurs emplacements varient d'un véhicule à un autre.

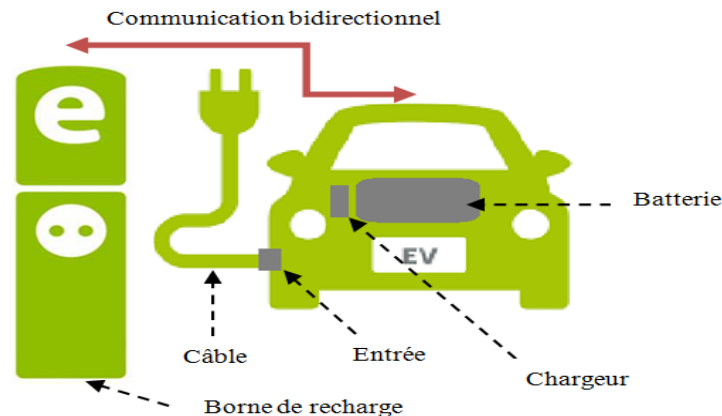


Figure 2-5 Schéma illustratif des équipements de recharge conductrice

Pour des raisons de puissance de recharge et de sécurité de l'utilisateur, les chargeurs et les câbles associés se répartissent en trois catégories selon le niveau de tension et de puissance, la quantité maximale d'énergie en kilowatts fournie à la batterie, le type d'alimentation (en courant continu ou alternatif) et l'emplacement de la station (privée ou publique) (tableau 2.4) [38].

- ✓ **Charge de niveau 1 :** Elle utilise une prise de courant alternatif (AC) de 120 Volts (V) avec une sortie monophasée standard pour une connexion à trois branches. Les valeurs de courant typiques pour ces prises sont comprises entre 15 et 20 Ampères [34]. Selon le type de batterie et sa capacité, une charge complète varie d'un VE à un autre. Cependant, le taux de charge de niveau 1 est le plus lent et peut prendre entre 8 à 20 heures avec un taux de charge entre 1 et 3 KW. Etant donné que les prises électriques standards sont disponibles presque partout et que le temps de

charge est relativement long, la charge de niveau 1 est particulièrement adaptée pour le chargement privé pendant la nuit. Le fonctionnement et le coût d'installation du chargeur correspondant sont relativement modérés puisque la puissance et le courant requis ne sont pas des valeurs critiques [39].

- ✓ **Charge de niveau 2:** Elle utilise une prise de courant alternatif de 240 Volts. La charge de niveau 2 est la méthode standard pour les installations privées et publiques dédiées. Selon la norme SAE J1772, la charge de niveau 2 permet un courant maximal allant jusqu'à 80 Ampères avec un disjoncteur de 100 Ampères. Il peut exiger un équipement dédié et une installation de connexion pour les unités domestiques ou publiques [40], bien que des véhicules tels que les Tesla disposent de l'électronique de puissance à bord et ne nécessitent que la sortie [39]. La charge de niveau 2 peut prendre entre 3 et 8 heures, encore une fois en fonction de la capacité de la batterie du véhicule. Les taux de charge se situent entre 6 et 20 KW. Les propriétaires semblent préférer la technologie de niveau 2 en raison de son temps de charge plus rapide et d'une connexion normalisée véhicule-chargeur. Cependant, le fonctionnement et le coût d'installation du chargeur correspondant sont relativement plus élevés que ceux du niveau 1.
- ✓ **Charge de niveau 3 :** C'est une charge DC à haute tension et à débit accéléré pour des applications commerciales et publiques. Elle est destinée à fonctionner de manière similaire à une station de service d'essence commerciale, dans la mesure où la recharge est rapide [37]. La charge de niveau 3 réduit considérablement le temps de charge, ce qui permet une longue distance. Elle fonctionne typiquement avec un circuit triphasé de 480 V ou plus et exige un chargeur hors-bord pour fournir le courant alternatif de conversion régulé. En pratique, la taille de l'équipement varie de 60 à 150 KW, et les véhicules électriques à batterie arrivent à atteindre une charge de 50% en 10 à 15 minutes [41].

Tableau 2-4 Comparaison entre les différents niveaux de charge

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Voltage	120 V	208-240 V	200-480V
Type de courant	AC	AC	DC
Temps de recharge	6-12h	3h	20min
Connecteur	J 1772	J 1772	J 1772 ; CHAdeMO , Supercharger

Puissance	1.4 KW	6-20 KW	50 KW
------------------	--------	---------	-------

Sachant que le temps de recharge rapide est directement lié à la puissance, plus la source est puissante plus le temps de charge est réduit. Par contre, il est fortement conseillé de privilégier la recharge lente à la recharge rapide. En effet, la recharge lente permet une charge complète de la batterie (mais plus longue), et surtout elle n'engendre pas les mêmes contraintes en courant que la charge rapide. De ce fait, la durée de vie des batteries est réduite avec des recharges rapides répétitives et ce dernier type de recharge doit être occasionnel. Ces différents scénarios de recharges exigent que les structures de l'électronique de puissance soient capables de s'adapter facilement à la source d'énergie disponible.

II.2.5.2 Station de remplacement de batterie

Les stations de remplacement de batteries proposent des batteries chargées et récupèrent les batteries épuisées pour les charger et les réutiliser ultérieurement [42]. Cette approche est avantageuse par le temps d'attente pour le remplacement d'une batterie qui ne prend pas plus de quelques minutes en tout (figure 2.6). Par ailleurs, cette technique permet au fournisseur de services de récolter les avantages d'un prix d'énergie plus bas pour la recharge en dehors des heures de pointe. Malgré l'avantage d'un temps d'attente très réduit, les stations d'échange de batteries n'ont pas encore connu de succès en raison de deux grands défis traduits par le coût initial élevé pour le déploiement du système et les difficultés d'assurer des performances identiques entre toutes les batteries interchangeables. Le coût élevé est dû essentiellement au besoin de maintenir des stocks suffisants de batteries chargées à chaque station de charge [43].

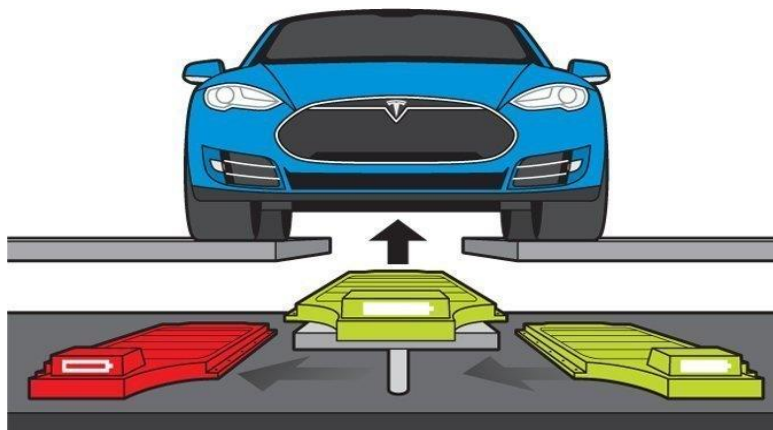


Figure 2-6 Système de remplacement de batterie

II.2.5.3 Charge inductive

La charge inductive, également connue sous le nom de charge sans fil, est une technologie émergente permettant la recharge des VEs sans l'utilisation d'une connexion câblée (figure 2.7). Elle est

essentiellement basée sur deux bobines, l'une construite dans une route, dans une place de parking ou dans un garage, et l'autre adaptée à la sous-caisse du véhicule. En conjonction avec des condensateurs appropriés, ces bobines forment une sorte de système d'antennes résonnantes pour le transfert d'énergie [39]. Dans la charge inductive, le système crée un champ électromagnétique localisé autour du plot de charge, activé lorsque le véhicule est positionné au-dessus de celui-ci et donc le champ induit un courant dans le tampon de réception, fournissant le courant qui recharge la batterie. Plus les deux bobines sont rapprochées les unes des autres plus l'énergie est efficacement transférée [44]. Des distances plus grandes entre les bobines d'émission et de réception peuvent être obtenues lorsque le système de charge inductive utilise un couplage inductif résonnant. Les améliorations récentes de ce système incluent l'utilisation d'une bobine de transmission mobile, et l'utilisation de matériaux pour la bobine de réception en cuivre plaqué d'argent ou en aluminium [45]. Les temps de charge entre la charge sans fil et la charge enfichable sont les mêmes, car ils dépendent de la puissance nominale du système de charge, où le temps de charge est alors un simple cas de division de l'énergie requise par la quantité de puissance transférée dans le système. Si cette technologie est installée sur les routes, il pourrait être possible de charger les VE lorsqu'ils roulent dessus. Ce processus est connu sous le nom de charge dynamique. Cette dernière permettrait aux conducteurs de charger leurs véhicules en circulant sur des routes équipées du système de charge dynamique [42]. De même, la recharge sans fil pourrait être très intéressante pour les VE, permettant ainsi aux conducteurs de recharger les batteries de leurs voitures, juste en stationnant au bon endroit [41]. Cependant, ces dispositifs, qui évitent simplement l'utilisation des câbles enfichables, sont intrinsèquement coûteux, en plus d'une perte d'énergie substantielle.

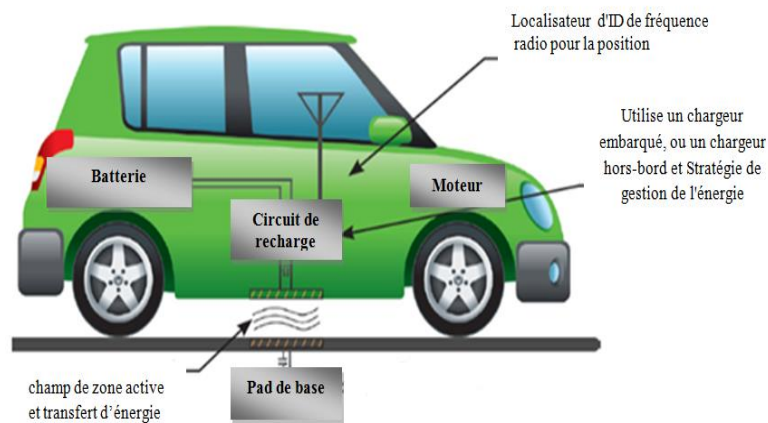


Figure 2-7 Schéma illustratif de charge inductive

II.3 Réseau électrique intelligent

II.3.1 Intérêt du réseau électrique intelligent

Tout au long du XXe siècle, le réseau électrique a été établi pour fournir l'énergie adéquate et abordable aux foyers, aux entreprises et aux usines. Néanmoins, aujourd'hui nous vivons dans une société high-tech et la consommation électrique a explosé. Par conséquent la grille du réseau électrique traditionnelle a commencé à souffrir non seulement à cause de la croissance accrue de la surcharge électrique par rapport à la croissance démographique mais aussi à cause du vieillissement de son infrastructure par rapport à l'électrification des nombreux services et d'applications à l'instar du véhicule électrique, téléphones portables... Les contraintes sur le système s'aggravent à un moment où les pannes et les problèmes de la qualité d'électricité ont eu tendance à survenir plus souvent, représentant ainsi des risques importants à tous les niveaux du système électrique (production, transmission, distribution). La prise en charge de ces pannes électriques devient de plus en plus extrêmement coûteuse.

Par ailleurs, l'électricité est inévitablement conditionnée par le fait que la production et la demande doivent être en équilibre instantané et permanent [46]. Néanmoins, la demande d'énergie dans le réseau peut varier énormément au cours de la journée et l'absence d'informations précises sur cette demande a rendu le système électrique existant inadapté pour répondre aux exigences de la bonne gestion électrique ; ce qui multiplie les pertes et le gaspillage d'énergie. Ce comportement dynamique ne détermine pas seulement la capacité de production requise, il détermine également la capacité de transmission et de distribution du réseau. La grille du réseau électrique doit être capable de gérer les pics les plus élevés. Cependant, la demande croissante a engendré davantage de pression sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, ce qui rend très difficile l'équilibre entre l'offre et cette demande de pointe [46]. Ce qui est intéressant dans une telle situation, c'est l'utilisation de la technologie de communication (communications bidirectionnelles entre le réseau et les locaux du client) et de fournir des incitations (par exemple, par des prix variables) au consommateur pour reporter leurs charges aux périodes où la demande escomptée est plus faible afin d'améliorer l'utilisation de la capacité disponible. Cela nécessite le transfert du flux d'informations des compteurs électriques disposés au niveau des locaux des clients vers la grille électrique pour identifier la demande, contrôler la consommation et contraindre le client à adapter sa demande (par exemple par incitation sur les prix) [47].

En outre, l'autre problème auquel la grille électrique doit faire face aujourd'hui concerne la forte interconnexion de son infrastructure. Cependant, un changement de n'importe quel emplacement peut avoir des impacts immédiats sur une zone étendue et l'effet d'une perturbation locale peut même être amplifié lorsqu'il se propage à travers un réseau. Par conséquent, des pannes en cascade à grande échelle peuvent survenir, presque instantanément et avec des conséquences sur des régions éloignées ou des entreprises apparemment non liées [48]. A cela s'ajoute, le désir de la société à réduire l'empreinte du réseau électrique sur l'environnement. Une génération plus distribuée basée sur des énergies renouvelables

est fortement souhaitée. Malheureusement, ces énergies renouvelables sont souvent basées sur des panneaux solaires, ou sur des éoliennes et restent incontrôlables et très fluctuantes, nécessitant une grille électrique capable de faire face à la nature variable de ces ressources renouvelables.

Etant donné que le réseau électrique traditionnel est incapable de supporter toutes les fonctionnalités susmentionnées, les gouvernements ont jugé utile le développement d'une nouvelle grille électrique plus intelligente basée sur les TICs, sur des systèmes de contrôle intelligents et sur une production distribuée déterministe pour répondre à tous ces problèmes et changer la façon dont l'électricité est produite et consommée [47].

II.3.2 Concept du réseau électrique intelligent

De nombreuses définitions sont disponibles pour expliquer le concept du réseau électrique intelligent (ou Smart Grid) [48], [50]. Cependant, toutes les études sont unanimes pour définir le réseau électrique intelligent comme un concept d'infrastructures dynamiques en temps réel, intégrant les TICs pour numériser le réseau électrique traditionnel et le rendre plus intelligent afin de prendre en charge de nouveaux services interactifs d'énergie avec une meilleure qualité de service. En ce sens, le réseau électrique doit être toujours disponible, interactif, interconnecté et étroitement couplé avec tous les éléments qui lui sont connectés (générateurs, réseaux d'opérateurs, utilisateurs finaux et acteurs du marché de l'électricité).

La qualité de service potentielle du réseau électrique intelligent inclut une fiabilité et une qualité d'énergie améliorées, une réduction de la demande de pointe, une réduction des coûts de congestion de la transmission, une efficacité énergétique accrue, des avantages environnementaux obtenus par une utilisation d'installations distribuées, une sécurité renforcée, une durabilité et une facilité de réparation en réponse à des attaques malveillantes ou à des événements naturels indésirables [51]. Toutefois, si les avantages escomptés d'un réseau électrique intelligent, doivent être atteints, il est important de déterminer les caractéristiques et les composants capitaux de la grille intelligente. A cet effet, l'architecture ainsi que les domaines et les composants du réseau intelligent seront présentés dans la suite.

II.3.3 Architecture du réseau électrique intelligent

Fondamentalement, grille électrique est utilisée pour définir un système d'électricité pouvant soutenir tout ou une partie des quatre opérations suivantes: la production, la transmission, la distribution et le contrôle [52], [53]. Traditionnellement, la grille du réseau électrique est strictement hiérarchique, dans laquelle les centrales génératrices d'électricité situées au sommet de la chaîne électrique, assurent la livraison d'énergie à la demande des clients en bas de la chaîne électrique [53]. L'architecture de la grille électrique traditionnelle est caractérisée principalement par une génération d'électricité centralisée à sens unique où la source n'a pas d'informations en temps réel sur les paramètres des services des consommateurs finaux. Une représentation typique de cette grille est donnée dans la figure 2.8.

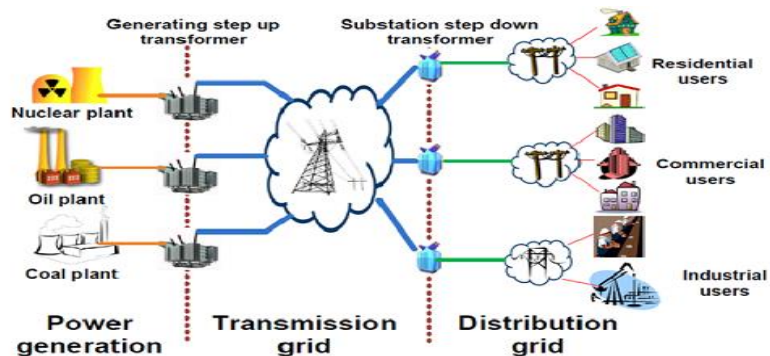


Figure 2-8 Architecture de la grille traditionnelle

Toutefois dans le réseau électrique intelligent, la direction de flux d'énergie n'est pas seulement descendante des centrales électriques aux consommateurs, mais plutôt bidirectionnelle [51], ce qui permet à tous les éléments de cette grille de fournir et de consommer de l'énergie. Parallèlement à ce flux énergétique, la communication entre ces éléments est aussi bidirectionnelle. De cette façon l'échange de grandes quantités d'informations en temps réel à différents niveaux du réseau, est assuré, permettant ainsi une coordination efficace et une meilleure surveillance des besoins et des capacités dans l'exploitation électrique [50]

En effet, l'architecture du réseau électrique intelligent est constituée de trois couches (tableau 2.5) [54] : la couche d'applications ou services, la couche de communication et la couche d'énergie. Ces trois couches englobent sept domaines et chaque domaine inclut un ou plusieurs acteurs du RI, y compris les dispositifs, les systèmes ou les programmes qui prennent les décisions d'échanges d'informations nécessaires à l'exécution des applications [49].

Les trois couches ainsi que les domaines de chaque couche sont détaillés dans le tableau 2.5.

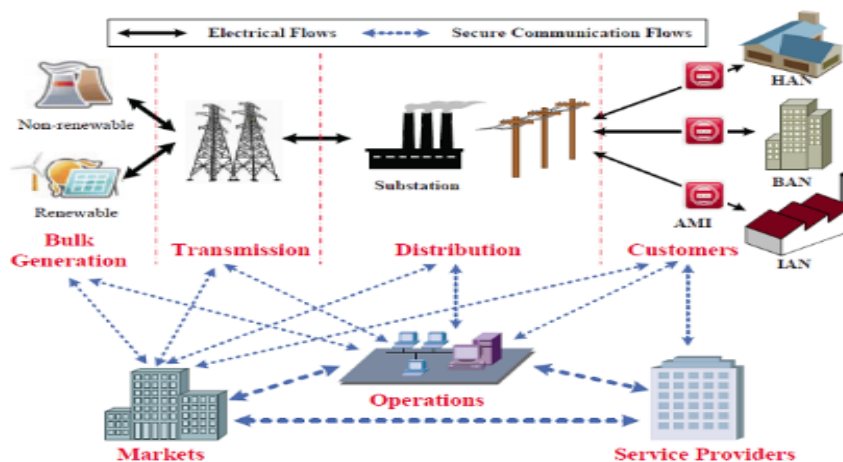


Figure 2-9 Modèle conceptuel du réseau électrique intelligent proposé par le NSTI [48]

✓ *Couche de communication*




Comme montré dans le tableau 2.6, différentes technologies de communication supportées par deux moyens de communication câblés et sans fil, sont adoptées dans le nouveau paradigme du réseau électrique intelligent pour la transmission de données entre des compteurs intelligents et des services d'électricité [55]. Dans certains cas, les communications sans fil présentent certains avantages par rapport aux technologies filaires, telles que l'infrastructure à faible coût et la facilité de connexion à des zones difficiles ou inaccessibles. Cependant, la nature de la voie de transmission peut provoquer l'atténuation du signal. D'autre part, les solutions câblées n'ont pas de problèmes d'interférence et leurs fonctions ne dépendent pas des piles, comme le font les solutions sans fil.

Tableau 2-5 Couches et domaines dans le modèle conceptuel du NIST du réseau intelligent [54]

Couche	Description	Domaine	Commentaire
Couche d'applications/ services	Responsable de la mesure, de la surveillance et de la gestion avancée de l'information dans le contexte du réseau intelligent.	Marchés	Les opérateurs et les participants aux marchés de l'électricité
		Fournisseurs de services	Les organisations fournissant des services électriques aux clients et aux publics.
		Opérations	Les gestionnaires du mouvement de l'électricité.
Couche de communication	Responsable de la connectivité de la communication et de la transmission de l'information entre les systèmes, les dispositifs et les applications dans le contexte de la grille du RI	(Voir tableau 2.6)	
Couche d'énergie (génération et consommation d'énergie)	Responsable de la production, de la livraison et de la consommation d'électricité de pointe	Génération	Les générateurs d'électricité peuvent également stocker de l'énergie pour une distribution ultérieure.
		Transmission	Les porteurs d'électricité sur de longues distances.
		Distribution	Les distributeurs d'électricité à destination et en provenance des clients peuvent aussi stocker et produire de l'électricité.
		Consommateur	Les utilisateurs finaux de l'électricité peuvent également générer, stocker et gérer l'utilisation de l'énergie.

En général, les différents segments d'un réseau électrique ainsi que les différentes applications de réseaux intelligents, nécessitent différents types de réseaux de communication, conduisant à un système de communication hautement hétérogène. Par exemple, le réseau de transport qui couvre une grande zone géographique a besoin d'une technologie de communication avec une grande couverture. En outre, ces exigences de communication pour le réseau intelligent ont été précisées dans [56] par le Department of Energy, USA. Elles sont données dans le tableau 2-6

Tableau 2-6 Technologies de communication utilisées dans le smart Grid

	 Réseau local (HAN)	 Réseau de zone (FAN)	 Réseau étendu
Technologies filaires	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet • Débit de données élevé (véhicule électrique, multimédia) • Faible débit de données (maison, automatisation, véhicule électrique) • Pair de cuivre 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible débit de données PLC • Fibre (FTTH) • Câble de TV • Réseau téléphonique 	<ul style="list-style-type: none"> • PLC • Fibre • DSL
Technologies sans fils	<ul style="list-style-type: none"> • Wifi • Normes domotiques (ZigBee, Z-Wave) • Normes d'énergie et de mesure (M-Bus, KNX) • téléphone sans-fil numérique 	<ul style="list-style-type: none"> • RF point-to-point • RF maillage • Cellulaire (GPRS, 3G, 4G/LTE) • Wifi • WiMax • Satellite 	<ul style="list-style-type: none"> • Cellulaire (GPRS, 3G, 4G/LTE) • WiMax • Satellite

En outre, les auteurs [57] ont fourni un bref aperçu des différentes technologies de communication applicables aux stations de recharge VEHR. Ces technologies incluent les communications en ligne (PLC), IEEE 802.15.4 (Zigbee), ZWave et les réseaux cellulaires. Parmi ces technologies de communication, [58] a en outre proposé une plate-forme basée sur Zigbee pour tester les différents paramètres d'une station de charge VEHR. Techniquement, nous pouvons traiter les schémas de charge intelligents comme des algorithmes qui fonctionnent à l'intérieur, et deviennent une partie intégrante d'une grille intelligente.

II.3.4 Nouveau paradigme du réseau intelligent

Dans cette sous-section, nous décrivons deux des nouveaux paradigmes de grille les plus importants, qui bénéficient des technologies des sous-systèmes de l'énergie intelligente et qui favorisent également le développement du RI.

II.3.4.1 Micro-grille

La génération distribuée favorise le développement d'un nouveau paradigme de grille, appelé micro-grille, considéré comme l'une des pierres angulaires des réseaux électriques intelligents futurs. Une micro-grille est un regroupement localisé de générateurs d'électricité, de réserves d'énergie et de charges. En fonctionnement normal, il est connecté à un réseau électrique traditionnel (macro-grille). Les utilisateurs d'une micro-grille peuvent générer de l'électricité à basse tension à l'aide de la génération distribuée, comme les panneaux solaires, les éoliennes et les piles à combustible. Le point unique du couplage commun avec la macro-grille peut être déconnecté et la micro-grille fonctionne de façon autonome [46]. Cette opération aboutira à une micro-grille isolée, dans laquelle les générateurs distribués continueront à alimenter les utilisateurs de cette micro-grille sans obtenir la puissance de l'utilitaire électrique situé dans la macro-grille. Cependant, bien que ces utilisateurs n'obtiennent pas la puissance de l'extérieur en mode îlot, ils peuvent toujours échanger certaines informations avec la macro-grille. Par exemple, ils peuvent vouloir connaître l'état de la macro-grille et décider s'ils doivent se reconnecter à la macro-grille et obtenir la puissance de l'utilité électrique. Cela va correspondre à une fiabilité accrue, une pénétration élevée des sources d'énergie renouvelable, une auto-guérison, un contrôle actif de la charge et une amélioration des efficacités. Par exemple, pour réaliser l'auto-guérison pendant les pannes, les micro-grilles peuvent passer au mode îlot et, par conséquent, les utilisateurs des micro-grilles ne seront pas affectés par les pannes.

II.3.4.2 Production distribuée et intégration des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des énergies propres et présentent un atout majeur par rapport aux ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon) pour la production d'électricité. En outre, de leur caractère vert, les énergies renouvelables sont inépuisables. Cependant, leur production intermittente et imprévisible reste un défi critique associé à la difficulté de leur intégration dans le réseau électrique. Les avancées du réseau intelligent promettent une grande réponse à cet objectif. L'une de ces avancées est la production distribuée.

En effet, la production distribuée (de l'énergie solaire, des piles à combustible, de petites éoliennes et d'autres sources) et le stockage d'énergie (batterie, thermique et hydrogène) sont partout dans un réseau intelligent. Ce ne sont pas des acteurs marginaux, mais des éléments hautement influents et intégrés du réseau énergétique. Ils fournissent une diversité énergétique, réduisent la demande de centrales à combustibles fossiles et augmentent la redondance de l'offre et la fiabilité du système. La répartition de la

production d'énergie à partir de sources renouvelables augmente également la résilience du réseau en cas de perturbations généralisées (les pannes) [51].

Cependant, de nombreuses charges et ressources connectées au futur réseau intelligent ne seront plus stationnaires. Des percées dans la technologie de la batterie rendent les véhicules électriques (VEs) enfichables commercialement viables. À tout moment de la journée, des dizaines de millions de VEs seront connectés à la future grille électrique dans les parcs de stationnement, près des maisons, des lieux de travail et des centres commerciaux. Ces VEs représenteront à la fois les charges mobiles et les sources potentielles d'énergie. Les systèmes de batteries de ces véhicules seront chargés ou déchargés au moyen de protocoles de coordination sophistiqués afin d'atténuer les fluctuations de la demande d'énergie dans différentes parties du réseau, d'éviter les goulets d'étranglement de transmission de puissance et de rendre le réseau plus stable. Les contrôleurs seront en mesure de répondre aux signaux d'état du système de puissance tels que les tensions et les fréquences ainsi que les signaux du marché tels que les prix de l'électricité en temps réel [51].

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude générale des deux immenses systèmes qui ont été développés ces dernières années pour contribuer à la transition énergétique pour un environnement plus propre. Ces systèmes concernent les véhicules électriques et la grille du réseau électrique intelligent. Cependant, nous avons divisé notre présentation en deux parties. Dans la première partie, on a passé en revue le développement technologique des éléments clés permettant au véhicule électrique d'émerger à nouveau. Dans la deuxième partie nous avons présenté le contexte et les technologies basiques conçues pour le développement du réseau électrique intelligent.

Suite à cette étude, nous pouvons conclure que les deux technologies sont fortement dépendantes l'une de l'autre, étant donné que les VEs ne peuvent se déplacer sans charger leurs batteries à partir du réseau électrique. L'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent est une évidence, mais cette intégration a deux impacts sur le système électrique. Un impact de la demande supplémentaire sur les ressources d'approvisionnement, car même lorsque les ressources d'alimentation électrique sont suffisantes pour alimenter les charges dans les périodes creuses, l'alimentation de ces charges peut introduire des problèmes localisés dans le réseau de distribution. L'autre impact concerne le stockage d'énergie électrique connecté au réseau de distribution d'énergie qui a le potentiel d'améliorer la performance du RI en fournissant une capacité et une énergie supplémentaires à la demande, par exemple pendant des périodes de pointe de demande d'énergie.

Nous allons présenter dans le chapitre suivant une étude approfondie de l'état de l'art sur l'intégration des véhicules électriques dans la grille du réseau électrique intelligent.

Chapitre III : Intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent

III.1 Introduction	41
III.2.1 Défis de la technologie de la batterie.....	41
III.2.2 Infrastructure et déploiement de station de recharge.....	42
III.3 Grille à véhicule (G2V).....	44
III.3.1 Concept du G2V	44
III.3.2 Travaux existants	44
III.4 Véhicule à Grille (V2G)	48
III.4.1 Concept de Véhicule à Grille	48
III.4.3 Travaux existants sur le Véhicule à Grille.....	49
III.5 Conclusion.....	49

III.1 Introduction

L'entreprise du système d'énergie électrique a été témoin de nombreux développements récents, qui non seulement ont relancé l'intérêt pour la recherche et le développement, mais ont également donné lieu à des avantages socio-économiques importants. Les forces conjointes des leaders technologiques, ayant des compétences variées liées aux smart grid (SG) et au système de transport intelligent (ITS), ont abouti à la création d'un riche ensemble de cas d'utilisation prospectifs, de scénarios d'applications et de technologies d'activation correspondantes pour une future intégration SG-ITS [59]. En conséquence, l'interaction et l'intégration des véhicules dans le réseau électrique intelligent engendrent des opportunités pour leur exploitation et planification, mais aussi de nombreux défis [60]. Dans un concept de G2V, les véhicules électriques constituent une nouvelle charge dynamique sur les réseaux, difficile à planifier et pouvant conduire à des problèmes à différents niveaux du réseau mettant en danger son fonctionnement sécurisé [61]. Néanmoins les véhicules, utilisés dans un contexte du V2G, auront le potentiel de décharger l'énergie stockée dans leur batterie pour servir le réseau électrique intelligent comme des ressources de stockage distribuées [62]. Le concept V2G a attiré l'attention des opérateurs du réseau et des propriétaires de VEs et de nombreuses études ont été lancées [63], [65]. Cependant, dans la phase initiale de développement, les chercheurs ont jugé la recharge plus commode et les approvisionnements en électricité à partir des VEs plus avantageux [66]. La première interface entre le RI et le STI est constituée d'unités de recharge des VEs, qui offrent une assurance pour les utilisateurs et la flexibilité pour l'utilitaire [67]. Ceci exige une grande intelligence pour la modernisation et l'unification des infrastructures de transport, de rechargement et de communication [49]. Les principales percées technologiques incluent la technologie des batteries et son économie [68], l'intégration transparente et stable de diverses sources d'énergie renouvelables [69] et le développement de plates-formes performantes de services de contrôle de charge.

Dans ce chapitre, nous soulignons une gamme de travaux de recherche qui ont été présentés dans la littérature pour étudier les concepts de G2V et V2G.

III.2 Axes de recherche communs V2G/G2V

Il y a plusieurs défis basiques qui doivent être encore surmontés pour permettre une intégration adéquate des VEs dans le réseau électrique intelligent notamment le développement de la technologie batterie et de l'infrastructure de recharge intelligente appropriées aux attentes des conducteurs.

III.2.1 Défis de la technologie batterie

La technologie des batteries domine les recherches scientifiques de l'industrie automobile, car elle a une forte incidence sur l'intégration des VEs dans le réseau électrique intelligent, quel que soit le concept utilisé G2V ou V2G. Cependant, des avancées significatives sont enregistrées dans le développement des composants et des systèmes de stockage [70], [71] ainsi que des systèmes de gestion

de la batterie permettant la charge/décharge depuis et vers la grille [72], [75]. Des études traitent aussi l'impact de la charge/décharge sur la durée de vie et la capacité des batteries [76], [77].

III.2.2 Infrastructure et déploiement de station de recharge

Afin d'optimiser les tâches liées à la charge/décharge, les véhicules doivent collaborer avec une infrastructure intelligente [78]. Pour répondre à cet objectif, l'industrie automobile a déployé des efforts considérables pour explorer et mettre en place une infrastructure fiable et hautement efficace. Cela comprend le développement des systèmes de recharge nécessaires, capables de transférer de l'énergie à des vitesses comparables aux pompes à essence et de la haute puissance via des interfaces câblées ou sans fil entre le véhicule et l'infrastructure de recharge, ainsi que l'automatisation du processus et l'exploitation des TICs pour différents objectifs comme le contrôle de la charge [79], [80]. Toutefois, de nouvelles technologies de communication sont également prévues d'être développées conjointement avec des technologies de charge non-traditionnelles, telles que la charge mobile sans fil [81].

Un certain nombre d'études ont porté sur la planification et le choix du site des stations de recharge pour les véhicules électriques [82]. De nombreux auteurs se sont concentrés sur l'optimisation du profit du système, que ce soit en minimisant le coût d'investissement dans les installations ou en minimisant les pertes techniques qui peuvent être liées à une zone géographique où les stations vont être positionnées. Dans [83], on trouve un modèle de stratégie de planification à plusieurs objectifs pour maximiser le flux de trafic vers les installations de charge et minimiser les coûts d'investissement et d'exploitation du système de distribution. Cependant, l'estimation de la demande des VEs n'est pas bien traitée dans le modèle et les auteurs ne considèrent qu'un niveau de pénétration fixe des VEs. Leur modèle choisit le nombre minimum des stations de recharge ayant des niveaux élevés de flux de trafic, mais ce nombre ne peut pas être adéquat pour répondre à la demande des VEs, ce qui peut entraîner des problèmes de trafic si les capacités de chargement ne sont pas dimensionnées. Dans [84], le positionnement et le calibrage de la station de charge rapide sont obtenus à l'aide d'une méthode P-center, développée en utilisant un MIP (*Mixed Integer Program*). La demande de chargement rapide est considérée dans cette étude comme une demande urgente, et le budget d'investissement pour répondre à cette demande est fixé, ce qui peut conduire à un dimensionnement insuffisant lorsque le budget est dépassé. Il est important de tenir compte de l'évaluation économique et de la disponibilité des investissements dans l'étude du déploiement optimal des stations de recharge. Cependant, dans une telle modélisation les auteurs n'ont pas limité le nombre des stations ou leurs tailles afin d'obtenir une meilleure solution. Un cadre d'optimisation du trafic a été présenté dans [85] pour déterminer la planification optimale de la station de charge, mais la diversité des kilomètres parcourus et la variété des capacités des VEs ne sont pas prises en considération. Dans [86], une méthode optimale de localisation et de dimensionnement a été développée, où les emplacements et le nombre de chargeurs dans chaque station de charge sont déterminés en même temps compte tenu de la demande de charge avec l'utilisation d'une théorie de graphe. Dans [87], une approche d'optimisation non

linéaire mixte a été proposée pour optimiser le positionnement et le dimensionnement des stations de charge rapide sur les routes urbaines afin de minimiser le coût total du développement de la station de charge. Ces auteurs ont considéré un nouveau paramètre qui est la perte d'énergie due au chargement des véhicules et dépendant de la zone. Dans ce cadre, un algorithme génétique a été utilisé pour accomplir la modélisation proposée dans cette approche. Dans [88], les auteurs ont comparé la station de charge rapide et la station de remplacement de batteries et ils ont proposé une méthode de planification optimale. En tant que partie intégrante des systèmes de distribution et de circulation de l'électricité, les impacts des flux des VE n'ont pas été pris en compte lors de la conception de la stratégie de planification de la station de recharge. L'emplacement optimal de la station a été décrit dans [89] pour minimiser le coût de développement de la station. Dans une approche sensiblement différente, les auteurs de [90] ont formulé un problème de planification pour minimiser les pertes de puissance au niveau du système en optimisant le nombre de sorties de charge, installées dans différentes zones de stationnement. Le problème de planification consiste à installer moins de points de vente dans une zone qui subit des pertes de puissance plus élevées et qui reçoit moins de visites de VEHR. La formulation du problème a pris en considération les caractéristiques typiques de chargement des VEs et les caractéristiques statiques des véhicules qui apparaissent dans différentes zones de stationnement. D'un autre côté, les auteurs dans [91] ont étudié les emplacements optimaux d'un type spécifique d'installations de charge pour les véhicules électriques, à savoir les installations sans fil de transfert de puissance. Un modèle mathématique a été développé pour résoudre ce problème. L'objectif de ce modèle est de localiser un nombre d'installations de recharge sans fil pour les VEs. L'interaction entre les profils d'écoulement de trafic et l'emplacement des installations de charge est explicitement incorporée en appliquant le principe d'équilibre stochastique de l'utilisateur pour décrire le comportement de choix du routage des conducteurs des VEs. Tout d'abord, le problème est formulé en un programme non linéaire à nombres mixtes, deuxièmement une méthode de solution est développée pour obtenir la solution globale optimale du programme linéarité. Des expériences numériques sont présentées pour démontrer la validité du modèle.

D'autres travaux ont considéré le profit du propriétaire du véhicule, notamment dans [92] où les auteurs ont proposé une fonction objectif avec la minimisation de trois coûts, à savoir le coût annuel d'exploitation de la station, le coût d'investissement dans la station ainsi que le coût de recharge. La technique d'optimisation des essaims de particules a été adoptée pour calculer la solution du problème non-convexe. Dans [93], un modèle optimal d'allocation de station de charge est développé pour maximiser le bien-être social associé au transport routier et au réseau de transmission de puissance. Les auteurs dans [94] ont trouvé un emplacement optimal pour Lisbonne, qui maximise la disponibilité des stations pour les propriétaires des VEs.

Les travaux de recherche présentés ont contribué de façon satisfaisante à la planification des stations de recharge pour les VEs à partir de différents points de vue, comme la modélisation de la demande de charge, l'analyse de l'impact sur le réseau des VEs en tenant compte les comportements de

transport et la variété des stations de recharges (sans fil, rapide, échange de batterie). Cependant, certains aspects critiques, susceptibles d'accroître la précision des résultats, ont été négligés dans quelques travaux. A savoir, la variété des types de batteries et leurs capacités peuvent influencer la gamme des VEs, l'efficacité énergétique des différents modes de conduite peut également influencer sur la plage de déplacement, de sorte que ces variations entraîneront des résultats plus réalistes. La diversité des déplacements et des kilomètres n'a pas été considérée de la manière la plus approfondie possible. D'un autre côté presque tous les travaux ont écarté la quantification de la qualité du service de la station de charge, qui influence beaucoup sur la commodité du conducteur.

III.3 Grille à véhicule (G2V)

Dans cette section nous allons présenter le concept du G2V ainsi que les travaux existants dans la littérature lié à l'étude de cette technologie.

III.3.1 Le concept G2V

En G2V, les EV sont souvent alimentés par de l'électricité stockée à l'origine à partir d'une source d'alimentation externe, et doivent donc être chargés après l'épuisement des batteries. Cette technologie est conceptuellement simple. Cependant, du point de vue de la grille, l'une des questions les plus importantes dans G2V est que l'opération de charge des VEs entraîne une nouvelle charge importante sur les réseaux de distribution existants. Le G2V est un concept qui permet de pallier les risques d'augmentation des pics de consommation, mais mènerait toutefois à accroître la consommation totale d'électricité.

III.3.2 Travaux existants

Dans la littérature, de nombreux travaux ont été consacrés pour l'étude de l'intégration des VEs dans le RI dans le concept G2V, ces travaux portent essentiellement sur l'étude de l'impact des EV sur le réseau électrique et comment contrôler et gérer cette charge afin que l'interaction et l'intégration des VE dans le RI soit autant que possible avantageuse et sans contraintes

III.3.2.1 Impact de l'intégration des véhicules électriques sur le réseau électrique intelligent

Bien que l'électricité consommée par les VEs soit susceptible de rester faible par rapport à la demande globale d'électricité, les VEs pourraient augmenter de manière significative la charge de pointe du réseau électrique [61], [95]. En effet, des études estiment que d'ici 2020, plus de 10 % des véhicules américains seront en forme de VEHR ou VEB et peuvent imposer une pression supplémentaire qui va menacer la stabilité du système électrique si la charge du véhicule n'est pas gérée intelligemment [96], [97]. Cependant, afin de concevoir et de préparer les réseaux électriques intelligents pour l'adoption des VEs, il est nécessaire d'analyser les impacts que la charge des VEs aura sur eux. L'étude de ces impacts a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, présentés dans les références [97], [99], avec principalement deux objectifs, à savoir l'étude et l'analyse du niveau de charge des VEs pouvant être supporté par la grille, ou l'analyse de l'impact de charge non contrôlé sur la stabilité du réseau électrique

intelligent. Malgré la similarité des objectifs, ces études différentes par les hypothèses et les paramètres d'évaluation ainsi que les méthodes de résolution. Par exemple, les auteurs dans [98] ont présenté une enquête portant sur divers aspects du système d'alimentation des VEs. [99] et [100] ont évalué l'impact de la charge des VEs sur un réseau de distribution résidentiel. Ces auteurs ont rapporté que les comportements de charge non coordonnés n'imposent pas seulement des impacts négatifs sur les réseaux électriques, mais dégraderont aussi les avantages écologiques des VEHRs. En plus le fait d'accommoder les charges de VEHRs est plus problématique dans les zones résidentielles à forte densité de population. Dans les références [101], [102], l'impact des VEs sur la qualité de la puissance du réseau a été analysé et ses auteurs ont conclu que les charges des VEs groupées dans certaines zones et les intervalles de temps pourraient entraîner des charges dépassant la capacité de conception actuelle du circuit. Ils ont suggéré aux services publics d'effectuer des analyses au niveau des alimentateurs de distribution pour s'assurer que ces nouvelles demandes peuvent être satisfaites. Les auteurs dans [103], [104] ont étudié l'impact de l'intégration des VEs dans les systèmes électriques en termes d'exploitation technique du réseau et du marché de l'électricité. Dans [105], les auteurs ont évalué l'impact des différents niveaux de pénétration des VEs sur les investissements du réseau de distribution et les pertes d'énergie supplémentaires. Ces travaux ont démontré qu'une charge élevée augmente les pertes de puissance et les écarts de tension et diminue la durée de vie des transformateurs. Avec un objectif similaire les auteurs dans [66] ont étudié l'impact de la charge des VEs sur les performances des réseaux de distribution électrique en présence de stations de recharge qui peuvent représenter des charges lourdes et rapides.

Pour minimiser les impacts négatifs des VEs sur le RI, des schémas de chargement intelligents doivent être mis en œuvre [66]. Ainsi, en utilisant une stratégie de charge optimale, on peut non seulement influencer la répartition de la demande d'énergie, mais aussi améliorer la puissance de la grille [106]. Pour parvenir à une gestion intelligente de l'énergie, la recherche a pris deux directions traduites par le contrôle de charge et l'optimisation des profits de la grille et du propriétaire du VE.

III.3.2.2 Contrôle de charge

Pour permettre un contrôle et une charge intelligente et éviter la déstabilisation du réseau tout en satisfaisant toutes les demandes de charge, la majorité de la littérature s'est basée sur le développement d'une tarification intelligente, jugée comme une approche très efficace pour minimiser l'impact des VEs sur le RI [107].

Cependant dans les systèmes de tarification intelligente un certain nombre de fonctions « objective » peuvent être formulées en fonction de la préférence des utilisateurs. Par exemple, l'objectif pourrait être de maximiser les avantages pour les clients en suivant la gestion de la demande [108], [110], comme il peut être la maximisation du profit de la grille [111], [112] ou les deux en même temps [113], [114]. Ces objectifs sont classifiés comme des problèmes d'optimisation avec contrainte, où la contrainte est la maintenance de la qualité de l'énergie dans des limites acceptables avec la considération d'un ensemble de

paramètres de charge, tels que les puissances de sortie à différents chargeurs, les modes et les temps de charge. Dans ces formulations, les actions contrôlables sont les variables d'optimisation, d'autres paramètres non contrôlables sont des informations qui doivent être collectées ou fournies par le RI.

✓ *Optimisation du profit de la grille*

Dans un premier stade, plusieurs travaux ont visé la maximisation des profits qui impliquent la maximisation du revenu de la grille, la minimisation des pertes de puissance et l'aplatissement de la charge de pointe. Toutefois, pour maximiser le revenu de la grille, les auteurs de la référence [112], ont utilisé une fonction de sensibilité au prix. En tant que tel, un prix plus élevé conduira à une demande de charge plus faible. Compte tenu d'une telle définition de fonction, les auteurs ont formulé un problème d'optimisation pouvant être résolu en utilisant la programmation dynamique pour obtenir le prix qui maximise les revenus de l'opérateur, sous réserve des limitations techniques du réseau électrique. Dans le même contexte, les auteurs de [115] ont développé un schéma de tarification intelligente pour un système disposant de plusieurs aires de stationnement partageant un seul transformateur de distribution. Les contraintes considérées dans ce travail incluent les limitations du réseau, telles que les limites de puissance aux points de charge, les aires de stationnement et le transformateur de distribution.

Les bénéfices et les revenus de l'opérateur peuvent aussi être affectés par les pertes de puissance du système, liées aux caractéristiques des chargeurs comme la longueur des câbles entre le chargeur et le poste ainsi que l'impédance du câble. Cependant, le système cherche à minimiser les pertes de puissance tout en maintenant la tension dans une limite acceptable et s'assurer que la demande de puissance totale peut être adéquatement soutenue par l'infrastructure existante. Cet objectif a été abordé dans [116], où ses auteurs ont développé une approche de tarification intelligente pour optimiser le moment auquel le véhicule peut charger sa batterie, tout en assurant un minimum de perte de puissance. Dans le même contexte, les auteurs dans [117], [118], ont proposé des schémas pour minimiser les pertes de puissance, tout en maintenant l'écart de tension à chaque bus dans une limite acceptable et en gardant les puissances de sortie à tous les chargeurs en dessous de leur capacité maximale. Les auteurs ont affirmé que les schémas proposés sont appropriés pour l'envoi de l'énergie en temps réel à l'appui du contrôle de la charge des VEs.

Le lissage du profil de charge joue un rôle important dans l'amélioration de la qualité de l'alimentation, la stabilité du réseau et l'efficacité opérationnelle du réseau électrique. Toutefois les références [119], [120] ont proposé une évaluation de l'impact du contrôle de charge des véhicules électriques pour minimiser la charge de pointe supplémentaire. Ils ont proposé une comparaison entre un scénario de taxation contrôlée et une stratégie de facturation non contrôlée. Dans [121], les auteurs ont proposé un schéma pour aplatir le profil de charge d'un transformateur tout en tenant compte des limitations techniques de la grille, comprenant la puissance de charge maximale et l'écart de tension acceptable. Les variables de contrôle sont les profils de charge de tous les points de vente. Les auteurs ont

vérifié la faisabilité des profils de charge par analyse du flux de puissance sur une topologie et une configuration de grilles spécifiques. Un autre schéma pour aplatir le profil de charge des VE a été proposé dans [122]. Dans ce schéma, l'objectif est d'aplatir le profil de charge tout en minimisant la charge de crête. Les variables de contrôle sont le temps de charge et la puissance. L'optimisation est limitée par la capacité de la ligne de transmission et la nécessité de satisfaire la demande de charge. Cette optimisation a été résolue en utilisant une programmation quadratique. A l'aide de la théorie Bayésienne des jeux, les auteurs dans [123] ont formalisaient un jeu d'interaction entre l'offre et la consommation d'électricité. Ensuite, sur la base du concept d'équilibre de Nash, ils ont proposé une stratégie optimale qui satisfait à la fois l'offre et la demande et par conséquent évite la charge de pointe.

✓ *Optimisation du profit du propriétaire du VE*

En s'appuyant sur l'objectif de maximisation du profit des propriétaires des VE, les auteurs de la référence [124] ont considéré le même principe de sensibilisation au prix pour contrôler la charge, mais contrairement au travail proposé dans [112], ils ont proposé une approche permettant au propriétaire du VE de choisir un prix approprié à ses perspectives. Les auteurs de [125] ont développé une règle qui aide les propriétaires des VEHRs de décider l'heure de début de la charge afin que le processus de chargement puisse être complété à une date limite souhaitée et avec un coût minimum. Les auteurs de [110] ont formulé la fonction « objective » comme la maximisation de l'état de charge moyen pour tous les VEs utilisant la même station de recharge. Selon ces auteurs, la fonction proposée vise à assurer une certaine équité dans la distribution de la charge à chaque étape du temps. Ce partage uniforme permettra d'assurer un niveau raisonnable de puissance de la batterie, même si les véhicules partent tôt. Dans [126], les auteurs ont proposé une planification optimale de la charge avec le but d'optimiser la fiabilité de charge du VE. Les auteurs de [114] ont proposé un schéma qui couvre à la fois la perspective de l'opérateur et la perspective de l'utilisateur. En supposant que le coût de l'énergie est une fonction convexe de la demande de tarification totale, l'opérateur fixera le prix pour minimiser le coût tout en diminuant toutes les demandes selon leurs échéances respectives. Le prix déterminé implique un profil de charge souhaité. Dans un contexte qui implique plus de souplesse et de choix pour le propriétaire du VE, les auteurs de [127] ont développé une nouvelle approche de charge intelligente basée sur une méthode de tarifications de compétitivité. Cependant, lorsqu'un VE a besoin de charger sa batterie, il obtient des informations de localisation de toutes les stations de recharge proches auxquelles il envoie sa demande. A la réception de la demande, chaque station répond avec son prix de charge individuel, qui est déterminé en utilisant un modèle de jeu oligopole [128]. Le véhicule choisit la meilleure station de recharge après avoir évalué tous les prix reçus et les distances de déplacement vers ces stations.

III.4 Véhicule à Grille (V2G)

Dans cette section , nous allons tout d’abord présenter le concept de la technologie du V2G ainsi que son fonctionnement , ensuite nous allons revenir sur les principaux travaux de recherches présentés dans ce système

III.4.1 Le concept V2G

Un réseau électrique a en général une stabilité globale qui se manifeste par un équilibre à grande échelle dans le temps et dans l’espace de l’ensemble du système production/transport/ consommation [46]. Mais une analyse plus fine révèle qu’en réalité, il y a en permanence et en tous les lieux des événements aléatoires (Comme la variabilité de charge, la panne d’équipements...) provoquant des fluctuations qui doivent être compensées. Toutes les centrales électriques ne peuvent pas ajuster leur capacité de production assez rapidement pour maintenir un tel équilibre qui est très délicat. Par conséquent, les centrales de pointe avec une capacité de production très dynamique sont utilisées dans le réseau, mais en raison de leur flexibilité, elles restent très inefficaces. Cependant, les technologies de stockage deviennent des fournisseurs idéaux de plusieurs services auxiliaires (réserves supplémentaires et soutien de tension). Dans le marché énergétique, ces services ne sont pas gratuits et les producteurs sont rémunérés.. Dans les services intégrés verticalement (sans les marchés de l’énergie), l’entreprise de services publics engage des coûts importants pour fournir ces services [129]. Dans ce cadre, le nouveau concept intelligent Véhicule à Grille (V2G) présente une occasion d’affaires importante pour le réseau électrique et pour le propriétaire du VE. Le V2G décrit un système dans lequel les VEs communiquent avec le réseau électrique pour vendre des services de réponse à la demande en fournissant de l’électricité au réseau [130]. Les VEs jouent donc un rôle de tampon, accessible, pratique et abordable. En plus, les VEs ont le potentiel d’être équipés par des batteries ayant des capacités de réponse très rapide [131]. Cependant grâce aux TICs, les VEs peuvent être programmés et envoyés de manière optimale à différents endroits et à différents moments pour fournir de l’énergie afin de répondre à la demande dynamique et aux situations d’urgence, ce qui augmentera la fiabilité globale et la flexibilité de la grille du réseau électrique [132].

La figure 3.1 illustre le modèle schématique des liaisons entre les véhicules et le réseau électrique, proposé dans la référence [133] pour le concept V2G. Tout d’abord, l’énergie, produite à partir de sources diverses telles que les sources d’énergie renouvelables (éoliennes, solaires, hydroélectriques) et les centrales thermiques, s’écoule dans une seule direction dans le système et elle est distribuée à travers le réseau. Cette puissance est utilisée pour charger les VEs à la maison, au travail ou à des stations de recharge dédiées. Pendant les demandes électriques de pointe, l’opérateur du réseau électrique envoie des demandes de puissance à travers un opérateur indépendant du système (appelé ISO, pour Independent Operator System en anglais). Cet opérateur émet des signaux de commande par différents moyens (par

l'intermédiaire d'un téléphone cellulaire...) à un grand nombre de VEs. Le flux bidirectionnel entre la grille et le VE permet à la puissance de la batterie des VEs d'être utilisée pour alimenter le système.

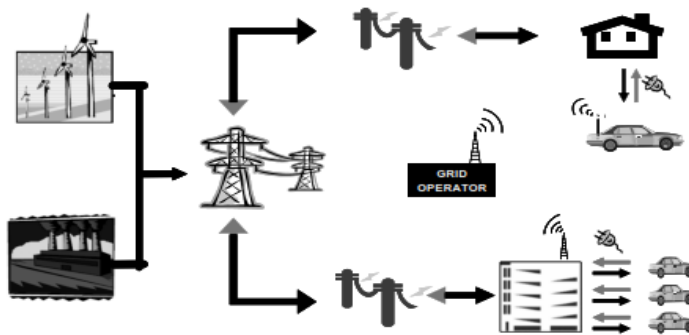


Figure 3-1 Schéma illustratif du concept V2G

Toutefois la technologie V2G exige fondamentalement deux aspects: i) une connexion d'énergie à flux bidirectionnel entre le VE et la station, ii) une communication en temps réel établie entre le VE et le système ou l'opérateur de commande pour fournir le control et la gestion de l'énergie, iii) un comptage sans danger pour mesurer avec précision les durée et les services de puissance fournis par le VE.

III.4.3 Travaux existants

Le concept du V2G à été proposé pour la première fois par Kempton et Letendre en 1997 dans [134], ensuite une recherche croissante dans cette technologie a été mené par la communauté scientifique. Les concepts entourant V2G ont été exposés dans [135], [136] et la faisabilité d'un tel système a été abordée dans [64], où les auteurs ont démontré que l'approvisionnement du réseau en électricité à partir des VEs est réalisable car les véhicules sont immobiles pour environ 90 à 95% de leur durée de vie totale et plus de 90% de tous les véhicules ne sont pas utilisés même pendant les heures de pointe. Donc avec l'intégration des TICs dans les deux systèmes (véhicules électrique et réseau intelligent), ce concept peut être réalisé.

D'un autre coté, la justification économique de la technologie V2G, traduite par le coût du matériel supplémentaire nécessaire pour le V2G, le coût de la dégradation de la batterie, le coût des revenus pour le propriétaire du VE et le RI, a également été établie [69], [133], [135]. Les méthodologies, les approches et les prévisions de cette technologie émergente ont été discutées dans [135].

Dans ce qui suit, nous détaillons les efforts de recherche visant à développer l'interaction entre les VEs et le RI dans le concept V2G. Nous les avons classifié selon quatre axes (voir le tableau 3.1) : 1) les services auxquels le VE peut fournir l'énergie, 2) le support des énergies renouvelables ou pas, 3) les objectifs des travaux, 4) et les méthodes utilisées pour la modélisation/résolution du problème.

III.4.3.1 Services

Dans la littérature, il a été démontré que le VE peut fournir de l'énergie pour servir les différents marchés du système électrique à savoir le marché des réserves tournantes, le marché de la régulation de la fréquence et le marché de lissage de la charge de pointe [133].

✓ Services des réserves tournantes et la régulation des fréquences

Le service de réserves tournantes et la régulation des fréquences, se réfèrent aux services auxiliaires utilisés par les exploitants du réseau pour maintenir son fonctionnement fiable [137]. En ce qui concerne les services auxiliaires, les VEs peuvent soit impliquer la fourniture d'énergie au réseau électrique, soit utiliser la capacité de leurs batteries sans fournir de l'énergie au réseau [64]. De nombreux travaux ont été proposés dans ce domaine [135], [138], [140], [142], [143]. Les auteurs dans [141] ont formulé un problème d'optimisation pour fournir des réserves d'énergie à partir des sources solaires et éoliennes, réduisant ainsi simultanément le coût et les émissions de carbone par le contrôle des horaires et des possibilités de charge à tous les VEHRs branchés. Le problème a été résolu en utilisant la technique d'optimisation des essaims de particules. Les auteurs dans [142] ont proposé un schéma pour satisfaire les horaires de charge des VEHRs et en même temps offrir ces services auxiliaires. La demande de charge est de restaurer complètement le niveau de charge des VEHRs par un temps de connexion, qui est indiqué par le conducteur au moment de branchement. Dans [143], un service auxiliaire sous la forme d'une régulation de la fréquence a été proposé pour trouver les profils de chargement et de déchargement optimaux pour chaque VEHR afin de minimiser les coûts de dégradation des batteries liés à cette opération.

✓ Service de lissage de la charge de pointe

Un autre service, dans lequel les VEs peuvent participer, est le lissage de la charge de pointe, qui constitue l'objectif principal de ce document. La charge maximale correspond à un niveau maximal de demande d'électricité dans une période de temps donnée (par exemple, un jour ou une heure spécifique de la journée). Avec l'adoption étendue des VEs, un grand nombre de ces véhicules lors de la recharge de leurs batteries augmente fortement la charge de pointe [144], [145]. La majeure partie des techniques mises en œuvre pour le marché des pics de charge peut être classée en deux aspects principaux : le premier utilise une charge intelligente contrôlable, qui facture les VEs pendant les heures creuses lorsque la demande est faible pour éviter la charge de pointe [146], [147]. Dans la seconde, les techniques proposées utilisent l'énergie stockée dans les batteries du véhicule pour compenser la charge de pointe dans le concept de V2G [141], [148], [149]. Dans [149], les auteurs proposent une stratégie de jeu de collision de la charge VEHR et de décharge pour le réseau V2G afin de réduire la charge de pointe et de fournir le service de régulation de fréquence. Dans [150], un modèle mathématique pour évaluer le transfert d'énergie bidirectionnel de véhicule à grille et grille à véhicule a été formulé. Le transfert d'énergie bidirectionnel a été discuté à différents taux de charge et de décharge et l'énergie totale, échangée entre le réseau et le véhicule, a été analysée. Les auteurs ont constaté que le coût de transport pour le VE intégré

au réseau est plus élevé aux heures de pointe. Cela est dû aux pertes associées à la batterie pendant l'approvisionnement en énergie à ces heures. Les auteurs de [151] ont considéré un réseau de distribution d'énergie rayonnante avec 3 stations de recharge et 12 bus. Ces stations, disposent chacune de 150 prises. Le bus où les stations de charge sont connectées est appelé le bus de connexion. En présence d'une charge variable en fonction du temps, les auteurs souhaitent aplatir le profil de charge au niveau du bus de connexion et en même temps fournir un service auxiliaire pour maintenir la tension du bus de connexion dans une limite acceptable. À cet effet, les auteurs ont conçu un contrôleur logique flou pour contrôler la puissance agrégée au niveau du bus de connexion. Le principe de base du moteur d'inférence flou du contrôleur est que les VEHRs seront déchargés si leur disponibilité en énergie est élevée et que la tension du bus est faible. D'autre part, les VEHRs doivent être chargés si la tension du bus est élevée. Cet article montre que le schéma peut effectivement aplatir le profil de charge. Le majeur inconvénient de ce travail est que les auteurs n'ont pas pris en compte le facteur de dégradation de la batterie due à des cycles de charge/décharge.

III.4.3.2 Support des énergies renouvelables

De nombreux travaux ont eu pour objectif le soutien de l'environnement et l'optimisation de l'intégration des énergies renouvelables dans le RI [116], [141], [148], [152], [153], [154]. Dans [155] les auteurs ont analysé les émissions des VEs associées à la recharge depuis l'énergie éolienne et photovoltaïque est réalisée dans. Les résultats montrent une réduction notable des émissions de gaz à effet de serre lorsque les VEs sont facturés par l'électricité éolienne et photovoltaïque. Dans [156] les auteurs ont évalué l'efficacité de l'utilisation des VEs pour améliorer l'intégration des ERs dans le réseau, tout en réduisant les coûts de recharge/décharge des VEs. Un algorithme de recherche graphique a été utilisé pour choisir les périodes optimales de charge/ décharge lorsque les VEs sont branchés dans la grille. D'autres travaux similaires ont été proposés dans [157], [158], [159] où les auteurs ont développé des algorithmes d'optimisation pour intégrer les VEs branchés à la grille et les ERs dans le système de distribution avec l'objectif de résoudre la question de l'intermittence des ERs. Dans les deux études [158], [160] l'optimisation de Liapounov a été utilisée pour la planification de la recharge des VEs afin d'améliorer l'efficacité énergétique et réduire le coût de recharge. Cependant, une approche différente a été utilisée dans [159]. Dans ce travail, le flot des VEs a été modélisé comme un stockage virtuel qui prend en compte les modèles de conduite individuels et le niveau de charge des batteries des VEs. Les auteurs ont formulé le problème comme un problème de flux de puissance optimal qui intègre un modèle probabiliste de production d'énergie éolienne et ont conclu que les fluctuations de la production d'énergie éolienne peuvent être compensées par une flexibilité de charge des VEs. Pour étudier l'interaction des VEs avec l'énergie solaire photovoltaïque, les auteurs dans [126], [153] ont modélisé une approche de charge/décharge de stationnement intelligent qui satisfait RI financièrement et techniquement. Un autre travail qui a été présenté dans [161] avec le même objectif de contrôler et réduire l'intermittence de

l'énergie solaire photovoltaïque, mais qui prend en compte l'optimisation des revenus des propriétaires des VE.

En résumé, la littérature démontre que l'interaction des EV avec les énergies renouvelables sont réalisables dans le réseau électrique pour divers avantages, tels que la réduction des émissions de carbone et l'utilisation de combustibles fossiles, la régulation du comportement intermittent de l'énergie solaire et éolienne. En outre, la gestion de l'énergie appropriée des VE et les ERs peuvent obtenir des avantages mutuels étant donné qu'elle permet d'augmenter les revenus des VE et du RI. Du point de vue technique, Les EV peuvent être utilisés pour absorber la génération solaire excessive et fournir de la puissance à d'autres charges pendant la basse génération solaire.

III.4.3.3 Objectif des travaux

Pour étudier l'intégration des véhicules électrique dans le RI, plusieurs objectifs d'optimisation ont été considérés. Nous citons entre autres :

la minimisation des coûts de recharge dans [114], [125], [127], [148], [149], [162] associé au système V2G, ou la minimisation des coûts opérationnels du système électrique présenté notamment dans [152] [163], la minimisation des coûts de l'intégration des énergies renouvelables [164], la minimisation du coût et des émissions de carbone dans l'environnement [141], [152] ainsi que la minimisation du coût de dégradation de batteries due à son utilisation dans le V2G [143]. D'autres objectifs peuvent être développés comme l'optimisation de charge de la grille [165] ou la minimisation des émissions de carbone [155].

III.4.3.4 Méthodes de modélisation et/ou résolution

Pour modéliser les objectifs susmentionnés, les auteurs se sont basés sur les méthodologies mathématiques générales qui consistent à formuler un problème d'optimisation, tel que la programmation linéaire (LP) [166]. Ces méthodes sont capables de déterminer la meilleure solution pour un problème mathématique, mais sont limitées à des objectifs simples et linéaires. Pour les problèmes plus compliqués, la programmation non-linéaire (NLP) et la programmation non linéaire à nombres entiers mixtes (MINLP) sont généralement utilisées.

Les méthodes d'optimisation les plus populaires et les plus réalisables pour résoudre le problème formulé sont :

- *la programmation convexe* [114], cette méthode à été utilisé dans [126] où les auteurs ont formulé un problème d'optimisation convexe de planification pour la charge/décharge des VE visant à minimiser le coût total d'un ensemble de véhicules qui effectuent la charge/décharge durant la journée. À cette fin, les auteurs ont formulé deux schémas : le premier schéma repose sur une optimisation de planification globale, dans lequel les puissances de charge sont optimisées pour minimiser le coût total de tous les VE qui effectuent la charge et la décharge

pendant la journée. Cependant, les auteurs ont remarqué que le schéma de planification globalement optimal n'est pas pratique, car il suppose que les arrivées de tous les VEs et les charges de base pendant la journée sont connues à l'avance. Pour élaborer ce schéma, les auteurs ont formulé un problème d'optimisation de planification local, qui vise à minimiser le coût total des VEs dans groupe local des VEs qui sont en cours de charger/ décharger. Le schéma de planification localement optimal est réalisé de manière indépendante et distribuée, non seulement évolutive pour une grande population de VE, mais également résiliente aux arrivées dynamiques des VEs. Les résultats de simulation ont démontré que le schéma de planification localement optimal peut atteindre une performance proche par rapport au schéma de planification globalement optimal

- En raison de leur grand avantage de trouver une solution globale en explorant toutes les combinaisons *la programmation dynamique* a été aussi largement utilisé notamment dans [148], [151], [167], Cependant, cette méthode a le risque d'énormes besoins en mémoire, et le temps d'exécution augmente de façon exponentielle pour les problèmes à grande échelle.
- *La méthode logique de flou* utilisé notamment dans [168] Pour formulé un système de charge/ décharge dans un système V2G avec le but de maximiser l'intégration des ERs dans le RI. Dans ce travail, les auteurs ont proposé une micro-grille composée de l'énergie éolienne, de l'énergie solaire photovoltaïque, des générateurs d'énergie distribués et de la station de remplacement des batteries (SRB). Lorsque l'électricité produite par les ERs est excédentaire, les batteries des VEs et des SRB seront chargés. Si la demande de puissance est dans l'otage, les batteries des VEs et le RBS peuvent décharger en tant que source d'électricité. L'idée de base est de planifier l'agrégateur des VEs, de SRB et de charges pour minimiser le coût opérationnel de la micro-grille. Ils appliquent d'abord un modèle à prix intensif pour coordonner la charge des VEs et des SRB en mode connecté au réseau. De cette façon, le coût des VEs est réduit au minimum et le bénéfice du SRB est maximisé.
- *Les algorithmes évolutifs* (l'Algorithme génétique -AG et l'Essaim de particules Optimisation - OEP) .En effet, en raison de leur grand avantage dans l'optimisation des systèmes complexes en temps réel l'application d'algorithmes AG, a reçu une attention considérable dans les contributions d'optimisation des V2G/G2V [164], [169],[170] , [171]. L'optimisation par particule d'essaim (OEP) a aussi été largement utilisée [141], [143], [142], [157], [171], [172],[173] vu leur grand avantage de résoudre rapidement des problèmes d'optimisation contraints complexes, avec précision et sans aucune limite dimensionnelle. Par exemple dans [174] les auteurs ont proposé, une optimisation par un algorithme OEP binaire pour optimiser le nombre des VEs qui participe dans la charge/décharge vers et depuis la grille dans un parking de stationnement donnée. Les véhicules sont présentés par nombre entier « 0 » pour les véhicules qui charge et «1 » pour les véhicules qui déchargent cette formulation a permet aux auteurs de réduire la dimension du

problème. Les contraintes prises en compte dans ce modèle sont la demande de charge des véhicules qui doivent être satisfaits lorsque les véhicules quittent le parking et les pertes du système, a les limites d'espace et du courant de chaque parking (c'est-à-dire un nombre limité de véhicules peut charger/décharger depuis/vers la grille dans un parc de stationnement contraint à un instant donné) , les résultats de simulation ont montré que le modèle proposé a une marge de profit considérable pour l'utilisation d'une planification appropriée des VEs dans le V2G dans les parcs de stationnement à contrainte. Cependant, les auteurs n'ont pas considéré l'intégration des énergies renouvelables dans leur contribution. Néanmoins, ces techniques sont des méthodes d'optimisation avec des fonctions objectives explicites et ont des difficultés à gérer les variables incertaines et nécessitent l'implication d'un grand nombre de ressources de calcul lorsqu'elles traitent des problèmes réels

- *La théorie des jeux* est également l'une des approches les plus appropriées pour modéliser et étudier les interactions des VEs avec le RI [124], [125], [127], [165], [175]. Une des raisons en est que nous ne pouvons pas toujours attendre et exiger que tous les utilisateurs soient coopératifs. La théorie des jeux peut aider à concevoir des systèmes efficaces pour faire face à ce cas. Par exemple, dans [165], Ont formulé approche d'un jeu non-coopératif [157] pour charger et décharger des batteries VEHRs multiples afin d'optimiser le profil de charge d'énergie d'un bâtiment intelligent, dans lequel les joueurs sont les VEHRs et leurs stratégies sont les horaires de chargement et de déchargement de la batterie, la fonction d'utilité de chaque utilisateur est définie comme le paiement d'énergie totale négative à l'immeuble. Sur la base de la théorie des jeux. Les auteurs ont proposé également un algorithme distribué dans lequel chaque PHEV sélectionne indépendamment sa meilleure stratégie pour minimiser son paiement d'énergie totale au bâtiment. Les Résultats de la simulation montrent que l'algorithme distribué proposé peut minimiser à la fois le coût énergétique total du bâtiment et la demande de pointe. Une autre raison pour laquelle la théorie des jeux est souhaitable est que la technologie V2G contribue dans un grand nombre de services, qui sont semblables à des jeux multi-joueurs. Par exemple [127] ont caractérisé les équilibres résultants dans des marchés concurrentiels et oligopolistiques, et ont proposé des algorithmes de réponse à la demande distribuée pour atteindre ces équilibres. Dans [176] les auteurs ont proposé un jeu théorique pour étudier comment les VEs peuvent fournir des services auxiliaires au réseau une fois qu'un modèle de marché approprié entre les VEs et la grille est établi. L'idée de base est d'utiliser une politique de tarification intelligente qui permet aux VEs de décider de recharger, de décharger ou de rester inactifs de manière à optimiser la régulation de la fréquence du réseau tout en bénéficiant à la fois aux consommateurs (propriétaires des VEs) et à l'opérateur du réseau. Les auteurs ont conclu que d'une part, en utilisant un tel schéma, les consommateurs peuvent obtenir des revenus supplémentaires tandis que, d'autre part, la grille peut obtenir le signal d'ordre de régulation de fréquence requis ce assurera la fiabilité du réseau.

Cependant, un autre travail a été proposé dans [149] mais qui se base cette fois sur un jeu coopératif, où les auteurs ont proposé une stratégie d'un jeu de collision de la charge et de décharge des VEHRs dans le contexte V2G. Dans cette approche, les VEHRs représentent les joueurs et un ensemble de joueurs constitue un groupe coopératif, certains de ces VEHRs chargent et d'autres déchargent. Dans une coalition, les joueurs travaillent en coopération pour élargir leur avantage commun et impliquer la satisfaction des situations de charge ou de décharge pour un coût optimal.

Tableau 3-1 Classification des travaux existants dans la littérature

<p>Objectifs des travaux</p> <hr/>	<ul style="list-style-type: none"> • Minimisation des coûts de recharge [125], [127], [149], [114], [148] • Minimisation des coûts opérationnels du système électrique [152], [163] • Minimisation du coût de l'intégration des énergies renouvelables [164] • Minimisation du coût et les émissions de carbone [141], [152] • Minimisation du coût de dégradation de batteries due à son utilisation dans le V2G [143] • Minimisation des émissions de carbone CO_2 [155] • Optimisation du profit de la charge la grille [165]
<p>Service auxquels le VE peut fournir l'énergie</p> <hr/>	<ul style="list-style-type: none"> • Services des réserves tournantes et la régulation des fréquences [138], [137], [140], [142], [143], [141], [142], [135], [64] • Service de lissage de la pointe de recharge [144], [145], [146], [147], [148], [149], [150], [151].
<p>Support des énergies renouvelables (ER) ou pas</p> <hr/>	<ul style="list-style-type: none"> • Support des ERs : [141], [132], [148], [116] • Non support des ERs : [143], [150], [151]
<p>Méthode utilisée pour la modélisation et/ou résolution</p> <hr/>	<ul style="list-style-type: none"> • Programmation convexe [114], [126] • Programmation dynamique [148], [151], [167] • Stratégie de contrôle de flou [168] • Algorithmes génétiques [164], [169], [170], [171]. • Optimisation par particule d'essaim [141], [143], [142], [157], [171], [172], [173] • Théorie de jeux [124], [125], [127], [149], [157][165], [175].

Ces travaux établissent clairement que l'utilisation de cadres d'optimisation mathématiques tels que la théorie des jeux, algorithme génétique, PSO pour gérer l'intégration des VE dans le RI dans le concept V2G (c'est-à-dire fournir l'énergie au réseau électrique) pour différents marchés électriques (réserves

tournantes, régulations de fréquence, lissage de la charge de pointe) Peuvent apporter des avantages technologiques, économiques et environnementaux substantiels aux participants au réseau intelligent

III.5 Conclusion

L'intégration des VEs dans le réseau électrique intelligent est un couteau à double tranchons, d'un côté cette nouvelle mobilité présente une nouvelle charge dynamique difficile à contrôler, nécessitant des études approfondies dans tous les aspects liés au comportement du propriétaire du VE, à l'origine de la charge dynamique aléatoire incontrôlé, jusqu'au développement de nouvelles méthodes et technologies pour contrôler et gérer cette charge. D'un autre côté le VE présente un grand intérêt pour son propriétaire, pour le réseau électrique et pour l'environnement, puisqu'il peut être exploité pour des services de grande valeur dans le concept V2G.

Après cet état de l'art, portant sur l'intégration des VEs dans la grille du réseau électrique à travers les deux concepts V2G et G2V, nous exposons dans le chapitre suivant notre contribution relative à l'optimisation du déploiement des stations de recharge.

Chapitre IV : Optimisation du déploiement des stations de recharges pour les véhicules électriques

IV.1 Introduction et énoncé du problème	58
IV.2 Formulation du problème	59
IV.2.1 Modèle mathématique	60
IV.2.2.1 Fonction «objectif»	60
□ L'idée centrale de l'algorithme	62
VI.2.2.2 Première étape : algorithme K-means	62
VI.2.2.3 Deuxième étape : algorithme génétique	63
✓ Définition de l'algorithme génétique.....	63
✓ L'algorithme génétique proposé.....	65
1- Code génétique	65
2- Fitness	65
3- Sélection.....	65
4- Opérateur de croisement.....	66
5- Opérateur de mutation	66
IV.3 Evaluation de performances	66
IV.4 Conclusion.....	70
V.5 Conclusion.....	85

IV.1 Introduction et énoncé du problème

Afin d'assurer la durabilité environnementale, de nombreux pays ont commencé à intégrer leurs systèmes de transport électrique dans leurs projets urbains intelligents. Par conséquent, le nombre de VE fonctionnant dans une ville va augmenter de manière significative. Cependant, pour permettre l'adoption accrue attendue, cette technologie nécessite un déploiement efficace des stations de recharge électrique. Bien que le chargement à domicile soit le premier choix pour de nombreux propriétaires des VE, de nombreux autres utilisateurs, n'ayant pas de places de stationnement privées ou de garages, devront utiliser les installations de recharge publiques [177]. Le choix approprié de l'emplacement des stations de recharge publiques, aura un impact significatif sur la facilité d'utilisation pour les propriétaires des VE et sur la rentabilité de la station. Il est également important que de nouvelles variables, spécifiques aux stations de recharge électriques, soient prises en considération dans le problème à résoudre. Différentes études ont été menées sur l'emplacement optimal et le dimensionnement des stations de recharge publiques. Dans [178], les auteurs traitent le problème de la localisation des stations de recharge pour répondre aux demandes d'électricité générées par les VE, en utilisant un algorithme génétique pour minimiser les coûts d'investissement et de transport nécessaires pour placer les stations de recharge en fonction des demandes des clients qui augmentent aux heures de pointe. Le problème de l'emplacement des stations est de savoir comment trouver des positions optimales pour couvrir toutes les demandes des clients. Dans [179], les auteurs ont proposé une méthode de placement des stations de recharge pour les réseaux de trafic urbain existants. Leur méthode est basée sur une partition de grille qui minimise le coût de transport en utilisant aussi un algorithme génétique pour accéder à la station de recharge. La méthode considère la densité de trafic et la capacité de la station comme contraintes. Cependant, la fonction de coût, qui comprend le coût de fonctionnement de la station, ne considère pas l'optimisation du système. Donc, le résultat n'est pas une solution globale optimale. Dans [92], l'algorithme d'optimisation par essais particuliers (OEP) a été utilisé pour trouver l'emplacement optimal des stations de recharges en fonction du coût de construction (par exemple, prix du terrain) et le coût de fonctionnement de la station de recharge, en considérant l'information géographique et le flux de trafic comme des conditions de contraintes. L'algorithme OEP a été amélioré en modifiant le facteur d'inertie. Dans ce travail, les auteurs n'ont pas discuté le dimensionnement des stations de recharge. En outre parmi les principales lacunes de l'algorithme OEP utilisé dans la modélisation du problème, on cite sa faible précision et sa divergence facile. C'est pourquoi les solutions fournies peuvent être non optimales. Les auteurs dans [180], ont utilisé une méthode de programmation linéaire en nombres entiers (dites *Integer Programming* MILP en anglais) pour optimiser le problème de placement des stations de recharge en fonction de la demande de stationnement et les frais de déplacement des utilisateurs pour accéder à la station. La demande de stationnement a été prédite en fonction de l'accessibilité du site, des emplois locaux, des densités de population, des attributs de voyage... Cette méthode n'identifie que les zones optimales pour le placement des stations de recharge, mais les stations spécifiques dans les zones reconnues ne sont pas déterminées.

En se basant sur la littérature étudiée, Nous constatons que la plupart de ces travaux se concentrent sur certains paramètres et ignorent les autres. En général, seule la distance entre les clients et le paramètre de la station de charge est considérée. De plus, les détails des solutions ne sont pas suffisantes et aucune évaluation de performance sont donnés. Dans le paragraphe suivant nous décrivons comment nous résoudrons le problème de l'emplacement des stations de recharge en utilisant notre algorithme d'optimisation de localisation pour les stations de recharge publiques des VEs électriques de qui tient compte de la demande d'énergie et la disponibilité de l'énergie pour une zone donnée.

Notre objectif est de minimiser les coûts de déploiement des nouvelles stations de recharge afin de satisfaire les exigences du client. Nous prenons en compte de nombreux facteurs et contraintes pour avoir un modèle réel qui peut être utilisé dans n'importe quelle zone ou une topologie. Dans notre travail, nous considérons les paramètres suivant :

- La densité du trafic régional (aide à déduire la demande d'énergie)
- le coût d'investissement (coût du terrain, le coût de l'infrastructure)
- Les frais de transport vers la station de charge
- La capacité de la station de charge (capacité)
- Capacité de réseau électrique (capacité totale)

Pour répondre à notre objectif qui est la planification de la localisation optimale des stations de recharge électrique dans les lieux publics, nous proposons un algorithme hybride qui permet de résoudre le modèle mathématique défini en (4.1) en deux étapes : La première étape prétraite les données d'entrée (scénario de circulation et la carte de la zone étudiée). En effet, au lieu d'utiliser un grand nombre de clients (des milliers de véhicules), nous les rassemblons en groupes à l'aide d'un algorithme de classification. Ensuite, nous calculons la demande d'énergie pour chaque cluster (groupe) pour l'utiliser comme entrée de la deuxième étape. La deuxième étape, résout le problème de localisation en utilisant notre algorithme génétique optimisé. En fait, le problème d'emplacement est un problème Np-Hard; Ainsi, nous utilisons une solution heuristique au lieu d'une solution exacte, ce qui n'est pas suffisant pour un grand nombre de variables et de contraintes. Dans l'algorithme génétique, nous introduisons un opérateur de permutation qui aide à trouver la solution optimale et à éviter une convergence prématurée, en utilisant une permutation intelligente. Par conséquent, l'étape de prétraitement et l'algorithme génétique optimisé réduisent le temps d'exécution et obtiennent rapidement la solution optimale. Dans ce cas, nous donnons plus de détails sur les deux étapes de résolution.

IV.2 Formulation du problème

Le problème de planification des stations de recharge pour les VEs fait partie des problèmes de l'emplacement des installations. Trouver un emplacement optimal pour les installations industrielles, a toujours été d'une importance cruciale car il a un impact sur de nombreuses décisions opérationnelles et logistiques. Ce problème est considéré comme un problème de décision de temps polynomial non

déterministe (NP-hard Problem en anglais), où chaque installation doit être placée de façon optimale afin de distribuer les marchandises aux clients à un coût minimum [183]. L'emplacement des installations nécessite des algorithmes d'optimisation heuristiques pour le résoudre étant donné que l'heuristique se caractérise par sa grande capacité de trouver une solution globale optimale même si le problème est complexe. Parmi les divers algorithmes de localisation, nous choisissons dans notre contribution d'optimiser l'emplacement des stations de recharges pour les VEs, par un algorithme hybride qui combine un algorithme génétique avec un algorithme de classification K-moyen. D'un côté l'algorithme générique est avantageux par sa capacité de recherche à déterminer une solution globale optimale dans le processus d'optimisation sans s'appuyer sur les propriétés analytiques de la fonction à optimiser, ce qui les rend bien adaptés à une large classe de problèmes d'optimisation [181]. Cependant, l'algorithme de classification K-means est l'un des algorithmes d'apprentissage non supervisés, les plus simples pour résoudre le problème de classification bien connu [182]. Il a l'avantage de suivre un moyen simple et facile pour classer un ensemble de données à travers un certain nombre de clusters (supposer K clusters) fixés à priori.

IV.2.1 Modèle mathématique

Typiquement, on doit définir une fonction « objectif » à optimiser et un certain nombre de contraintes à respecter, mais avant cela nous introduisons l'ensemble des paramètres utilisés dans notre modèle qui sont présentés dans le tableau 4.1.

Tableau 4-1 Paramètres du Modèle mathématique

Paramètre	Définition
M	Nombre de station de recharge
CS	Station de recharge
c_{ij}	Distance entre le VE et la station de recharge
$i \in \{1 \dots, m\}$	Ensemble des emplacements possibles pour établir une station de recharge
$j \in \{1 \dots, n\}$	Ensemble des clients (VEs)
a_i	Coût d'ouverture des stations de recharge dans un emplacement i .
y_i	Variable de décision=1 si la station de recharge i est ouverte et =0 sinon
x_{ij}	Variable binaire=1 si le client j est affecté à la station de recharge, i et = 0 sinon

IV.2.2.1 Fonction «objectif»

Les coûts d'installation de la station de recharge peuvent dépasser le coût du matériel lui-même. Ils sont influencés par un certain nombre de facteurs qui doivent être pris en compte pour déterminer si un site est approprié pour l'installation d'une station de recharge. En outre, des installations suffisantes, pour

la recharge des VEs, devront être prévues dans des zones ciblées et accessibles, à l'instar du positionnement actuel des stations de remplissage d'essence.

A partir de ces préférences, nous avons développé notre fonction « objectif » sur deux coûts principaux:

- les coûts d'investissements de l'installation de la station de recharge, représenté par c_T ,
- les coûts de transport des conducteurs (VEs) sur le chemin vers la station de charge, donné par c_{inv} .

Finalement, notre but est de minimiser la somme de ces deux coûts.

$$c = \min(\alpha c_{inv} + \beta c_T) \quad (4.1)$$

Dans l'équation (4.1), α et β représentent le poids de chaque fonction. Nous choisissons $\alpha = \beta = 1$ pour donner la même importance aux coûts d'investissement et de transport.

- Le coût d'investissement (c_{inv}) de la station de charge est exprimé comme suit

$$c_{inv} = \sum_{i=1}^m a_i \times y_i \quad (4.2)$$

- Le coût de transport vers la station de recharge est donné par l'équation (4.3).

$$c_T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} \times x_{ij} \quad (4.3)$$

Les paramètres impliqués dans les équations (4.1) et (4.3) sont décrits dans le tableau 4.1.

La faisabilité de la solution dépend des différentes contraintes représentées par les équations suivantes: l'équation (4.4) assure que le client j est affecté uniquement à une station de recharge; l'équation (4.5) garantit que la somme de la demande d'énergie d_j est inférieure à la capacité de la station de recharge; Enfin, les équations (4.6) et (4.7) sont les contraintes d'intégrité.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1}^n d_j \times x_{ij} \leq w_{\min} y_i \quad (4.5)$$

$$y_i \in \{0, 1, \dots, n\} \quad (4.6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (4.7)$$

- Le nombre de stations de recharge est calculé selon l'équation (4.8), en fonction de la demande d_j des clients et de la capacité minimale de la station de recharge CS.

$$N = \frac{Q}{w_{\min}} \quad (4.8)$$

$$Q = \sum_{j=1..n} d_j \quad (4.9)$$

Où Q représente la demande de recharge totale des clients, donné par l'équation (4.9), N est le nombre de stations de recharge et w_{\min} : indique la capacité minimale de la station de recharge.

✓ *L'idée centrale de l'algorithme*

Dans la méthode proposée, l'idée principale est de définir K centres (coordonnées de la position de la station), par utilisation de l'algorithme K-means amélioré qui inclut la capacité de la station de recharge comme une contrainte principale pour regrouper les éléments (les véhicules électriques) qui seront ensuite divisés en K clusters (c'est-à-dire K groupes de véhicules électriques). La procédure itérative est utilisée pour attribuer les clients au cluster le plus proche en fonction de la distance minimale entre les stations (qui se trouve au centre du cluster) et les véhicules électriques de sorte que la demande totale d'un cluster ne dépasse pas la capacité de la station. Ensuite, l'algorithme génétique améliore la qualité de l'obtention de solutions.

VI.2.2.2 Première étape : algorithme K-means

Dans cette étape, nous obtenons un trafic en temps réel en heure de pointe; Nous subdivisons la zone étudiée en n carré (par exemple 1 km²); Nous utilisons l'algorithme K-means pour diviser les données et former n groupes; Ensuite, nous calculons les demandes d'une heure pour chaque cluster en utilisant l'équation (4.10) et le tableau 4.3. Cette demande dépend du taux de véhicules électriques, de la circulation, de la capacité de la station de recharge et du trajet quotidien de conduite [179] [189].

$$d_k = \sum_{k=1}^{nb} T_k * E_r * CS_{cap} * dur * D_r \quad (4.10)$$

Où d_k indique la demande de charge dans le groupe k , et nb est le nombre de clusters. T_k définit une heure de trafic dans la sous-zone k . dur est la durée de charge, E_r est le taux des véhicules électriques, D_r est le taux de la demande de charge

Il est important de noter que notre algorithme de classification K-means inclut la contrainte de capacité des stations, pour cela nous calculons la demande de recharge des clusters d_k dans chaque étape. Si $d_k \geq w_{\max}$ ou $d_k < w_{\min}$ nous assignons des clients à la deuxième station la plus proche.

La partition de la zone de service et la sélection de l'emplacement initial de la station de charge sont basées sur le nombre des stations de recharge estimé. La base de données comprend la zone où on veut installer les stations de recharge des VEs, le nombre de partitions (Zone Num) de cette zone et les coordonnées des clients dans la partition. Nous initialisons l'emplacement des stations de recharge au centre de chaque zone.

Algorithme 4.1 : pseudo-code l'algorithme K-means

Entrée : (trafic de la zone étudiée, carte de la zone étudiée)

1-Définir k objets (k = nombre de stations) comme centre de cluster initial (centres de cluster = emplacement de la station).

2- Cycler le processus suivant (3), (4) jusqu'à ce que chaque cluster ne change plus.

Mesurer la distance (C_{ij}) entre chaque point et chaque centre de cluster.

3-Calculer les valeurs d'appartenance basées sur les distances C_{ij} et la capacité C_s et la demande de chaque groupe d_j calculer les coordonnées des centres.

4- Calculez le nouveau centre de chaque cluster .

Sortie: (partitionnement de zone, demande de chargement)

VI.2.2.3 Deuxième étape : algorithme génétique

Pour comprendre cette étape, nous définissons d'abord un algorithme génétique classique. Ensuite, nous donnons ci-dessous le code génétique approprié pour notre problème et expliquons les différentes adaptations introduites pour résoudre le problème de localisation des stations de recharge.

✓ Définition de l'algorithme génétique

L'algorithme génétique est un algorithme évolutif de traitement des problèmes d'optimisation. Il utilise des techniques motivées par l'évolution naturelle, tels que l'héritage, la sélection, la mutation et le croisement [184].

Le principe de l'algorithme génétique est qu'il travaille avec une population d'individus où chaque individu est représenté par un ensemble de paramètres connus sous le nom de gènes. L'ensemble de tous les gènes d'un individu est appelé chromosome, qui est fondamentalement une solution candidate. Les chromosomes de la population sont évalués selon une fonction de fitness prédéfinie, qui dans ce cas est le coût de manutention. Les chromosomes évoluent par des itérations successives appelées «générations».

Au cours de chaque génération, à travers la fusion et la modification des chromosomes d'une population donnée, crée une nouvelle population [185]. La fusion des chromosomes est connue sous le nom de «croisement», tandis que la modification d'une forme existante est connue sous le nom de «mutation». Le croisement est le processus dans lequel les chromosomes sont mélangés et appariés de façon aléatoire pour produire une paire de nouveaux chromosomes (progéniture). L'Opérateur de mutation est le processus utilisé pour réorganiser la structure du chromosome pour produire un nouveau. La sélection des chromosomes pour le croisement et la mutation est basée sur leur fonction d'aptitude. Une fois qu'une nouvelle génération est créée, la suppression de membres de la population actuelle pour faire place à la nouvelle génération forme une nouvelle population. Le processus est itératif jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt spécifique soit atteint [185].

Les étapes de base d'un état stable GA sont les suivantes [186]:

1. La première étape dans tout les AG est de concevoir un schéma de représentation approprié pour représenter les chromosomes qui sont essentiellement des solutions candidates pour le problème considéré. Il existe différents types de systèmes de codage de représentation tels que le binaire, la permutation et le codage de valeurs. Selon la nature du problème, le schéma de représentation approprié peut être sélectionné.
2. Générer une population aléatoire P constituée de N solutions candidates où N est la taille décidée de la population.
3. Evaluer la condition physique pour chaque solution $x \in P$ à l'aide de la fonction de condition physique conçue $f(x)$.
4. Sélectionnez deux solutions parentales pour la reproduction. Il existe un certain nombre de schémas de sélection différents et les plus couramment utilisés sont la sélection de tournois, la sélection fondée sur le classement et la reproduction proportionnelle [187].
5. Une descendance est générée en appliquant un opérateur croisé aux deux solutions parentales sélectionnées. Selon la nature du problème, il existe différents types d'opérateurs croisés dans la littérature. L'opération de croisement fait que la nouvelle progéniture hérite de caractéristiques partielles de ses solutions parentales et elle est utile dans l'évolution.
6. Une mutation avec une certaine probabilité p_m est appliquée au ressort nouvellement généré. La mutation empêche la perte de diversité [188]. Il est utile de parcourir différentes régions de l'espace de recherche et d'échapper ainsi aux minimums / maxima locaux.
7. La progéniture générée doit être insérée dans la population si elle n'est pas déjà trouvée. Afin de maintenir la taille de la population fixée, il nous faut supprimer l'individu le plus âgé ou le pire de la population.
8. Les étapes 2 à 6 sont effectuées plusieurs fois jusqu'à ce que certaines conditions de terminaison soient remplies

En fait, nous utilisons un algorithme génétique au lieu d'une solution exacte car le problème d'emplacement est un problème Np-Hard et la résolution exhaustive est inefficace et requiert beaucoup de ressources mémoire pour un grand nombre de variables. Un algorithme heuristique tel que l'algorithme génétique rappelle le moyen meilleur que exhaustif d'examiner simultanément le temps et les contraintes de ressources

✓ *L'algorithme génétique proposé*

1- *Code génétique*

L'algorithme génétique doit avoir une représentation de chaque membre de la population. Ainsi, le nombre d'échantillons est généralement beaucoup plus grand que le nombre de clusters. Comme représenté sur la figure 4.1, le top box représente le génome observé et référencé par l'utilisateur. Ce génome est désigné par un vecteur $g = (s_1, \dots, s_k)$, où $s_k = (x_k, y_k)$ est le chromosome pour le K_th station de recharge. La zone inférieure représente la chaîne de bits manipulée par le système. Notons que chaque attribut de la station de recharge, à savoir les coordonnées centrales du cluster, correspond à une chaîne binaire de N bits. Toutes les opérations génétiques sont effectuées sur cette chaîne de bits.

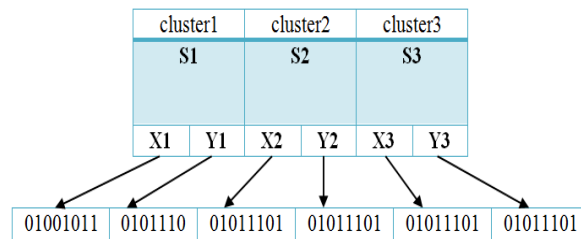


Figure 4-1 Le code génétique

2- *Fitness*

La fitness est une fonction « objectif » qui évalue la performance de chaque génome dans la population. Cette fonction prend un génome comme entrée et renvoie un nombre qui est une mesure de la performance du génome, souvent appelée la valeur de fitness.

$$c = \min\left(\sum_{i=1}^m a_i \times y_i\right) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} \times x_{ij} \quad (4.11)$$

3- *Sélection*

La sélection est la procédure par laquelle une nouvelle population est formée en choisissant les individus ayant des valeurs d'ajustement les plus élevées et en éliminant les individus ayant les valeurs d'ajustement les plus petites. Dans notre travail, nous utilisons une méthode élitiste de sélection. Cette méthode consiste à sélectionner N individus dont on a besoin pour la nouvelle génération P en prenant les N meilleurs individus pour la population P, obtenus par un trie de façon décroissante en fonction de la fitness de ces individus.

4- Opérateur de croisement

Dans le croisement, un groupe de chromosomes croisés échange un certain nombre de gène d'une certaine manière pour former un nouvel individu. L'opérateur de croisement conduit à une certaine probabilité de croisement p_c . Dans notre contribution, nous utilisons un seul point de croisement, la longueur du code est L , alors on commence d'abord par générer au hasard la position de point de croisement p , ensuite, on échange le chromosome des points p des deux parents afin de reproduire deux nouvelles progénitures.

5- Opérateur de mutation

Cet opérateur effectue en changeant un gène sélectionné aléatoirement dans le code génétique de l'individu, avec un certain taux de mutation modifiant ainsi et de manière complètement aléatoire les caractéristiques d'une solution, ce qui permet d'introduire et de maintenir la diversité au sein de notre population de solutions.

On applique ensuite un opérateur de remplacement qui décide de remplacer 100% la population P , de sorte que la population P est entièrement remplacée par P' avec une taille fixe.

Algorithme 4.2 pseudo-code de l'algorithme génétique

Entrée: (Clusters de demande, les coordonnées de la région, la position initiale)

Population. Créer ("aléatoire", population initiale)

évaluation. Calculer Fitness (4.11)

Alors que (! Stop condition) do

Sélectionnez ("élitiste", Population, Nb-chromosomes)

Croisement ("1 points", P_c);

.Mutation ("Gaussien", P_m);

Permutation ();

Recombinaison («100%», progéniture, population);

Finir pendant

Population. Meilleur Solution ()

Sortie: (Nb CS, position CS)

IV.3 Evaluation de performances

Dans notre travail, nous utilisons les informations de la simulation «TAPAS Cologne» qui décrit le trafic dans la ville de Cologne (Allemagne) de 6h00 à 8h00, représentant les heures de pointe. Ce scénario est généré à partir d'informations sur les habitudes de déplacement des habitants [190]. Comme le montre le tableau 4.2, il y a 3437 véhicules électriques dans la zone de développement. Nous supposons

que la capacité de chaque batterie dans le véhicule est de 30 KWh et que la capacité maximale de station de charge est de 30% de sa capacité minimale.

Les paramètres utilisés dans notre simulation et les tests sont donnés dans le tableau 4.3.

Tableau 0-2 Paramètres de simulation

Paramètre	Définition	Valeur
(Er)	Taux des véhicules électriques	6%
(Dr)	Taux de la demande	3%
(CS_Cap)	Capacité de la station de recharge	274 KVA
	Conduite quotidienne	30 Km
dur	Durée de charge suffisante pour la conduite quotidienne	1/4 Heure
Tk	Une heure de trafic dans la sous-zone k	

Comme décrit dans la première étape, nous subdivisons la zone étudiée en utilisant l'algorithme 4.1 afin de réduire le nombre de variables. Au lieu de 3437 clients, nous utilisons 12 clusters (le nombre de clusters est variable et dépend de la capacité maximale autorisée par un cluster). Pour calculer le nombre de stations de recharge, nous divisons la demande de charge totale par la capacité des stations de charge minimales.

Avec l'utilisation des équations 4 et 8 et des paramètres mentionnés dans le tableau 4.2, nous calculons le nombre initial des stations de recharge.

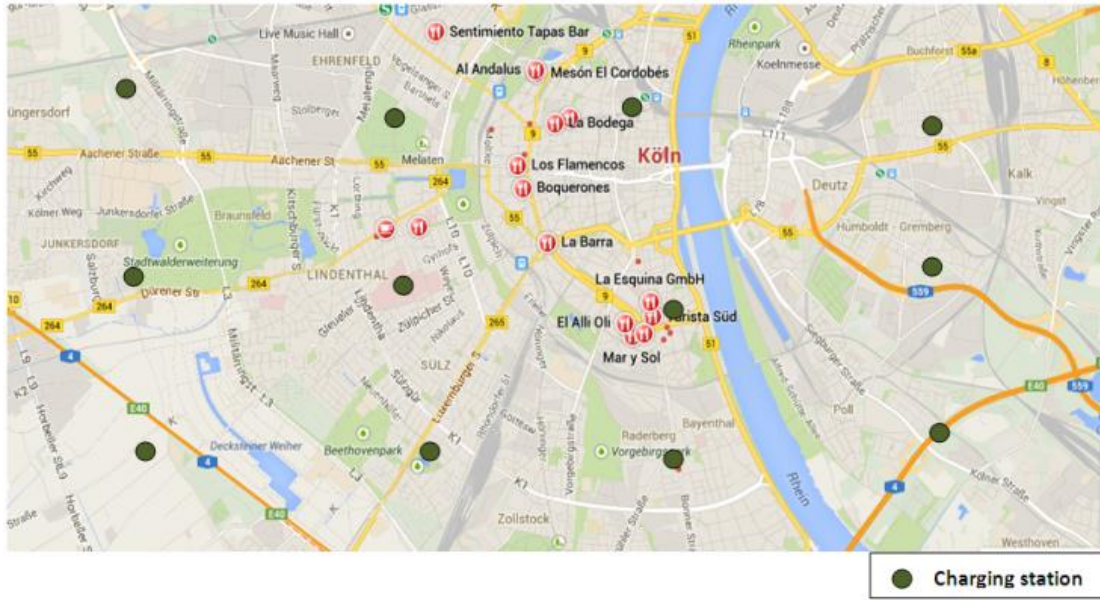


Figure 4-2 Localisation initiale des stations de recharges

La demande de recharge et les positions préliminaires des stations dans les partitions initiales de la figure 4.2 sont indiquées dans le tableau 4.2.

Tableau 0-3 Localisation des stations et nombre de VEs par zone

Numéro de la zone	Coordonner des stations initiales (km)	Nombre de véhicules dans chaque zone
1	1.7377 1.0420	308
2	2.1745 0.8284	477
3	1.6407 0.6599	6
4	1.7960 0.8464	5
5	1.1405 1.2469	724
6	1.1166 1.7790	792
7	1.5139 1.3818	160
8	1.7293 1.5490	223
9	2.0691 1.6316	236
10	1.7650 1.7118	02
11	1.4927 2.2097	14
12	1.8235 1.6951	490

Dans la deuxième étape, nous utilisons notre algorithme génétique pour obtenir le meilleur emplacement, Pour la résolution de notre problème, l'équation (4.5) est prise comme la fonction « objectif » et les équations (4.6), (4.7), et (4.8) sont considérées comme des contraintes pour rechercher initialement la solution optimale. Puis Matlab est adopté pour programmer notre algorithme.

✓ *Résultats de simulation*

Nous pouvons voir que 5 stations sur 12 ont été choisies. Le tableau 4.4 montre la partition finale où nous marquons les clusters affectés à la station de recharge de la solution.

Tableau 4-4 Résultat de simulation

Le nombre optimal des stations de recharge : 5	
Objet	Location
Charging station 1	(1.0155 1.1471)
Charging station 2	(0.8566 1.7164)
Charging station 3	(0.3290 1.7686)
Charging station 4	(2.0417 0.8406)
Charging station 5	(1.3139 1.3967)
Cout minimal : 4576 euro	

Le nombre optimal de station de recharge et leurs positions, en plus du coût minimal, sont montrés sur le tableau 4.4.

Nous générons ensuite différents scénarios, en faisant varier la taille des chromosomes, la valeur des contraintes de coûts et la capacité de charge. Chaque scénario est représenté par 3 lignes: le nombre initial des stations de recharge, la solution qui est le nombre des stations de recharge finale à déployer. Colonne Fitness représente le coût final de la solution; La colonne de temps est le temps d'exécution, la colonne d'itération est le nombre d'itérations nécessaires. Nous avons répété les tests 100 fois et dans chaque test, nous exécutons l'algorithme. Les résultats de 400 itération simulations pour chaque scénario sont résumés dans le tableau 4.5.

Tableau 4-5 Simulation pour différents scénarios

Nombre initial des stations de recharge	Nombre des stations final	Nombre d'itération	Fitness	Temps
12	5	400	4576	0.04
18	7	400	6283	1.08
33	12	400	10496	2.1

Notre algorithme nous a permis de positionner les stations de recharge se trouvent essentiellement dans le centre de gravité de chaque groupe, pour permettre aux VEs de se rendre à la station de recharge la plus proche avec un coût minimal de transport.

Les résultats du tableau 4-5 montrent que notre algorithme est capable de trouver la solution optimale après un court laps de temps même si la population initiale est complètement aléatoire, pour différent scénario

IV.4 Conclusion

Les emplacements des stations de recharge sont critiques. Ils doivent non seulement être suffisamment répandus pour qu'un VE puisse facilement accéder à une station de recharge dans sa zone de conduite, mais aussi largement diffusés de sorte que les VEs peuvent circuler autour de la ville entière lors de la recharge. C'est dans ce contexte que nous que nous contribuions par le présent travail.

Dans ce cadre, nous avons développé un algorithme hybride efficace pour la résolution du problème de déploiement des stations de recharge. Nous avons formulé le problème comme un modèle d'optimisation, basé sur la couverture des stations de recharge et la commodité des conducteurs. Nous avons utilisé un l'algorithme génétique et la classification K-means basé sur des propriétés du problème. Les résultats de simulation révèlent que notre modèle peut aboutir à des solutions comparables à celles obtenues dans la littérature.

Nous proposons dans le chapitre suivant une autre approche basée sue théorie des jeux pour l'intégration des VEs dans la grille intelligente du réseau électrique.

Chapitre V : Théorie de jeu pour l'intégration du véhicule électrique et de la grille intelligente

V.1 Introduction et énoncé du problème	72
V.3 Formulation du problème	72
V.3.1 Théorie de jeu	73
V.3.2 Modèle de jeu d'interaction entre le VE et le RI.....	73
V.3.3 Matrice d'utilité.....	76
V.3.4 Equilibre Bayésien de Nash.....	78
V.4 Evaluation de performances	79
V.5 Conclusion.....	85

V.1 Introduction et énoncé du problème

Le concept V2G concerne la capacité d'injecter l'énergie contenue dans les batteries des VE dans le réseau intelligent (RI). Le présent chapitre traite ce concept dans le but d'atténuer la courbe de charge journalière en mettant particulièrement l'accent sur l'interaction entre le VE et le RI. Pour étudier cette interaction, nous proposons un nouvel modèle basé sur un jeu Bayésien. Le jeu Bayésien a l'avantage de permettre un meilleur échange entre la grille et le véhicule de façons que les deux soient satisfaits. Notre choix de la théorie de jeu pour étudié le problème de l'interaction entre le VE et le RI, repose sur le fait que le modèle prend en compte les principaux défis de la technologie V2G, tels que la disponibilité des VE et la durée de vie de la batterie. En outre, contrairement à la plupart des travaux existants, nous introduisons dans notre formulation un nouveau facteur qui représente l'impact sur l'environnement afin d'encourager l'utilisation des énergies renouvelables (vertes) dans l'industrie électrique. Ce facteur a un effet significatif sur les décisions des joueurs ainsi que sur les résultats de la simulation. Enfin, à l'aide de l'Equilibre Bayésien de Nash (BNE), nous étudions la probabilité d'interaction entre les joueurs (VEs et RI) pour trois périodes de la journée (hors heures pointe, moyenne et heures de pointe). Les simulations sont réalisées à partir des données réelles et illustrent l'efficacité et le mérite du modèle proposé pour déterminer la meilleure période de la journée à choisir par le VE pour alimenter le RI et déduire les bénéfices des propriétaires des VEs, du RI et de l'environnement dans le concept V2G.

V.2 Problématique

Dans cette contribution, notre objectif est d'étudier l'interaction entre le VE et le RI dans un schéma V2G afin d'atténuer la courbe de charge journalière avec des énergies renouvelables. Le problème est modélisé comme un jeu entre le VE et le RI. En se basant sur l'Equilibre Bayésien de Nash, nous examinons la rentabilité et le profit de cette interaction avec une comparaison entre les prix que la grille doit payer quand elle achète l'énergie provenant des sources vertes (V2G) et non vertes (combustibles fossiles). On évalue également la demande qui est la quantité d'énergie livrée au réseau et l'impact sur l'environnement lors de la fourniture d'énergie à partir du VE.

V.3 Formulation du problème

Le V2G nécessite une connexion électrique au réseau, une connexion de communication avec l'opérateur du réseau et un compteur approprié [64]. De plus, pour un meilleur équilibre entre l'offre et la demande, le scénario V2G nécessite l'interaction entre les principaux acteurs de ce système qui sont le VE et le RI. Dans cette section, nous étudions formellement cette interaction en utilisant une approche de jeu Bayésien qui représente l'un des outils les plus importants pour modéliser les comportements et les stratégies des entités interagissant. Nous commençons par décrire le modèle proposé qui implique les principales caractéristiques du VE (les paramètres de la batterie, la disponibilité du VE, le type de VE utilisé) et la demande du RI en énergie. Nous fournissons ensuite la matrice de paiement liée au VE et au

RI. Nous terminons notre modélisation par la prédiction du comportement du VE et du RI, basée sur l'équilibre Bayésien de Nash.

V.3.1 Théorie de jeu

La théorie des jeux décrit un cadre mathématique qui peut être divisé en deux branches principales: la théorie des jeux non-coopératifs et la théorie des jeux coopératifs [191]. La théorie des jeux non coopérative peut être utilisée pour analyser les processus décisionnels stratégiques d'un certain nombre d'entités indépendantes, c'est-à-dire les acteurs qui ont des intérêts partiellement ou totalement opposés sur le résultat d'un processus de décision qui est affecté par leurs actions.

Definition 1: Un jeu non coopératif statique est défini comme une situation impliquant trois composantes: l'ensemble des joueurs N , les jeux d'action et les fonctions utilitaires $(U_i)_{i \in N}$. Dans un tel jeu non-coopératif, chaque joueur i veut choisir une action $a_i \in A_i$ afin d'optimiser sa fonction d'utilité $U_i(a_i, a_{-i})$ qui dépend non seulement du choix d'action a_i du joueur i mais aussi du vecteur des actions prises par les autres acteurs de $N \setminus \{i\}$. Les choix de stratégie des joueurs peuvent être faits soit d'une manière déterministe, c'est-à-dire de stratégies pures, soit en suivant une certaine distribution de probabilité sur les ensembles d'action $(A_i)_{i \in N}$, c'est-à-dire des stratégies mixtes [192].

L'objectif de la théorie des jeux non coopératifs est de fournir des algorithmes et des techniques aptes à résoudre ces problèmes d'optimisation et à caractériser leur résultat, notamment lorsque les acteurs font leurs choix d'action non coopératifs (et indépendamment), c'est-à-dire sans coordination ni communication. L'un des concepts de solution les plus importants pour la théorie des jeux en général et les jeux non coopératifs en particulier est celui d'un équilibre de Nash [193].

L'équilibre de Nash caractérise un état dans lequel aucun joueur i ne peut améliorer son utilité en changeant unilatéralement sa stratégie, étant donné que les stratégies des autres joueurs sont fixes. Pour un jeu statique, l'équilibre de Nash dans les stratégies pures peut être formellement défini comme suit:

Definition 2: Un équilibre Nash de stratégie pure d'un jeu statique non coopératif es est un vecteur d'actions $a^* \in A$ (A est Le produit cartésien de l'action) tel que $\forall i \in N^*$:

$$U_i(a^*_i, a^*_{-i}) \geq U_i(a_i, a^*_{-i}) \forall a_i \in A_i$$

V.3.2 Modèle de jeu d'interaction entre le VE et le RI

Dans notre approche, nous considérons deux joueurs représentant les principaux acteurs du concept V2G. Ces joueurs sont le VE et le RI. D'une part, le VE peut effectuer deux actions traduites par la fourniture ou non de l'électricité au RI. Sa décision dépendra du prix proposé par le RI pour acheter cette électricité, qui elle même dépend de la période de la journée (hors heures de pointe, moyenne et heures de pointe). Par ailleurs, le RI a également deux actions qui sont rechargées à partir du véhicule ou

non. Sachant que le RI doit être alimenté en permanence pour satisfaire la demande des consommateurs et garder son équilibre et sa stabilité, on considère alors que si la grille ne charge pas à partir des VEs, elle sera obligée de charger à partir d'autres ressources fossiles. Le VE et le RI choisiront l'action appropriée afin de maximiser leur propre gain. Il y aura un état stable auquel aucun joueur ne pourra augmenter son gain. Ceci est réalisé à l'aide de l'équilibre Bayésien de Nash, que nous avons utilisé pour déterminer les comportements futurs du VE et du RI. Avant de présenter la matrice d'utilité du jeu, nous soulignons et définissons dans la suite les notations et paramètres utilisés dans notre formulation.

V.3.2.1 Coût de dégradation de la batterie

La dégradation de la batterie est l'un des enjeux clés de la technologie V2G [194]. En raison des limitations naturelles, l'utilisation de la batterie est limitée à un nombre fixe de cycles L_c . Ce nombre L_c est donc le nombre maximal des cycles que la batterie peut chargé/déchargé pendant sa durée de vie [151]. Un autre paramètre pouvant détruire la batterie est la profondeur de décharge (DOD: depth-of-discharge en anglais) [69]. Ce paramètre est utilisé pour décrire la profondeur de décharge de la batterie. On considère, par exemple, si la batterie est 100% vide, le DOD de cette batterie est 100%. Par conséquent, afin d'étendre la durée de vie de la batterie, le DOD ne doit pas baisser au-dessous d'un certain niveau. A titre d'exemple, les batteries des VHRs sont utilisées jusqu'à 60% de leur DOD, tandis que les batteries des VEBs peuvent être utilisées jusqu'à 80% de leur DOD [195].

Le coût de la dégradation de la batterie, noté R , est donné par l'équation (5.1) [133].

$$R = \frac{C_{bat}/Cap_{bat}}{L_c \cdot Cap_{bat} \cdot DOD} \quad (5.1)$$

Où C_{bat} représente le coût de la batterie par KWh et Cap_{bat} est la capacité de la batterie

V.3.2.2 La disponibilité du véhicule

Dans la technologie V2G, la disponibilité du véhicule est nécessaire [196]. Selon [197], plus de 90% des véhicules sont garés à n'importe quel moment et peuvent être utilisés pour le V2G. De plus, les propriétaires des véhicules ont une nature imprévisible et peuvent bouger à n'importe quel moment. Partant de ces constatations, nous avons introduit dans notre approche, une contrainte de pénalité pour le propriétaire du VE. Ce dernier sera pénalisé s'il s'abstient de délivrer de l'énergie au RI alors que le niveau de la batterie $Bat_{level}(t)$ du VE à l'instant t où le RI a besoin de charger à partir du VE, est supérieur au besoin en énergie du VE. Le besoin du propriétaire est défini par un seuil nommé seuil de la batterie $Bat(t)$, qui est la quantité d'énergie minimale de la batterie nécessaire pour accomplir les voyages du propriétaire du VE après la décharge. Nous soulignons que la pénalité imposée aux propriétaires des VEs n'est pas pécuniaire. Dans ce cas le propriétaire du VE ne va pas perdre de l'argent mais il va regretter de n'avoir pas su profiter et gagner de l'argent quand l'occasion s'est présentée.

V.3.2.3 Profit de l'environnement

Comme il a été mentionné précédemment, il est inutile d'électrifier les automobiles si l'électricité qui alimente leurs batteries n'est pas produite à partir des énergies renouvelables propres. Aujourd'hui, 40% des émissions de CO₂ sont causées par la production d'électricité [198]. En 2013, plus de 67% des énergies utilisées pour produire de l'électricité étaient produites à partir des énergies fossiles (gaz, essence, carbone) qui sont les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre au cours de leur combustion (figure 5.1) [199]; 11% a été généré par le nucléaire.. En plus, nous devons savoir que l'industrie du nucléaire émet des quantités significatives de CO₂ liées au cycle de vie des réacteurs. D'un autre côté les combustibles non-fossiles qui n'émettent pas ou peu de CO₂ n'ont occupé que 22% de la production globale d'électricité. L'espace minimal occupé par les énergies vertes pour la production d'électricité est dû aux incertitudes de leur disponibilité permanente qui reste la plus grande contrainte limitant leur utilisation. Ce problème peut être résolu par le développement des systèmes de stockages d'énergie. Il existe de nombreuses technologies et moyens de stockage des énergies vertes (stockage hydroélectrique pompé, stockage de l'énergie de l'air comprimé ...). Toutefois, pour un stockage à petite échelle, les VE peuvent jouer un rôle prometteur. Tout d'abord, la batterie utilisée dans le stockage est payée par le propriétaire du VE et cela diminuera l'investissement de l'industrie électrique dans le matériel du stockage. En outre, les VE ont l'avantage d'être mobiles, ce qui représente un autre point attractif pour leurs utilisations comme des ressources de stockage dynamique et décentralisé, permettant de réduire l'investissement des systèmes de transmission.

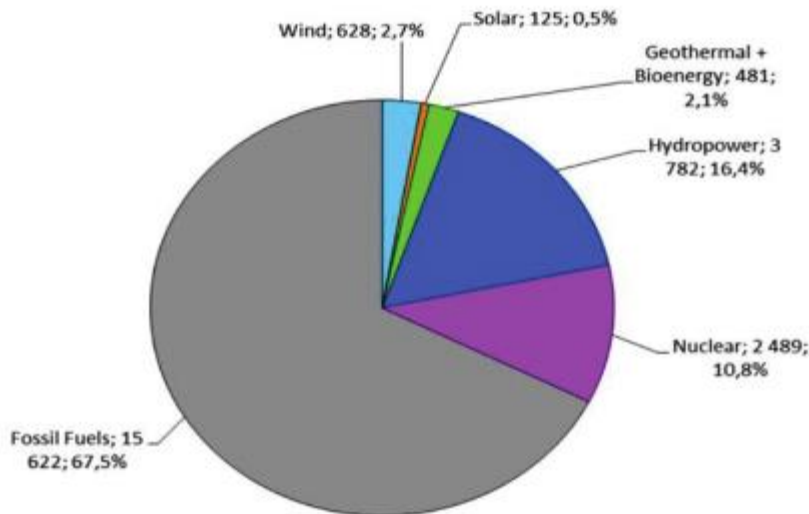


Figure 5-1 Production mondiale d'électricité en 2013 [199].

V.3.1.4 Quantité d'énergie délivrée au RI

Cette quantité est donnée par la formule (5.2).

$$Q_{ED_i}(t) = DOD * (Bat_{level}(t) - Bat_{th}(t)) \quad (5.2)$$

V.3.2.5 Quantité d'énergie demandée par le RI

La quantité d'énergie demandée par le RI au temps t est lié à son niveau de charge Cl(t) en ce moment. Elle est donnée par l'équation (5.3).

$$Q_{e_g}(t) = Cap_{e_g} - Cl(t) \quad (5.3)$$

Où Cap_{e_g} représente la charge de la grille

V.3.3 Matrice d'utilité

Dans ce qui suit, nous présentons la matrice d'utilité du jeu entre le RI et le VE, où quelques notations sont définis dans le tableau 5.1.

Tableau 5-1 Matrice d'utilité entre les deux joueurs RI et VE

		<i>RI</i>			
		Charge	Ne charge pas		
<i>VE</i>	Délivre	(X_{11}, Y_{11})	(X_{12}, Y_{12})	p	
	Ne délivre pas pas deliver	(X_{21}, Y_{21})	(X_{22}, Y_{22})	1-p	
		q	1-q		

Les équations d'utilités de chaque joueur sont données par :

$$X_{11} = - \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) * C + V(t) * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) * B - n * R \quad (4.4)$$

$$Y_{11} = -V(t) * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) * B + n * P_e * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) \quad (4.5)$$

$$X_{12} = - \sum_{j=1}^m Q_{ED_j}(t) \quad (5.6)$$

$$Y_{12} = P_e * \sum_{j=1}^m Q_{e_g_j}(t) \quad (5.7)$$

$$X_{21} = \begin{cases} - \sum_{j=1}^k (Bat_{level}(t) - Bat_{th}(t)) * V(t) * B & \text{if } Bat_{th} < Bat_{level}(t) \\ 0 & \text{if } Bat_{th} > Bat_{level}(t) \end{cases} \quad (5.8)$$

$$Y_{21} = C I(t) \quad (5.9)$$

$$X_{22} = 0 \quad (5.10)$$

$$Y_{22} = C I(t) \quad (5.11)$$

Avec :

- C: est le prix d'électricité payé par le VE. Ce coût est constant parce que nous allons prendre le coût de l'unité d'électricité en temps creux, c'est la période la plus probable de la recharge du VE à partir des sources renouvelables selon [123].
- V(t) : Prix de l'unité d'électricité achetée par le RI au temps t. Ce prix est lié au temps parce que nous adoptons la tarification en fonction de l'heure de la consommation pour valoriser le coût de l'énergie.
- B: est une valeur constante qui détermine la période de la journée où le VE et le RI interagissent.

$$B = \begin{cases} x: \text{Heures de pointe si } t \in [19h \text{ à } 21h] \\ y: \text{mi-temps si } t \in [7h \text{ à } 18h] \\ x: \text{Heures creuses si } t \in [3h \text{ à } 6h] \end{cases}$$

- Pe: est le prix de la pénalité imposée à la grille si elle ne charge pas à partir du VE. Cette pénalité est donnée par le coût de l'émission de l'unité de dioxyde de carbone.
- n: est le nombre de fois où le véhicule délivre de l'énergie au RI.
- m: est le nombre de tentatives sans succès pour fournir de l'énergie au réseau. Dans ce cas, le VE fournit de l'énergie mais la grille refuse de charger.
- k: est le nombre de fois que le VE rejette la demande du réseau. Dans ce cas, le RI veut charger mais le VE refuse de lui fournir de l'énergie.
- $i \in \{1 \dots n\}$, $j \in \{1 \dots m\}$, et $j' \in \{1 \dots k\}$.

Dans ce qui suit, nous décrivons l'ensemble des stratégies qui pourraient se produire entre le RI et le VE.

- ✓ **Stratégie de combinaison (Délivrer et Charger) :** Dans ce cas, le VE propose de vendre de l'énergie au RI qui accepte de charger. Le gain X_{11} du VE, est la quantité d'énergie délivrée à la grille, multipliée par le prix d'énergie. Ce prix dépend du temps, c'est-à-dire du moment de l'interaction avec le RI. Par exemple, dans les heures de pointe, le gain du véhicule augmente. D'autre part, la batterie subit des dégradations pendant la décharge, ce qui conduit à une réduction

du gain du VE. Le profit Y_{11} du RI, dépend de la quantité d'énergie chargée depuis le VE. En outre, le RI va économiser le coût de l'émission de CO₂, donné par P_e .

- ✓ **Stratégie de combinaison (Délivrer et Ne pas charger) :** Dans cette stratégie, le VE veut vendre de l'énergie stockée dans sa batterie au RI, mais ce dernier n'achète pas. Le RI refuse de charger car il dispose déjà d'une quantité d'énergie suffisante ou bien il a déjà chargé à partir d'une autre source, considérée une source non verte dans notre formulation. Dans ce cas, X_{12} représente l'échec du VE à vendre de l'énergie au RI. C'est la quantité d'énergie stockée dans la batterie du VE, multipliée par le nombre de fois que le RI a refusé de charger depuis le VE. De même, le RI sera pénalisée par le paiement d'un prix pour avoir causé l'émission de CO₂ dans l'environnement en chargeant d'une autre source non verte. Cette pénalité du RI est représentée par Y_{12} .
- ✓ **Stratégie de combinaison (Ne pas Délivrer et Charger):** Dans ce cas, le RI a besoin de charger, mais le VE décide de ne pas vendre de l'énergie. Le VE ne délivre pas parce que l'énergie restante dans sa batterie suffit seulement pour son propre déplacement. Si ce n'est pas le cas, c'est à dire $Bat_{th}(t) < Bat_{level}(t)$, le VE sera pénalisé. Cette pénalité est donnée par X_{21} et donc le RI garde son niveau actuel qui est représenté par Y_{21} .
- ✓ **Stratégie de combinaison (Ne pas Délivrer et Ne pas charger):** Dans ce cas, le gain X_{22} du VE sera nul, puisqu'il n'a pas délivrer de l'énergie au RI et ce dernier gardera son niveau actuel de charge, représenté par la valeur Y_{22} .

V.3.4 Equilibre Bayésien de Nash

L'utilité de l'équilibre bayésien de Nash (BNE) est de prédire le comportement future du RI et du VE, et de déterminer l'état permanent où chaque joueur a un intérêt en performant la même action [200]. Les joueurs sont en équilibre s'ils restent avec la stratégie actuelle quand les autres restent invariants. On utilise le BNE pour déterminer quand le VE et le RI ne changent pas leurs actions, qui sont représentées respectivement par délivrer et charger.

V.3.4.1 Théorème

Il existe une stratégie mixte BNE {le joueur VE (délivre, p^*), le joueur RI (charge, q^*)} dans laquelle le VE choisit l'action de délivrer lorsque la probabilité $p < p^*$ et le RI choisit de charger) lorsque $q > q^*$.

V.3.4.2 Preuve

- ✓ La fonction de paiement attendue du VE est définie comme suit:
 - $UVE(\text{Délivre}) = q \cdot X_{11} + (1-q) \cdot X_{12}$

$$= \left[- \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) * c + V(t) * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) \cdot B - n * R + \sum_{j=1}^m Q_{ED_j}(t) \right] q - \sum_{j=1}^m Q_{ED_j}(t)$$
 - $UVE(\text{Ne deliver pas}) = q \cdot X_{21} + (1-q) \cdot X_{22} = \left[- \sum_{j=1}^m (Bat_{level}(t) - Bat_{th}(t)) * V(t) * B \right] q$

Le but du VE est de maximiser son rendement en choisissant une valeur (p^* , q^*) fixe qui maximise la probabilité de fournir de l'énergie au RI. Cette solution conduit à l'équilibre traduit par l'équation suivante.

$$UVE(\text{delivrer}) (p^*, q^*) > UVE(\text{ne pas delivrer}) (p, q^*)$$

Le VE calcule la probabilité optimale q^* en posant q égal à zéro. Il en résultera l'équation suivante:

$Q > q^*$, où

$$q^* = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{ED_j}(t)}{-\sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) * c + \sum_{j=1}^m Q_{ED_j}(t) - n * R + V(t) * B * [\sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) + \sum_{j=1}^k (\text{Bat}_{level}(t) - \text{Bat}_{th}(t))]} \quad (5.12)$$

Et $0 < q^* \leq 1$

D'autre part, la fonction de paiement attendue URI du RI est définie comme suit:

- $URI(\text{Charge}) = p \cdot Y_{11} + (1-p) \cdot Y_{21}$

$$= \left[-V(t) * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) \cdot B + n * P_E * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) - Cl(t) \right] p + Cl(t)$$

- $URI(\text{Ne charge pas}) = p \cdot Y_{12} + (1-p) \cdot Y_{22}$

$$= (+m * P_E * Q_{eg}(t) + Cl(t)) p - Cl(t)$$

Le but du RI est de maximiser son rendement en choisissant une valeur (p^* , q^*) fixe qui maximise la probabilité de charge du VE. Cette solution conduit à l'équilibre traduit par l'équation suivante:

$$URI(\text{charge}) (p^*, q^*) > URI(\text{Ne pas charger}) (p^*, q)$$

Le RI calcule la probabilité optimale p^* en posant q égal à zéro. Cela se traduira par $p < p^*$

où :

$$p^* = \frac{-V(t) \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) \cdot B + (n * \sum_{i=1}^n Q_{ED_i}(t) - m * Q_{eg}(t)) * P_E}{m * P_E} \quad (5.13)$$

Et $0 < p^* \leq 1$

V.4 Evaluation des performances

Nous évaluons la performance du jeu d'interaction V2G proposé par une simulation. La simulation est effectuée sous Matlab. Nous utilisons des paramètres et des données à partir d'un scénario réel. Les données quotidiennes sur la demande d'énergie du réseau proviennent du réseau électrique de la Californie au cours de l'année 2014 [201]. Les prix d'électricité sont

respectivement de 90.3 dollars par Kilowattheure (d/KWh) pour les sources vertes et entre 67-130 d/KWh pour le gaz de turbine. Ces prix sont adoptés selon la tarification par consommation, exposée dans la référence [202]. Nous programmons les heures creuses de 3 h à 6 h, la période de pointe de 19 h à 21 h et la période mi-temps de 7 h à 18 h. Comme nous visons l'intégration des énergies renouvelables dans le RI, nous effectuons notre simulation sur un véhicule tout électrique (zéro émission). Le véhicule est une Nisan leaf avec un modèle typique de lithium-ion batterie [56]. Les paramètres de la batterie sont donnés dans le tableau 5.2, et son coût de dégradation est calculé par la formule 5.1. Le coût de la batterie Nissan Leaf est de 300 à 450 dollars par KWh. Nous supposons que les VEs ont été chargés à partir d'énergies renouvelables dans les périodes creuses avec un coût moyen de 1,46 dollar par KWh. Nous supposons aussi que 20% de la batterie entièrement chargée est utilisé par le propriétaire du VE pour ses déplacements, ce qui représente le seuil de la batterie. La quantité d'énergie fournie par les VE au réseau RI est calculée par la formule 5.2. Le RI et le VE utiliseront ces données respectivement pour choisir leurs actions de livrer ou non et de charger ou non.

Tableau 5-2 Paramètre de simulation

Paramètres	Définition	Valeur
Cap_{bat}	Capacité de batterie (KWh)	24
DOD	Profondeur de décharge	80%
L_C	Cycle de vie	1500
C_{bat}/Cap_{bat}	Coût de batterie (dollars/KWh)	300-450
Bat_{th}	Seuil de batterie	20%
Cap_{eg}	Capacité de la grille (MWh)	28000

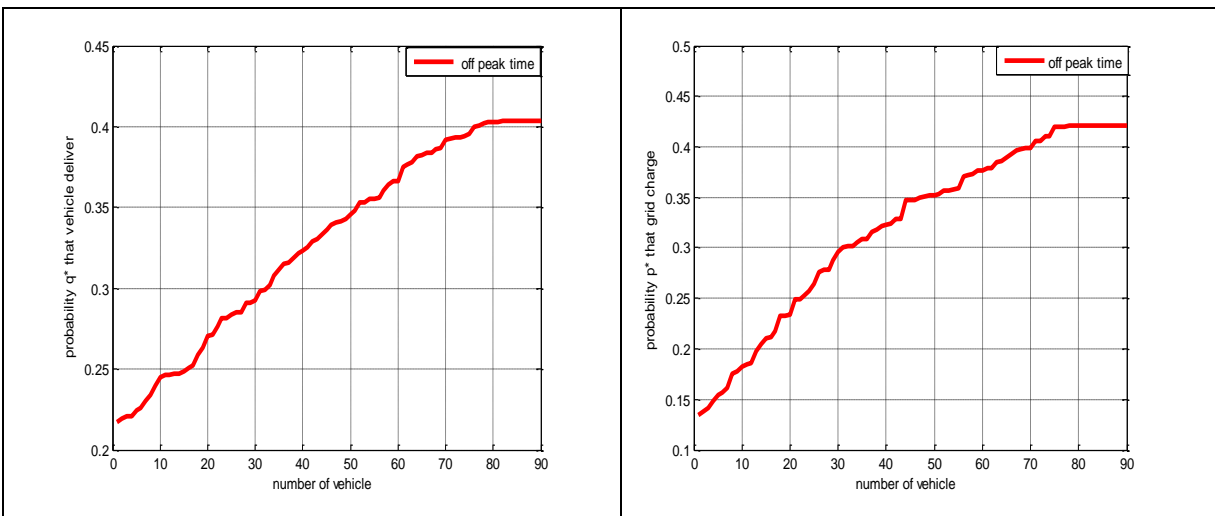
Nous exposons dans ce qui suit, les résultats de simulation pour illustrer les propriétés des stratégies d'équilibre dans le jeu proposé. Nous analysons d'abord la probabilité de l'interaction entre le RI et le VE. Ensuite, nous évaluons l'évolution de la demande, l'évolution des prix et l'impact de V2G sur l'environnement.

V.4.1 Convergence des probabilités

Il est montré dans la Figure 5.2.(b) que la probabilité q^* de délivrer l'énergie du VE au RI augmente de la période creuse à la période de pointe de 0,41 à 0,84. Ce résultat est obtenu en raison des deux paramètres principaux de gain du VE, à savoir le prix de l'énergie et le coût de la dégradation de la batterie. En outre, le coût de l'énergie à l'heure de pointe est plus cher que celui des heures creuses, alors

que le coût de la batterie qui est basé sur les paramètres de batterie reste le même pendant les trois périodes de la journée. Cependant, il est plus rentable pour le VE de vendre son énergie stockée aux heures de pointe à un prix élevé. Dans la figure 5.2.(a), la probabilité p^* de charger le RI à partir des VEs pendant les heures de pointe est plus importante que la probabilité de charger dans les heures creuses. Cette augmentation est due à la demande du RI qui est permanente et qui doit être couverte tout le temps, sinon le système deviendra instable ce qui engendre le déclenchement des pannes spécialement en période de pointe.

Il convient de souligner qu'en période de pointe, l'énergie demandée atteint son maximum ce qui correspond donc au prix d'achat d'électricité le plus élevé. Malgré cela, le RI choisira l'action de charger pour satisfaire son manque énergétique. On peut également noter que les probabilités de charge et de délivrance (c'est à dire p^* et q^*) dépendent du nombre des VEs connectés au RI, étant donné que lorsque le nombre des VEs augmente, les deux probabilités de charger et de délivrer augmentent ultérieurement. De ces analyses, nous concluons que le V2G pourrait être bénéfique pour le VE et pour le RI quand ils choisissent respectivement les actions de livraison et de recharge en période de pointe.



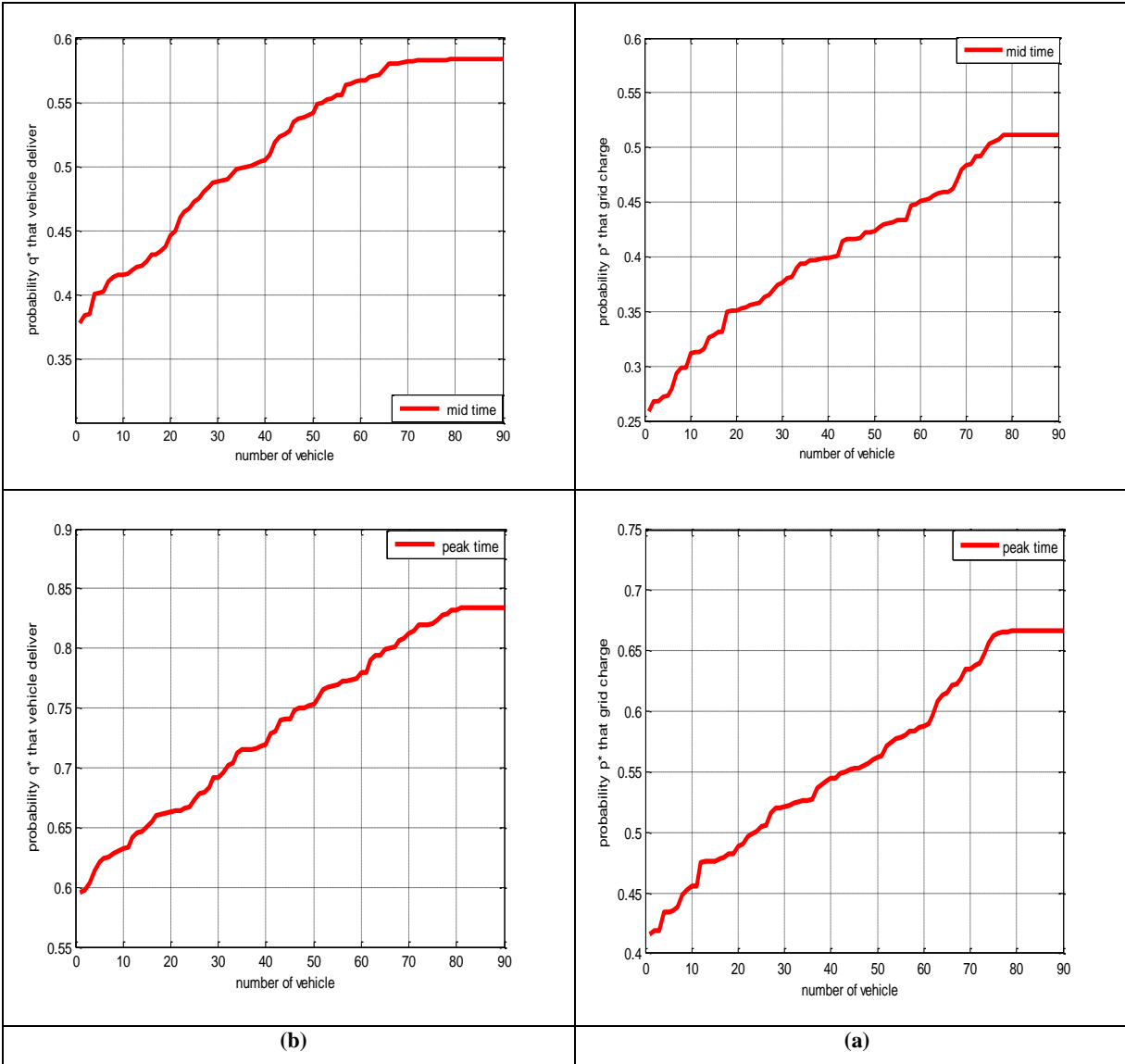


Figure 5-2 Convergence des probabilités : (a) Probabilité p^* que le RI charge, (b) Probabilité q^* que le VE délivre.

V.4.2 Evolution de la demande

La figure 5.3 montre l'évolution de la demande de la grille (RI) en fonction du nombre des VEs. Selon l'énergie livrée par le véhicule dans les trois périodes de la journée (Heures creuses, mi-temps et heures de pointe). On peut voir qu'il y a une corrélation inverse entre le nombre des VEs et la quantité d'énergie livrée au RI, puisque la quantité d'énergie totale fournie au réseau devient importante lorsque le nombre des VEs augmente. Donc au début, la grille a besoin d'une grande quantité d'énergie et après un moment sa capacité maximale sera remplie et par conséquent sa demande diminue ainsi que le nombre des VEs participants dans le V2G.

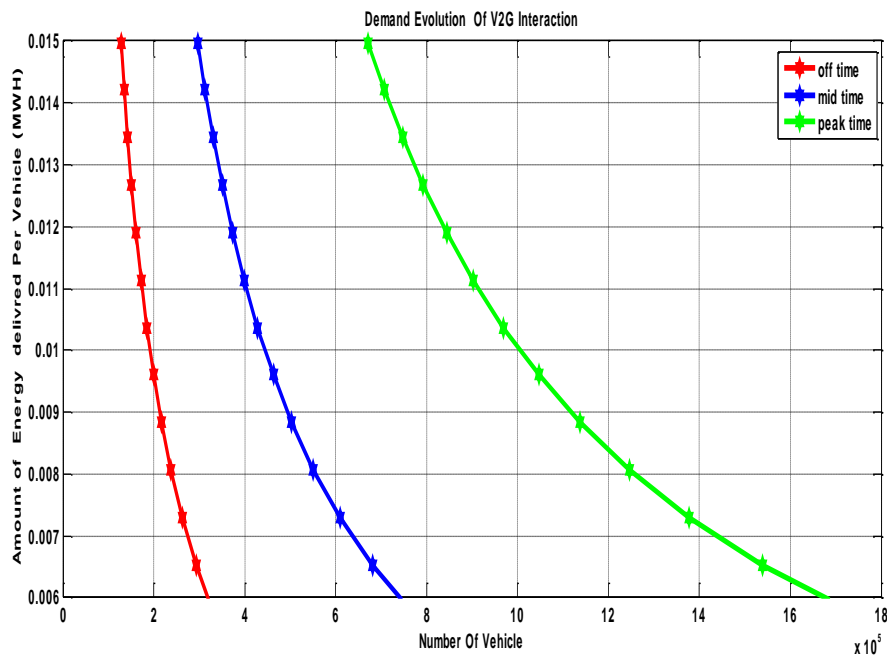


Figure 5-3 Evolution de la demande

V.4.3 Evolution du prix

La figure 5.4 représente une comparaison entre les prix d'achat d'électricité à partir des sources vertes et des sources non-vertes. D'une part, nous constatons que les prix augmentent de la période creuse à la période de pointe pour les deux sources. D'autre part, nous montrons que le coût du prix d'achat des sources non vertes est supérieur d'environ 0,3% par rapport aux prix des sources vertes. En outre, lorsque la quantité d'énergie livrée est inférieure à $1,3 \cdot 10^5$ MWh, le prix d'achat des sources non vertes est nulle. Cela est dû au fait que lorsque la grille décide de charger, elle préfère charger seulement à partir des sources vertes; qui sont plus rentables pour son économie et plus bénéfique pour l'environnement. Toutefois, si la capacité de la grille n'est pas encore remplie, elle sera obligée de recourir aux sources non vertes pour compléter sa charge, ce qui est illustré dans notre étude. Cependant, les énergies vertes sont moins chères en V2G, les VE sont les acteurs principaux de la promotion des énergies renouvelables sans engager de gros investissements. Par exemple, les VE sont dynamiques et le RI ne paiera que l'énergie achetée sans avoir à investir dans la distribution électrique ou dans de nouvelles centrales.

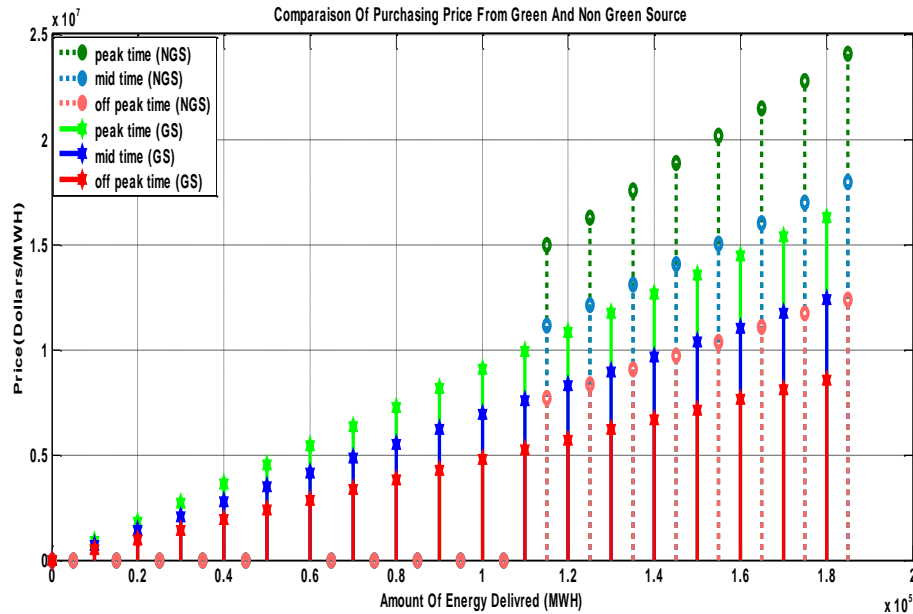


Figure 5-4 Evolution des prix

V.4.4 Impact sur l'environnement

Le tableau 5.3 représente le système d'énergie électrique de Californie [203]. La plus grande source d'énergie utilisée pour la production électrique est le gaz naturel avec 330 à 360 g CO₂ émission par KWh [204]. Le gaz naturel, présente 61.3% de la production de la Californie et 45,5% du mix totale d'énergie. Toutefois, les énergies renouvelables, qui ont une émission de CO₂ négligeable par rapport au gaz naturel où en moyenne seulement 25 g de CO₂ est émis lors de la production d'électricité par les énergies renouvelables, représentent juste 20,1% de la puissance totale du mix énergétique. Il est montré dans le tableau 5.3, que pour compenser les besoins d'électricité totale, l'État de Californie a recourt à l'importation, avec plus de 45% de son importation totale d'énergie est fossiles (charbon et gaz) et 13% est nucléaire. Cette politique est l'une des causes capitales de la dégradation de l'environnement.

Sachant qu'en 2013, la Californie a adopté 174 000 véhicules électriques, dont 70 000 sont des VEBs avec zéro émission [205]. Si ces VEs injectent l'électricité dans la grille avec le principe de notre jeu d'interaction V2G, avec une moyenne de seulement 1KWh par VE par jour, alors 25,55 Gigawatt-heure [GWh] d'énergie renouvelable (verte) sera ajoutée au mix énergétique électrique. Cela évitera l'émission de millions de tonnes de CO₂ causée par la production d'électricité à partir des sources fossiles (non vertes) importées et constituera par conséquent une grande économie par réduction de l'importation.

Tableau 5-3 Prix d'achat d'électricité à partir des sources vertes et non vertes de l'état de la Californie [203]

Fuel Type	California In-State Generation (GWh)	Percent of California In-State Generation	Northwest Imports (GWh)	Southwest Imports (GWh)	California Power Mix (GWh)	Percent California Power Mix	g CO ₂ par KWh d'électricité
Charbon	1,011	0.5%	-	17,877	18,888	6.4%	1000-1100
Large Hydro	14,052	7.1%	160	2,138	16,350	5.5%	
Gaz naturel	121,934	61.3%	1	10,151	132,087	44.5%	330-360
Nucléaire	17,027	8.6%	-	8,193	25,220	8.5%	90-140
Énergies renouvelables	44,887	22.5%	11,423	3,493	59,803	20.1%	10-40
Sources de puissance non précisées	N/A	N/A	25,676	18,757	44,433	15.0%	
Total	198,973	100.0%	37,261	60,609	296,843	100.0%	

V.5 Conclusion

Pour un environnement vert, les efforts devraient être dirigés vers l'électrification des moyens de transport. Cependant, la production d'énergie est tout aussi importante. Ce travail met l'accent sur l'interaction entre les VE et le RI dans la technologie V2G avec l'objectif d'intégrer les sources renouvelables (sources vertes) dans le RI. Pour étudier cette interaction, un jeu Bayésien a été formulé en premier. Ensuite, sur la base d'un Equilibre Bayésien de Nash (BNE), nous avons évalué la probabilité d'interaction entre le RI et les VE pour trois périodes de la journée (période creuse, mi-temps et heures de pointe). Les résultats montrent que le VE choisira l'heure de pointe comme le moment le plus rentable de la journée pour fournir de l'électricité au RI. De plus, la période de pointe est également choisie par la grille pour être le meilleur moment pour l'action de charge. Ces résultats confirment que notre modèle proposé est acceptable dans la mesure où ses résultats adhèrent au concept global de V2G, c'est à dire la charge des VE dans la période creuse et la livraison de l'énergie au RI en période de pointe. De plus, pour étudier le revenu de l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le RI, une comparaison entre les sources vertes et non vertes par évaluation de leurs coûts et de leurs impacts sur l'environnement, a été réalisée. Les sources vertes présentent un grand avantage par rapport aux sources non vertes en termes de coût. De plus, l'émission de CO₂ des sources vertes est pratiquement inexistante par rapport aux sources non vertes. De plus, même si le RI choisit de facturer les sources vertes pour leur faible coût et le bénéfice de l'environnement, au moment des heures de pointe, le RI sera obligé de combiner ces sources avec des sources non vertes pour assurer une production électrique sans interruption.

Tout au long de ce chapitre, nous avons supposé une série d'interaction entre les VEs et le RI, et nous avons considéré différents paramètres caractéristiques, tels que la capacité de la batterie, la durée de vie de la batterie, la disponibilité du VE, la capacité du RI, le bénéfice de l'environnement. Le marché ciblé pour notre étude est la charge à l'heure de pointe, où l'objectif principal du modèle proposé est d'encourager l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le RI.

Nous proposons en perspective, d'étendre le modèle proposé pour étudier l'interaction entre les VEs et le RI pour d'autres marchés relatifs à la répartition de la réserve et à la régulation de fréquence et proposer un mode de jeu entre un groupe de VEs et le RI.

Chapitre VI: Conclusion générale

VI. Conclusion générale	88
VI.1 Contributions	88
VI.2 Perspectives	89

VI. Conclusion générale

Ces dernières années le monde a connu le développement de deux grands paradigmes visant à accroître l'indépendance énergétique et à améliorer l'environnement: le réseau électrique intelligent et les véhicules électriques. Dans cette thèse nous avons étudié l'intégration et l'interaction entre ces deux systèmes qui sont très dépendants l'un de l'autre étant donné que, d'un côté les véhicules électriques ont besoin de charger à partir du réseau électrique pour leur mobilité et d'un autre côté le réseau peut utiliser ces véhicules électriques comme des unités de stockage d'énergie puis comme des distributeurs d'électricité. De nombreux travaux ont été proposés ces dernières années par la communauté scientifique pour étudier l'intégration des véhicules électrique dans le réseau intelligent. Ces travaux traitent différents défis, notamment, les défis de la technologie des batteries, les technologies TICs à implémenter dans le VE et dans le RI pour leur permettre des communications et le contrôle de la charge supplémentaire présenté par les VEs...

De notre part, nous avons étudié l'intégration des VEs dans le RI en participant avec deux contributions. La première traite le problème de localisation des stations de recharges publiques pour les véhicules. La deuxième contribution propose une nouvelle approche pour optimiser l'intégration des véhicules électrique dans le réseau intelligent avec le but de lisser la charge de pointe.

VI.1 Contributions

L'objectif de cette thèse est d'étudier l'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent. Pour atteindre cet objectif, nous avons présenté un état de l'art des principaux travaux qui ont été élaborés dans ce domaine. Cette étude nous a permis de constater que l'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique intelligent a deux impacts sur le système électrique. Ces impacts concernent d'un côté la demande supplémentaire sur les ressources d'approvisionnement du réseau dans le contexte G2V et de l'autre autre côté, le rôle des véhicules électriques dans le fournissement de l'énergie au réseau, par exemple pendant des périodes de demande de pointe dans le contexte V2G. Nous avons discuté les principaux travaux proposés pour traiter les problèmes de ces deux axes de recherche. Mais avant cela, nous avons tout d'abord parcouru tous les travaux sur les défis à surmonter, à savoir les défis des batteries des VEs et de l'infrastructure de recharge.

Dans ce cadre, nous avons proposé une nouvelle approche basée sur un algorithme génétique et un algorithme de classification K-means pour optimiser les sites de déploiement des stations de recharges publiques pour les véhicules électriques. Notre algorithme permet de trouver les positions ainsi que le nombre optimal des stations de recharges à installer dans une zone donnée, tout en respectant la contrainte de la capacité de la station de recharge. Cet algorithme est devisé en deux phases: La première phase permet de créer des clusters à partir d'un ensemble de données de trafic pour trouver les positions initiales des stations de recharge, ce qui contribue à réduire la complexité du problème et économiser du temps

d'exécution. La deuxième phase permet d'approfondir la recherche des sites optimaux avec l'objectif de réduire le coût d'investissement et le coût de transport entre les conducteurs des VEs et la station.

Ensuite, nous avons mis l'accent sur l'interaction entre le véhicule électrique et le réseau intelligent dans le concept de la technologie V2G avec l'objectif d'intégrer des sources renouvelables dans le réseau électrique. Pour étudier cette interaction, nous avons proposé une nouvelle modélisation basée sur un jeu bayésien, qui inclut le véhicule et la grille comme joueurs. Notre modélisation repose sur plusieurs paramètres relatifs au VE et à la grille, notamment la disponibilité du conducteur, les paramètres de la batterie, la capacité de la grille. Ensuite à l'aide de l'équilibre bayésien de Nash, nous avons examiné la rentabilité et le profit de cette interaction. Nous avons évalué également la demande en énergie du réseau à partir des VEs et son impact sur l'environnement. Le résultat obtenu confirme que le modèle proposé est conforme avec le principe du V2G.

VI.2 Perspectives

Nous proposons en perspective aux travaux présentés

1- Dans la planification des stations de recharge, de nouveaux paramètres et contraintes doivent être considérés notamment la mise en œuvre du comportement du conducteur du VE et les paramètres techniques des stations (taux de charges/ décharges, disponibilité d'une communication fiable et sécurisée dans un site donnée).

2- dans le deuxième travail , nous suggérons d'étendre le modèle **proposé** pour étudier l'interaction entre les VEs et le RI pour d'autres marchés relatifs à la répartition de la réserve et à la régulation de fréquence et proposer un mode de jeu entre un groupe de VEs et le RI.

La charge et la décharge fréquentes, dans le contexte V2G, peuvent réduire la durée de vie de la batterie et la capacité de stockage. Ces contraintes doivent être incluses dans nos futurs travaux.

Finalement, pour améliorer les résultats obtenus nous devons penser à une optimisation dynamique pour optimiser les ressources variantes en fonction du temps réelles telles que les énergies renouvelables et le comportement des propriétaires des véhicules électriques.

Liste des travaux

1. Bendiabdellah Zoulikha, « Optimisation de déploiement des stations de recharge pour les véhicules électrique », Journée sur les Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication JSTIC'2014, 18 Mars 2014, Tlemcen, Algérie. http://labstic.univ_tlemcen.dz/Documents/Depliant-JSTIC'14.pdf
2. Bendiabdellah Z., Senouci S.M., Feham M., “A hybrid algorithm for planning public charging stations”, Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), Montreal, QC, (2014),1-3.
3. Bendiabdellah Z, Sedjelmaci H, Attia M, Senouci S.M & M Feham “Interaction of Electric Vehicle and Smart Grid based on Game Theory for Smoothing Peak Load and CO2 Reduction” , Journal of Green Engineering Vol: 6 Issue: 1,pp: 51-76 . Janvier 2016

Bibliographie

- [1] Futura Tech, “la voiture électrique histoire et avenir”, [online] available : <http://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/technologie-voiture-futur-685/page/13>
- [2] Denholm, P & Short, W. “An evaluation of utility system impacts and benefits of optimally dispatched”. National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. NREL/TP-620-40293, 2006
- [3] Chan, C. C., Bouscayrol, A., & Chen, K. “Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: Architectures and modeling”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, no 2, pp. 589-598. 2010
- [4] International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org>, 2015.
- [5] Hercus, C. “Optimising the future utilisation of renewable energy resources through smart grid control of electric vehicle charging loads”. 2015
- [6] Bendiabdellah, Z., Sedjelmaci, H., Attia, M., Senouci, S-M & M Feham “Interaction of Electric Vehicle and Smart Grid based on Game Theory for Smoothing Peak Load and CO₂ Reduction” , Journal of Green Engineering vol. 6 , Issue: 1, pp: 51-76 .2016
- [7] Vazquez, S., Lukic, S. M., Galvan, E., Franquelo, L. G., & Carrasco, J. M. “Energy storage systems for transport and grid applications”. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no 12, pp. 3881-3895.2010
- [8] International Panel on Climate Change (IPCC), 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report: Summary for Policymakers [pdf] [online] Available: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf>
- [9] Adoption of the Paris Agreement, United Nations, New York, NY, USA, Dec. 2015.
- [10] World Energy Outlook, Int. Energy Agency, Vienna, Austria, 2011
- [11] Climate Change and CO₂, Int. Organization of Motor Vehicle Manufacturers, Paris, France, May 2008
- [12] White, C. M., Steeper, R. R., & Lutz, A. E., “The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review”. International journal of hydrogen energy, vol. 31, no 10, pp 1292-1305. 2006
- [13] Worth the Watt: A Brief History of the Electric Car, 1830 to Present, [online] Available at: <http://www.caranddriver.com/flipbook/worth-the-watt-a-brief-history-of-the-electric%20car-1830-to-present>.
- [14] ‘World’s first electric car built by Victorian inventor in 1884,’ The Daily Telegraph Apr. 24, 2009. [online] Available: <http://www.telegraph.co.uk/news/newstoppers/howaboutthat/5212278/Worlds-first>
- [15] Corrigan, D., Masias, A., “Batteries for electric and hybrid vehicles”. In: Reddy TB (ed) Linden’s handbook of batteries, 4th edn. McGraw Hill, New York
- [16] “How Electric Vehicles Work - the technology underlying an EV”. [video online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=zL6leS-Eugw>
- [17] Gable, C., & Gable, S., 2015. “ How Does Regenerative Braking Work?”, [online] Available at: <http://alternativefuels.about.com/od/hybridvehicles/a/regenbraking.htm>
- [18] Gao, Y., & Ehsani, M. “Electronic Braking System of EV And HEV---Integration of Regenerative Braking, Automatic Braking Force Control and ABS”. SAE Technical Paper, 2001.
- [19] Moreno, J., Ortuzar, M.E. & Dixon, J.W., “Energy-management system for a hybrid electric vehicle, using ultracapacitors and neural networks” IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol. 53, pp. 614 - 623 April 2006

- [20] Automobile propre , [online] available : <http://www.automobile-propre.com/>
<http://www.theweek.co.uk/69705/best-electric-cars-2016s-top-evs>
- [21] Denholm, P., & Short, W , “An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-In Hybrid Electric Vehicles . National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. NREL/TP-620-40293.2006.
- [22] Clark II, W. W., & Cooke, G, “Global Energy Innovation: Why America Must Lead: Why America Must Lead”. ABC-CLIO, 2011.
- [23] Chan, C. C., Bouscayrol, A., & Chen, K. “Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: Architectures and modeling”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, no 2, p. 589-598,2012
- [24] Kong, P-Y & Karagiannidis, G K. “Charging Schemes for Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Smart Grid: A Survey”. IEEE Access, vol. 4, pp. 6846-6875.2016
- [25] Kiehne, H. A. . “Battery technology handbook” . Electrical and computer engineering Volume 60 de Electrical engineering and electronics, CRC Press, Vol. 118, p 542 .2003
- [26] Axsen J., Burke A. & Kurani K.,” Batteries for Plug-in hybrid electric Vehicles (PHEVs): Goals and the state of Technology”, Institute of Transportation Studies University of California Davis,2008
- [27] Tarascon, J.-M & Armand, M., “Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries,” Nature, vol. 414, pp. 359–367, 2001
- [28] Ritchie, A. G. “Recent developments and future prospects for lithium rechargeable batteries”. Journal of power Sources, vol. 96, no 1, pp. 1-4. 2001.
- [29] Sanna, L., “Driving the Solution the Plug-in hybrid vehicle”, EPRI Journal, vol .Fall, pp. 8-17, 2005
- [30] Frost&Sullivan, “Global Electric Vehicles Lithium-ion Battery Second Life and Recycling Market Analysis”, report M5B6-18, Nov. 2010.
- [31] Nemry, F., Leduc, G., & Muñoz, A. “ Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency “(No. JRC54699). Institute for Prospective and Technological Studies, Joint Research Centre.2009
- [32] Su, W., Eichi, H., Zeng, M., & Chow, M. Y., “A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment,” IEEE Trans. Ind. Inf. , vol. 8, no. 1, pp. 1–10, Feb. 2012
- [33] Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines for the Oregon I-5 Metro Areas of Portland, Salem, Corvallis and Eugene," Electric Transportation Engineering Corporation, 2010. [Online] available <http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/docs/EVDeployGuidelines3-1.pdf>
- [34] Mayfield, D., & Clean Fuels, O., “Siting Electric Vehicle Charging Stations”. Sustainable Transportation Strategies Report, 2012
- [35] Liu, C., Chau, K., Wu D., & Gao. S, “Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies”, IEEE Proceeding, vol.101, pp. 2409–2427, Oct. 2013
- [36] Rawson, M., & Kateley, S., “Electric vehicle charging equipment design and health and safety codes”. SAE Technical Paper, 1999
- [37] Electric Vehicle Charging Technology Analysis And Standards [online] available: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-1996-15.pdf>.
- [38] Electric Vehicle Charging Stations Technical Installation Guide [online] Available :<http://www.hydroquebec.com/transportation-electrification/pdf/technical-installation-guide.pdf>

- [39] Yilmaz, M., & Krein, P., “Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169, May 2013
- [40] Rawson, M., & Kateley, S., “Electric vehicle charging equipment design and health and safety codes,” *California Energy Commission Rep.*, Aug.31, 1998.
- [41] Morrow, K., Karner, D., & Francfort, J. “US Department of energy vehicle technologies program—advanced vehicle testing activity—plug-in hybrid electric vehicle charging infrastructure review”. Final Report by Battelle Energy Alliance.2008
- [42] Nurre, S. G., Bent, R., Pan, F., & Sharkey, T. C, “Managing operations of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) exchange stations for use with a smart grid,” *Energy Policy*, vol. 57, pp. 364-377, April 2014
- [43] Kong, P. Y., & Karagiannidis, G. K,”Charging Schemes for Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Smart Grid: A Survey”, *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6846-6875.2016
- [44] Gil, A., & Taiber, J. “A literature review in dynamic wireless power transfer for electric vehicles: Technology and infrastructure integration challenges,” in *Sustainable Automotive Technologies*. Springer International Publishing, pp. 289–298.2014
- [45] Inductive Charging, [online] Available http://en.wikipedia.org/wiki/Inductive_charging
- [46] Momoh, J. “Smart grid: fundamentals of design and analysis”. John Wiley & Sons, Vol.63, 2012
- [47] Fan, Z., Kulkarni, P., Gormus, S., Efthymiou, C., Kalogridis, G., Sooriyabandara, M. & Chin, W. H., “Smart grid communications: Overview of research challenges, solutions, and standardization activities”. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, , vol. 15, no 1, pp. 21-38. 2013
- [48]Nasa, “ The Day the Sun Brought Darkness”, [online] available at : https://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html
- [49] Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. “Smart Grid-the new and improved power grid: A survey,” *IEEE Communication Surveys & tutorials.*, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, Dec. 2012
- [50] Smart Grid Newsletter Staff Report, , “Next Generation–Grid Visualization”, *Smart Grid Newsletter* – August 2007
- [51] Santacana E., “Getting Smart”, *IEEE Power & Energy Magazine*, Vol 8, No 2, pp. 41-48 .2012
- [52] Brown, H. E., & Suryanarayanan, S. “A survey seeking a definition of a smart distribution system”. In *North American Power Symposium (NAPS)*, pp. 1-7.oct.2009
- [53] Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. “Smart grid—The new and improved power grid: A survey”. *IEEE communications surveys & tutorials*, Vol.14,no.4, pp. 944-980. 2012
- [54] *IEEE Smart Grid*, [online] Available <http://smartgrid.ieee.org/nistsmartgrid-framework>
- [55] Yan, Y., Qian, Y., Sharif, H., & Tipper, D. “A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges”. *IEEE communications surveys & tutorials*. vol. 15, no 1, pp. 5-20.2013
- [56] *Communications requirements of smart grid technologies*, U.S. Department of Energy, Washington, DC, October 2010
- [57] Markel, T., Kuss, M., & Denholm, P., “Communication and control of electric drive vehicles supporting renewables,” in *Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Dearborn, MI, , pp. 27-34 .Sept 2009

- [58]Kulshrestha, P., Swaminathan, K., Chow, M. Y., & Lukic, S, "Evaluation of zigBee communication platform for controlling the charging of PHEVs at a municipal parking deck," in Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), pp. 1211-1214. Sept. 2009.
- [59] IEEE-SA Smart Grid Vision Project. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/findstds/prod/research/index.html>
- [60] Farhangi, H., "The path of the smart grid," IEEE Power Energy Mag., vol. 8, no. 1, pp. 18–28, Jan. 2010.
- [61] Paudyal, S., Cizares, C.A., & Bhattacharya, K., "Optimal Operation of Distribution Feeders in Smart Grids", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 10, pp. 4495-5503, 2011.
- [62] Ehsani, M., Falahi, M., & Lotfifard, S."Vehicle to Grid Services: Potential and Applications," Energies, vol. 5, no 10, pp. 4076-4090.2012
- [63] Kisacikoglu, M.C., Ozpineci, B., & Tolbert, M.L., "Examination of a PHEV bidirectional charger system for V2G reactive power compensation," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Exposit., pp. 458-465. Feb. 2010
- [64] A. N. Brooks, "Vehicle-to-Grid Demonstration Project: Grid Regulation Ancillary ServiceWith a Battery ElectricVehicle". Final Report Prepared for the California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, Dec 2002
- [65] Brooks, A.,& Gage, T. "Integration of Electric Drive Vehicles with the Electric Power Grid - a New Value". 18th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition, pp 20-24, 2001
- [66] Li, C. T., Ahn, C., Peng, H., & Sun, J. "Synergistic control of plug-in vehicle charging and wind power scheduling," IEEE Trans. Power Sys., vol. 28, no. 2, pp. 1113–1121, May. 2013
- [67] Waraich, R. A., Galus, M. D., Dobler, C., Balmer, M., Andersson, G., & Axhausen, K. W., "Plug-in hybrid electric vehicles and smart grid: Investigations based on a micro-simulation," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 28, pp. 74-86.2013
- [68] Lopes, J. A. P., Soares, F. J., & Almeida, P. M. R. "Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System," Proceedings of the IEEE, vol. 99, pp. 168-183, 2011
- [69] Lassila, J., Haakana, J., Tikka, V., & Partanen, J., "Methodology to analyze the economic effects of electric cars as energy storages," IEEE Trans. Smart Grid, no. 1, vol. 3, pp. 506–516, Mar. 2012
- [70] Khaligh, A., & Li, Z. "Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art", vol. 59, no 6, pp. 2806-2814.2010
- [71] Lukic, M.S., Jian, C., Bansal, R.C., Rodriguez, F., & Emadi, A., "Energy Storage Systems for Automotive Applications," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, pp. 2258-2267, 2008
- [72] Cao, J., & Emadi, A., "Batteries Need Electronics, " IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 5, pp. 27-35. 2011
- [73] Kim, H., & Shin, K. G., "DESA: Dependable, Efficient, Scalable Architecture for Management of Large-scale Batteries," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 8, no 2, pp. 406-417. Sept. 2011
- [74] Gallardo-Lozano, J., Milanés-Montero, M. I., Guerrero-Martínez, M. A., & Romero-Cadava,"Electric vehicle battery charger for smart grids", Electric Power Systems Research, vol. 90, pp. 18-29.2012
- [75] Gurkaynak, Y., Z. Li, Z., & Khaligh, A., "A novel grid-tied, solar powered residential home with plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) loads," in Proc. 5th Annu. IEEE Vehicle Power Propuls. Conf. pp. 813-816.2009

- [76] Peterson, S. B., Apt, J., & Whitacre, J. F., "Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization," *Journal of Power Sources*, vol. 195, no 8, pp. 2385-2392. 2010
- [77] Shiau, C. S. N., Samaras, C., Hauffe, R., & Michalek, J. J. "Impact of Battery Weight and Charging Patterns on the Economic and Environmental Benefits of Plug-in Hybrid Vehicles", *Energy Policy*, vol. 37, no 7, pp. 2653-2663.2009
- [78] F.-Y. Wang, "Toward a revolution in transportation operations: AI for complex systems," *IEEE Intell. Syst.*, vol. 23, no. 6, pp. 8–13, Nov. 2008
- [79] Käbisch, Sebastian, Schmitt, Anton, Winter, Martin, & al. "Interconnections and communications of electric vehicles and smart grids". In : *Smart Grid Communications , First IEEE International Conference .* pp. 161-166.2010
- [80] Bayram, I. S., & Papapanagiotou, I.. "A survey on communication technologies and requirements for internet of electric vehicles". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no 1, pp. 1.2014
- [81] Esser, A., "Contactless charging and communication for electric vehicles," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 1, no. 6, pp. 4–11, 1995
- [82] Guo, C., & Xiao, X. "Planning method and model of electric vehicle charging infrastructure", *Automation of Electric Power Systems*, vol. 37, no. 13, pp. 70-75, Dec. 2013
- [83] Yao, W., Zhao, J., Wen, F., Dong, Z., Xue, Y., Xu, Y., & Meng, K. "A multi-objective collaborative planning strategy for integrated power distribution and electric vehicle charging systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 4, pp. 1811–1821, Jul. 2014.
- [84] MirHassani, S. A., & Ebrazi, R. "A flexible reformulation of the refueling station location problem," *Transportation Science*, vol. 47, no. 4, pp. 617–628, Nov. 2013.
- [85] Wang, G., Xu, Z., Wen, F., & Wong, K. P., "Traffic-constrained Multiobjective planning of electric-vehicle charging stations," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, no. 4, pp. 2363–2372, Oct. 2013
- [86] Jia, L., Hu, Z., Song, Y., & Luo, Z. "Optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations", in *proc IEEE International. Electric Vehicle Conference (IEVC)*, pp. 1–6, Mar. 2012.
- [87] Payam, S. B., Abbas, R. G., & Hosein. K. K., "Optimal fast charging station placing and sizing," *Applied Energy*, vol.125, no.214, pp. 289-299, 2014.
- [88] Zheng, Z.Y. Dong, Y. Xu, K. Meng, J.H. Zhao, & Qiu, J., "Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: comparison study and optimal planning," *IEEE Transaction. Power Systems*, vol. 29, no. 1, pp.221-229, Jan. 2014
- [89] Li, Y., Li, L., Yong, J., Yao, Y., & Li, Z. "Layout planning of electrical vehicle charging stations based on genetic algorithm". *Electrical Power Systems and Computers*. Springer Berlin Heidelberg , pp.661–668.2011
- [90] He, F., Yin, Y., Wang, J., & Yang, Y. "Sustainability SI: optimal prices of electricity at public charging stations for plug-in electric vehicles". *Networks and Spatial Economics*, vol. 16, no 1, pp. 131-154.2016
- [91] Riemann, R., Wang, D. Z., & Busch "Optimal location of wireless charging facilities for electric vehicles: flow-capturing location model with stochastic user equilibrium". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. vol. 58, pp. 1-12. 2015
- [92] Liu, Z. F., Zhang, W., Ji, X., & Li, K. "Optimal planning of charging station for electric vehicle based on particle swarm optimization". *IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, pp.1–5. 2012

- [93] He, F., Wu, D., Yin, Y., & Guan, Y. "Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 47, no. 1, pp. 87–101, Jan. 2013
- [94] Frade I, Ribeiro A, Antunes AP & Gonçalves GA. "An optimization model for locating electric vehicle charging stations in central urban area". *Transportation Research Board, J*, vol. 10, p. 2252-12, 2011
- [95] Heydt, G.T., "The impact of electric vehicle deployment on load management strategies," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-1, no. 144, pp. 1253–1259, May 1983
- [96] Hill, C. A., Such, M. C., Chen, D., Gonzalez, J., & Grady, W. M. "Battery Energy Storage for Enabling Integration of Distributed Solar Power Generation", *IEEE Transactions on smart grid.*, vol. 3, no. 2, pp. 850-857, 2012
- [97] Shafiee, S., Fotuhi-Firuzabad, M., & Rastegar, M, "Investigating the impacts of plug-in hybrid electric vehicles on power distribution systems," *IEEE Transactions on Smart Grid.*, vol. 4, no. 3, pp. 1351- 1360, April 2013.
- [98] Roe, C., Farantatos, E., Meisel, J., Meliopoulos, A. P., & Overbye, "Power System Level Impacts of PHEVs," in *42nd Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1-10. 2009
- [99] Su, W., & Chow, M. Y., "Investigating a Large-scale PHEV/PEV Parking Deck in a Smart Grid Environment," in *43rd North American Power Symposium (NAPS)*, Boston, pp.1-6.2011
- [100] Clement-Nyns, K., Haesen, E., & Driesen, J. "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, pp. 371-380, 2010
- [101] Du, Y., Zhou, X., Bai, S., Lukic, S., & Huang, A. "Review of non-isolated bi-directional DC–DC converters for plug-in hybrid electric vehicle charge station application at municipal parking decks", *Twenty-fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conf and Exposition (APEC)*, pp. 1145–1151. 2010
- [102] Moses, P. S., Deilami, S., Masoum, A. S., & Masoum, M. A. "Power quality of smart grids with plug-in electric vehicles considering battery charging profile", *IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, pp. 1–7. 2010
- [103] Maitra, A., Taylor, J., Brooks, D., Alexander, M., & Duvall, M. "Integrating plug-in electric vehicles with the distribution system". *20th International Conference and Exhibition on. IET*, on *Electricity Distribution-Part 1*, pp 8–11. June 2009
- [104] Shao, S., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. "Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network", *IEEE Power Energy Society General Meeting*. pp. 1–8, 2009
- [105] Taylor, J., Maitra, A., Alexander, M., Brooks, D., & Duvall, M. "Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations," *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, , pp. 1-6. July 2009
- [106] Mi, L. "Analysis on Energy Balance for a Smart Grid in Stadshavens Area", *Rotterdam*, 2012.
- [107] Collins, M. M., & Mader, G. H, "The timing of EV recharging and its effect on utilities," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-32, no. 1, pp. 90-97, Feb. 1983
- [108] Su, W., & Chow, M. Y., "An Intelligent Energy Management System for PHEVs Considering Demand Response," in *2010 FREEDM Annual Conference*, Tallahassee, FL, 2010.
- [109] Palensky, P., & Dietrich, D., "Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, pp. 1551-3203, Aug. 2011

- [110] Su, W., & Chow, M. Y., "Performance Evaluation of An EDA based Large-scale Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Algorithm," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no 1, pp. 308-315.2011
- [111] Usman, M., Knapen, L., Vanrompay, Y., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G., "A coordinated framework for optimized charging of EV fleet in smart grid". *Procedia Computer Science*, vol. 94, pp. 332-339.2016
- [112] Misra, S., Bera, S., & Ojha, T., "D2P: Distributed dynamic pricing policy in smart grid for PHEVs management," *IEEE Transactions on Parallel and Distribution. System.*, vol. 26, no. 3, pp. 702_712, Mar. 2015
- [113] Gan, L., Topcu, U., & Low, S. H., "Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging," *IEEE Transactions on Power System.*, vol. 28, no. 2, pp. 940_951, May 2013.
- [114] Zhang, K., Xu, L., Ouyang, M., Wang, H., Lu, L., Li, J., & Li, Z., "Optimal decentralized valley-illing charging strategy for electric vehicles," *Energy Conversion and Management.*, vol. 78, pp. 537_550, 2014.
- [115] Qi, W., Xu, Z., Shen, Z. J. M., Hu, Z., & Song, Y. "Hierarchical coordinated control of plug-in electric vehicles charging in multifamily dwellings," *IEEE Transactions on Smart Grid.*, vol. 5, no. 3, pp. 1465_1474, May 2014.
- [116] Deilami, S., Masoum, A. S., Moses, P. S., & Masoum, M. A, "Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 436_467, Sep. 2011.
- [117] Clement, K., Haesen, E., & Driesen, J., "Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids," in *Proc. IEEE/PES Power System. Conf. Exposit. (PSCE)*, Seattle, WA, USA, pp. 1-7, Mar. 2009.
- [118] Sortomme, E., Hindi, M. M., MacPherson, S. D. J., & Venkata, S. S., "Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses," *IEEE Transaction Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 198-205, Mar. 2011
- [119] Veldman, E., & Verzijlbergh, R. A. "Distribution Grid Impacts of Smart Electric Vehicle Charging From Different Perspectives", *IEEE Transaction. Smart Grid*, vol.6, no.1, pp.333-342, 2014.
- [120] Mets, K., D'hulst, R. & Develder, C., "Comparison of intelligent charging algorithms for electric vehicles to reduce peak load and demand variability in a distribution grid," *Journal of Communication network*, vol. 14, no. 6, pp. 672-681, Dec. 2012.
- [121] Zhao, L., Prousch, S., Hybner, M., & Moser, A., "Simulation methods for assessing electric vehicle impact on distribution grids," in *Proc. IEEE PES Transmission Distribution. Conf. Expo*, New Orleans, LA, USA, pp. 1-7, Apr. 2010.
- [122] Mets, K., Verschueren, T., Haerick, W., Develder, C., & Turck, F. D., "Optimizing smart energy control strategies for plug-in hybrid electric vehicle charging," *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. Workshops*, Osaka, Japan, pp. 293-299. Apr. 2010,
- [123] Attia, M., Sedjilmaci, H., Senouci SM., & Aglzim, E., "Theoretic-Game Model to Optimally Combine Electric Vehicles with Green and Non- Green Sources into an End-to End Smart Grid Architecture", under submission.
- [124] Fan, Z., "A distributed demand response algorithm and its applications to PHEV charging in smart grid," *IEEE Transaction. Smart Gird*, vol. 3, no. 3, pp. 1280-1290, Sep. 2012.

- [125] Bahrami, S., & Parniani, M., "Game theoretic based charging strategy for plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2368-2375, Sep. 2014.
- [126] Alonso, M., Amaris, H., Germain, J. G., & Galan, J. M. "Optimal charging scheduling of electric vehicles in smart grids by heuristic algorithms". *Energies*, vol. 7, no 4, pp. 2449-2475 .2014
- [127] Escudero-Garzas, J. J., & Seco-Granados, G. "Charging station selection optimization for plug-in electric vehicles: An oligopolistic game theoretic framework," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)* , IEEE PES, pp. 1-8, Jan. 2012
- [128] Kamien, M.I., & Schwartz, N. L., "Conjectural Variations," *Canadian Journal of Economics* , vol. 16, no. 2, pp. 191-211, May 1983
- [129] Kirby, B. J. "Frequency regulation basics and trends". United States. Department of Energy, 2005.
- [130] Yao, Y., "The WoT framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation", *IEEE Conf. Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, pp.1-4, Sept. 2014.
- [131] Chan, C. C., & Chau, K.T., "Modern Electric Vehicle Technology" Oxford, University Press on Demand., Vol.47 , 2001
- [132] Venayagamoorthy, G. K., Mitra, P., Corzine, K., & Huston, "Real-time modeling of distributed plug-in vehicles for V2G transactions". In *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition* pp. 3937-3941, Sept 2009.
- [133] Kempton, W., & Tomic, J., "Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue", *Journal. Power Sources*, pp.268-279, 2005.
- [134] Kempton, W., & Letendre, S., "Electric vehicles as a new power source for electric utilities", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, no. 3, pp. 157-175, 1997.
- [135] Kempton, W., Tomic, J., Letendre, S., Brooks, A., & Lipman. T., "Vehicle-to-grid power: Battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California". Prepared for California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, 2001.
- [136] Damiano, A., Gatto, G., Marongiu, I., Porru, M., & Serpi, A., "Vehicle togrid technology: State-of-the-art and future scenarios," *Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 152-165, Jan. 2014.
- [137] Tomic, J., & Kempton, W., "Using fleets of electric-drive vehicles for grid support," *J. Power Sources*, vol. 168, no.02, pp.459-468, 2007
- [138] Blewitt, G., Coolbaugh, M., Holt, W., Kremer, C., Davis, J., & Bennett, R., "Targeting potential geothermal resources in the Great Basin from regionalto basin- scale relationships between geodetic strain and geological structures". *Geo- thermal Resources Council Transactions*, vol.27, pp. 3-7, 2003.
- [139] De Los Ríos, A., Goentzel, J., Nordstrom, K. E., & Siegert, C. W. "Economic Analysis of Vehicle-to-Grid (V2G)-Enabled Fleets Participating in the Regulation Service Market," *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies. Conf. (ISGT)*, pp.1-8 , January 2012.
- [140] Sortomme, E., & El-Sharkawi, M. A " Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid". *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no 1, pp.1-8, 2011.
- [141] Saber, A. Y., & Venayagamoorthy, G. K. "Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics.*, vol. 58, no. 4, pp. 1229-1238, Apr. 2011
- [142] Ota, Y., Taniguchi, H., Nakajima, T., Liyanage, K. M., Baba, J., & Yokoyama, "Autonomous distributed V2G (vehicle-to-grid) satisfying scheduled charging," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 559-564, Mar. 2012.

- [143] Tan, J., & Wang, L. "Integration of plug-in hybrid electric vehicles into residential distribution grid based on two-layer intelligent optimization," *IEEE Transaction. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1774-1784, Jul. 2014.
- [144] Faria, R., Moura, P., Delgado, J., & de Almeida, A. T. "Managing the charging of electrical vehicles: impacts on the electrical grid and on the environment." *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 6, pp.54-65, 2014.
- [145] Wang, M., Liang, H., Zhang, R., Deng, R., & Shen, X. "Mobility-aware coordinated charging for electric vehicles in VANET-enhanced smart grid," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 7, pp. 1344-1360, Jul. 2014
- [146] Lassila, J., Tikka, V., Haakana, J., & Partanen, J., "Electric cars as part of electricity distribution—Who pays, who benefits?" *IET Elect.Syst.Transp*, vol. 2, no. 4, pp. 186-194, Dec. 2012.
- [147] Peterson, S. B., Whitacre, J. F., & Apt, J., "The economics of using plug-in hybrid electric vehicle battery packs for grid storage," *J. Power Sources*, no. 8, vol. 195, pp. 2377-2384, Apr. 2010
- [148] T. Ma and A. O. Mohammed, "Optimal charging of plug-in electric vehicles for a car-park infrastructure," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 4, pp. 2323-2330, Jan. 2014.
- [149] Yu, R., Ding, J., Zhong, W., Liu, Y., & Xie, Y., "PHEV Charging and Discharging Cooperation in V2G Networks:A Coalition Game Approach," *Journal Internet of Things*, Vol.1, no. 6, pp.578-589, oct. 2014
- [150] Thirugnanam, R., Kumar, K., Lavudiya, P., & Singh, R., "Mathematical Modeling for Economic Evaluation of Electric Vehicle to Smart Grid Interaction," *IEEE Trans. Smart Grid*, no.2, vol.5, pp.712-721, March 2014.
- [151] Singh, M., Kumar, P., & Kar, I., "A multi charging station for electric vehicles and its utilization for load management and the grid support," *IEEE Transaction. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 1026-1037, Jun. 2013.
- [152] Tan, Z., Yang, P., & Nehorai, A. "An optimal and distributed demand response strategy with electric vehicles in the smart grid". *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no 2, pp. 861-869, 2014.
- [153] Su, W., Wang, J., & Roh, J. "Stochastic energy scheduling in microgrids with intermittent renewable energy resources". *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no 4, pp. 1876-1883. , 2014
- [154] Lopes, J. P., Almeida, P. R., & Soares, F. J. "Using vehicle-to-grid to maximize the integration of intermittent renewable energy resources in islanded electric grids". In: *Proceedings international conference on clean electrical power*, pp. 290-5, Jun 2009.
- [155] Querini, F., Dagostino, S., Morel, S., & Rousseaux, P. "Greenhouse gas emissions of electric vehicles associated with wind and photovoltaic electricity". *Energy Procedia*, vol. 20, pp. 391-401, 2011
- [156] Dallinger, D., & Wietschel, M. "Grid integration of intermittent renewable energy sources using price-responsive plug-in electric vehicles". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no 5, p. 3370-3382, 2012
- [157] Jin, C., Sheng, X., & Ghosh, P. "Energy efficient algorithms for electric vehicle charging with intermittent renewable energy sources". *IEEE, Power and Energy Society General Meeting (PES)*, IEEE, pp. 1-5. 2013.
- [158] Jin, C., Sheng, X., & Ghosh, P. "Optimized electric vehicle charging with intermittent renewable energy sources". *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 8, no 6, pp. 1063-1072, 2014.
- [159] Vayá, M. G., & Andersson, G. "Integrating renewable energy forecast uncertainty in smart-charging approaches for plug-in electric vehicles". *IEEE PowerTech (POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble*. IEEE, pp. 1-6, 2013.

- [160] Birnie, D. P. “Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future”. *Journal of Power Sources*, vol. 186, no 2, pp. 539-542, 2009
- [161] Borba, B. S. M., Szklo, A., & Schaeffer, R. “Plug-in hybrid electric vehicles as a way to maximize the integration of variable renewable energy in power systems: the case of wind generation in northeastern Brazil”. *Energy*, vol. 37, no 1, pp. 469-481. 2012.
- [162] Hu, W., Su, C., Chen, Z., & Bak-Jensen, B. “Optimal operation of plug-in electric vehicles in power systems with high wind power penetrations”. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no 3, pp. 577-585. 2013
- [163] Derakhshandeh S, Masoum AS, Deilami S, Masoum MA, Hamedani & Golshan M. “Coordination of generation scheduling with PEVs charging in industrial microgrids”. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013, vol. 28, no 3, pp. 3451-3461.
- [164] Ghofrani, M., Arabali, A., Etezadi-Amoli, M., & Fadali, M. S. “Smart Scheduling and Cost-Benefit Analysis of Grid-Enabled Electric Vehicles for Wind Power Integration”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no 5, p. 2306-2313.2014
- [165] Nguyen, H. K., & Song, J. B., “Optimal charging and discharging for multiple PHEVs with demand side management in vehicle-to-building,” *Journal of Communications and networks*, , vol. 14, no 6, pp. 662-671.2012
- [166] Clement-Nyns, K., Haesen, E., & Driesen, J. Johan. “The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid”. *Electric Power Systems Research*, vol. 81, no 1, pp. 185-192.2011
- [167] Donadee, J., & Ilic, M. D.”Stochastic Optimization of Grid to Vehicle Frequency Regulation Capacity Bids”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no 2, pp. 1061-1069.2014
- [168] Zhang M, Chen J. “The energy management and optimized operation of electric vehicles based on microgrid”. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no 3, p. 1427-1435,2014
- [169] Qian, K.; Zhou, C.; Allan, M.; Yuan, Y. “Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems”. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no 2, pp. 802-810,2011.
- [170] Wang, Z.; Wang, S. “Grid Power Peak Shaving and Valley Filling Using Vehicle-to-Grid Systems”. *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 28, no 3, p. 1822-1829,2013.
- [171] Su, W.; Chow, M.-Y. “Computational intelligence-based energy management for a large-scale PHEV/PEV enabled municipal parking deck”. *Applied Energy* , vol. 96, pp. 171-182. 2012.
- [172] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, “Intelligent unit commitment with vehicle-to-grid—A cost-emission optimization,” *J. Power Sources*, vol. 195, no. 3, pp. 898–911, 2010
- [173] Caramanis M, Foster JM. “Management of electric vehicle charging to mitigate renewable generation intermittency and distribution network congestion”. In: *Proceedings of the 48th IEEE conference on decision and control (CDC)*. pp. 4717–22, 2009.
- [174] Saber, A. Y., & Venayagamoorthy, G. K. “Optimization of Vehicle-to-Grid Scheduling in Constrained parking Lots” *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, pp. 1-8, 2009.
- [175] R. Couillet, S. M. Perlaza, H. Tembine, and M. Debbah, “Electrical vehicles in the smart grid: a mean field game analysis,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 1, pp. 1086–1096, Jul. 2012
- [176] C. Wu, H. Mohsenian-Rad, and J. Huang, “Vehicle-to-aggregator interaction game,” *IEEE Trans. Smart Grid* , vol. 3, no. 1, pp. 434–442, Oct. 2011

- [177] Hu, Z., & Song, Y., "Distribution Network Expansion Planning with Optimal Siting and Sizing of Electric Vehicle Charging Stations", Universities Power Engineering Conference (UPEC), 47th International, London , pp.1-6.2012
- [178] Mehar, S., & Senouci, S-M., "An optimization location scheme for electric charging stations", Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT), pp1-5. June 2013
- [179] Ge S., Feng L., & Liu H., "The planning of electric vehicle charging station based on grid partition method", IEEE electrical and control engineering conference, (ICECE), , pp. 2726 - 2730 , 2011
- [180] K.M., Chen T.D., & Khan M., "The electric vehicle charging station location problem: a parking-based assignment method for Seattle", Proceedings of the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board in Washington DC, 2013
- [181] Hale, T. S., & Moberg, C. R., "Location Science Research: A Review", Annals of Operations Research , Vol 34 ,pp. 21-35. 2003
- [182] Anil K. Jain, " Data clustering: 50 years beyond K-means", 19th International Conference in Pattern Recognition (ICPR), Vol 31, pp. 651–666, June. 2010
- [183] EL-BAZ, M.-A. "A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments". Computers & Industrial Engineering. pp.233–246. Nov. 2004.
- [184] Joines, J. A., King, R. E., & Culbreth, C. T. "Cell formation using genetic algorithms". Group technology and cellular manufacturing. Springer US,, pp.185–204;1998
- [185] Vavak, F., & Fogarty, T. C. "Comparison of steady state and generational genetic algorithms for use in non stationary environments". , *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation* , pp192–195. 1996
- [186] Paul C. Chu & John E. "A genetic algorithm for the generalized assignment problem". *Computers and Operations Research*, vol.24, pp.17–23, January 1997
- [187] Goldberg, D. E., & Deb, K. "A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. *Foundations of genetic algorithms*, vol. 1, pp. 69-93, 1991.
- [188] John H. Holland. *Adaptation in natural and artificial systems*. U Michigan Press, 1975
- [189] Koyanagi, F., Inuzuka, T., Uriu, Y., & Yokoyama, R., "Monte Carlo Simulation on the Demand Impact by Quick Chargers for electric vehicles". IEEE, Power Engineering Society Summer Meeting, vol.02 , pp. 1031-1036, 1999
- [190] Sumo [online] available at: <http://sumo.sourceforge.net/doc/current/docs/userdoc/Data/Scenarios/TAPASCologne.htm>
- [191] T. Başar and G. J. Olsder, *Dynamic Noncooperative Game Theory*. Philadelphia, PA, USA: SIAM Series in Classics in Applied Mathematics, Jan. 1999
- [192] Gibbons, R. " *A primer in game theory*". Harvester Wheatsheaf. 1992.
- [193] T. Başar, T., & Olsder, G. J. " *Dynamic Noncooperative Game Theory*" Society for Industrial and Applied Mathematics, 1998.
- [194] Zhou, C., Qian, K., Allan, M., & Zhou, W. "Modeling of the cost of EV battery wear due to V2G application in power systems," IEEE Transactions on Energy Conversion, no. 4, vol. 26, pp. 1041–1050, Dec. 2011.

- [195] Marra, F., Træholt, C., Larsen, E., & Wu, Q, “Average Behavior of Battery Electric Vehicles for Distributed Energy Studies”, IEEE Conf, Innovative Smart Grid Technology, pp.1–7. Oct. 2010
- [196] White, C. D., & Zhang, K. M. “Using Vehicle-to-Grid Technology for Frequency Regulation and Peak-load Reduction,” Journal of Power Sources, Vol.196, pp. 3972–3980. 2011
- [197] Negeri, E., & Baken, N. “Smart Integration of Electric Vehicles in an Energy Community,” In Proc. of the 1st International Conf. on Smart Grids and Green IT Systems, pp. 25–32, Apr. 2012.
- [198] EIA report, Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2009, [Online] Available: http://www.eia.gov/environment/emissions/ghg_report/ghg_overview.cfm
- [199] dd. Magazine [online] Available: <http://www.ddmagazine.com/2859-La-production-electrique-mondiale-en-chiffres.html>
- [200] Hatfield, M., “Game Theory in Management: Modelling Business Decisions and Their Consequences”, Gower Publishing, Ltd., 2012
- [201] Farrell, J., “Utilities Cry “Fowl” Over Duck Chart And Distributed Solar Power” in clean technica, [on line]. Available: [http://cleantechnica.com, utilities-cry-fowl-over-duck-chart-and-distributed solar-power-crying-fowl-or-crying-wolf-open-season-on-the-utilitys-solar-duck-chart2014](http://cleantechnica.com/utilities-cry-fowl-over-duck-chart-and-distributed-solar-power-crying-fowl-or-crying-wolf-open-season-on-the-utilitys-solar-duck-chart2014)
- [202] McCook, H., “Under the Microscope: The True Costs of Gold Production” in Coin-Desk. [online]. Available: <http://www.coindesk.com/micro-scope-true-costs-gold-production/>, 2014.
- [203] California Energy Commission, [online]. Available: <http://energy.ca.gov/electricity/total-system-power.html>
- [204] Time of change, [online]. Available: <http://timeforchange.org/co2-emission-nuclear-power-stations-electricity>
- [205] U.S Energy Information Administration, [online]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=19131>