

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie électrique et de génie informatique

Échanges entre véhicules intelligents électriques et la grille pour
la planification de la charge et le routage

Mémoire de maîtrise
Spécialité : génie électrique

Achraf BOURASS

Jury: Soumaya CHERKAOUI (directrice de recherche)
Lyes KHOUKHI (examineur)
João Pedro TROVÃO (rapporteur)

RESUME

Le nombre de véhicules électriques (VEs) augmente de plus en plus depuis des dernières années. De ce fait, des problèmes d'attente dans les stations de recharge apparaissent, vu leur nombre limité dû aux coûts élevés d'installation. En outre, il y a des problèmes liés d'une part à l'autonomie due à la capacité limitée des batteries et des problèmes liés d'autre part à la crainte d'avoir une portée insuffisante pour atteindre une destination du véhicule ou de tomber en rupture d'énergie entre un point de départ et un point de destination. Faire de la planification de recharge et diriger les conducteurs vers des stations de recharge disponibles pendant leur trajet pourraient contribuer à résoudre ces deux problèmes. Pour ce faire, une communication bidirectionnelle entre les VEs et la grille serait utile. C'est dans ce cadre, que ce projet est proposé.

D'une part, dans ce projet, on propose une architecture sécurisée où les VEs et la grille intelligente peuvent échanger les données pour effectuer une réservation des créneaux horaires dans les stations de recharge et planifier les itinéraires. Une étape d'authentification et d'autorisation du véhicule ou de l'utilisateur est primordiale pour garantir la sécurisation des échanges et la confidentialité des données des VEs. Cela implique une demande de fournir des informations en mode crypté à travers les protocoles de sécurisation. Cette étape d'authentification et d'autorisation est établie après une étape de notification du VE.

D'autre part, on met en place un nouveau schéma pour planifier les itinéraires des VEs. Ce schéma prend en compte l'état de charge du véhicule, son origine, sa destination et les stations de recharge disponibles sur la route. Le schéma établit la réservation dans les stations selon des mécanismes d'optimisation de temps d'attente du VE dans les stations de recharge et de sa consommation d'énergie globale durant son voyage depuis le point d'origine jusqu'à la destination voulue.

Mots-clés : Réservation, Optimisation, Authentification, Autorisation, Temps d'attente.

ABSTRACT

The number of electric vehicles (EVs) has increased significantly in recent years. Owing to the limited number of charging stations (CSs), the waiting time in charging stations has swelled. In addition, the limited capacity of EV batteries can evoke the drivers' range-anxiety, defined as the fear of having insufficient range to reach a destination. Make a charging planning and directing the drivers to the available charging stations during their journey could help to solve these problems. To do this, a bidirectional communication between the EVs and the smart grid would be useful. It is within this framework that this project is proposed.

In this project, we propose a secure architecture where EVs and the smart grid can exchange data information for making slots reservation at the charging stations and route planning. Authentication and authorization of EVs or users is essential to guarantee EVs confidentiality and the exchange of information. This implies a request to provide the sensitive information in encrypted mode through security protocols. These procedures are executed after the EV notification process.

Besides, we propose a new scheme for planning EVs itineraries. This scheme considers the state of charge of EVs, their starting positions, their destinations and the charging stations available on the road. The system establishes the reservation of the charging slots via optimizing the waiting time at charging stations as well as the energy consumption during EVs journey, from their starting positions to their designated destinations.

Keywords: Reservation, Optimization, Authentication, Authorization, Waiting Time.

REMERCIEMENT

Je tiens d'abord à exprimer les meilleures expressions de reconnaissance à chaque membre de ma famille pour leurs soutiens et leur accompagnement. Je remercie mon frère Soufiane BOURASS pour ses conseils.

Je tiens à remercier par les meilleures expressions de reconnaissance ma directrice de recherche Madame Soumaya CHERKAOUI, professeure à l'Université de Sherbrooke et directrice du laboratoire INTERLAB, pour sa confiance, ses précieux conseils et ses remarques pertinentes qui ramènent à la réussite du présent travail.

Je remercie également Monsieur Lyes KHOUKHI, professeur à l'Université de Technologie de Troyes, d'avoir accepté de juger mon mémoire, pour ses remarques pertinentes et pour son accueil dans le laboratoire ERA.

Je remercie Monsieur João Pedro TROVÃO, professeur à l'Université de Sherbrooke, d'avoir accepté l'évaluation du présent mémoire, ainsi de ses remarques pertinentes.

Je remercie Meysam et Oussama, pour leur soutien et leur aide et je remercie tous les membres du laboratoire INTERLAB de l'Université de Sherbrooke et du laboratoire ERA de l'Université de Technologie de Troyes pour les discussions constructives et pour les moments partagés durant ma période de maîtrise.

Mes remerciements et mon respect vont à tous les membres de l'équipe de PCBF pour le soutien durant toute ma période d'étude et à tous les membres de l'Université de Sherbrooke.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	ii
ABSTRACT.....	iii
REMERCIEMENT	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ACRONYMES	ix
CHAPITRE 1	1
INTRODUCTION.....	1
1.1. Mise en contexte et problématique	1
1.2. Définition de projet de recherche.....	2
1.3. Objectifs du projet	3
1.4. Originalité	3
1.5. Organisation du mémoire	4
CHAPITRE 2	5
L'ETAT DE L'ART.....	5
2.1. Introduction	5
2.2. Le véhicule électrique.....	5
2.2.1. La batterie du véhicule électrique.....	7
2.2.2. Infrastructure de recharge	8
2.3. La grille électrique intelligente.....	10
2.3.1. Avantages de la grille électrique intelligente.....	11
2.3.2. La communication du véhicule électrique vers le réseau.....	12
2.4. Les stratégies de planification	13
2.4.1. Les stratégies de planification	13
2.4.2. Synthèse.....	17
2.5. Conclusion.....	18
CHAPITRE 3	19
GUIDE D'ITINERAIRE INTELLIGENT POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES DANS LE RESEAU INTELLIGENT	19
3.1. Résumé	19
3.1.1. Résumé en français.....	19
3.1.2. Abstract	20
3.1.3. Index Term.....	20
3.2. Introduction	20

3.3.	Related work	21
3.4.	Intelligent route guidance	22
3.4.1.	System description	22
3.4.2.	Waiting time	24
3.4.3.	Energy Consumption	25
3.4.4.	Optimization Scheme	27
3.5.	Simulation results	29
3.6.	Conclusion and future work	34
	CHAPITRE 4.....	35
	PLANIFICATION OPTIMALE DES ITINERAIRES SECURISES POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES DANS LA GRILLE INTELLIGENTE.....	35
4.1.	Résumé	35
4.1.1.	Résumé en français	35
4.1.2.	Abstract	36
4.1.3.	Index Term	36
4.2.	Introduction	36
4.3.	Related work	38
4.4.	System Architecture	40
4.5.	Security service architecture	43
4.6.	Itinerary planning and Charging Slots reservation	48
4.6.1.	System Description	48
4.6.2.	Energy consumption	49
4.6.3.	Algorithm	52
4.7.	Simulation results	56
4.8.	Conclusion and future work	59
	CHAPITRE 5.....	60
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	60
5.1.	Conclusion	60
5.2.	Perspectives	61
	LISTE DES REFERENCES.....	62
	LISTE DES PUBLICATIONS.....	67

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 les éléments de la grille électrique intelligente [23]	10
Figure 3.1 Proposed architecture.....	23
Figure 3.2 Sequence diagram.....	23
Figure 3.3 Schematic view of CS model.....	24
Figure 3.4 Lambda impact on the probability variation.....	30
Figure 3.5 CSs impact on the probability variation.....	30
Figure 3.6 Impact number of EVSEs on average waiting time.....	31
Figure 3.7 Energy consumption of EVs to reach CSs.....	32
Figure 3.8 EVs reachability to CSs in terms of energy	32
Figure 3.9 Energy power consumption of EVs	33
Figure 3.10 Waiting time of EVs	34
Figure 4.1 Itinerary Planning Architecture.....	41
Figure 4.2 Sequence diagram of the booking process.....	42
Figure 4.3 Security Service Architecture	44
Figure 4.4 Security attributes verification, generation and dispatching.....	46
Figure 4.5 An illustrated map graph with limit velocity and distance weight of each sub-edge	49
Figure 4.6 Schematic view of CS model.....	52
Figure 4.7 Illustration of the parameters used for waiting time minimization.....	55
Figure 4.8 Simulated graph	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Les batteries utilisées dans les différents véhicules électriques [15].....	8
Tableau 2.2 Les bornes de recharge électrique	9
Tableau 3.1 Symbols	26
Tableau 3.2 Vehicle specifications used in the model	29
Tableau 4.1 Security attributes use.....	46
Tableau 4.2 Symbols	47
Tableau 4.3 Vehicle specifications used in the model	57
Tableau 4.4 Dataset for the simulation.....	58

LISTE DES ACRONYMES

Acronyme	Définition
ACM	Accounting module
Ag	Aggeragtor
ATM	Authorization module
BEV	Battery Electrical Vehicle
CS	Charging Station
DSRC	Dedicated Short Range Communication
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
EV	Electric Vehicle
ER	Electric Vehicle Reachability
FCFS	First-Come-First-Serve
GA	Governmental Authorities
GMCNF	Generalized Multi Commodity Network Flow
GSO	Grid System Operator
G2V	Grid to Vehicle
IHM	Interface Human Machine
ISO	International Organization for Standardization
ITS	International Transportation System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
LTE	Long Term Evolution
NIST	National Institute of Standards and Technology
PA	Private Authorities
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
RSA	Rivest–Shamir–Adleman
RSU	Road Side Unit
SA	Smart Aggregator
SM	Security module

SMM	Session Manager Module
SRG	SmartRouteGuidance algorithm
SSA	Security Service Architecture
SoC	State of Charge
TA	Traffic Authority
VH	Véhicule Hybride
VHR	Véhicule Hybride Rechargeable
VE	Véhicule Electrique
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to Home
V2B	Vehicle to buildings
WiFi	Wireless Fidelity

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1. Mise en contexte et problématique

Sous la diminution des réserves de pétrole par rapport à la demande et l'augmentation de la pollution de l'atmosphère et l'effet de serre, la société mondiale fournit des efforts dans le sens d'arriver à un système de transport libéré de l'énergie pétrolière en servant les enjeux économiques et environnementaux des gouvernements. Dans ce sens, le véhicule électrique (VE) est l'acteur le plus recommandé pour améliorer la qualité de vie vu ces avantages économiques et environnementaux. En effet, il ne dégage pas de gaz d'échappement étant responsables de la pollution de l'atmosphère.

Néanmoins, plusieurs contraintes s'opposent à l'instauration des VEs dans les systèmes de transport, comme la range limitée de la batterie et le nombre limité des stations de recharge. De plus, le temps de chargement des VEs est plus long de celui des véhicules conventionnels ce qui génère plus de temps d'attente dans les stations de chargement. Ce temps d'attente dépend de l'équipement de recharge dans la station, de nombre de véhicules dans la file d'attente et des temps de chargement de ces véhicules. Ainsi que le temps de charge de VE dépend de l'équipement des stations installé et de la nature de la batterie. Durant les heures de pointe ou dans les zones qui ont moins de stations de recharge, la problématique du temps d'attente devient critique.

Ce qui limite également les conducteurs pour utiliser les VEs, on cite le problème de « range-anxiety ». C'est-à-dire, la charge dans la batterie risque d'être insuffisante pour atteindre la destination voulue.

Par ailleurs, la question de parcourir un chemin d'une position d'origine à une destination avec une consommation économique est problématique. En effet, le véhicule électrique doit être guidé par un système de planification afin de minimiser son temps d'attente et sa consommation d'énergie selon son état de charge.

Dans un système de transport intelligent, l'ensemble des véhicules électriques et les stations de chargement constituent la grille intelligente. Pour que l'utilisateur puisse effectuer une demande de planification, il doit envoyer des informations sensibles et privées. Donc,

un échange sécurisé de l'information est nécessaire entre les VEs et la grille. Dans ce cas, il est primordial de concevoir des protocoles d'authentification du VE et d'autorisation des demandes.

Ce projet propose une architecture sécurisée d'échange d'informations entre les VEs et le GSO de la grille intelligente pour planifier les itinéraires, en se basant sur les informations fournies des véhicules et des stations. Dans le but de planifier les meilleurs itinéraires vers la destination qui peut être une station de recharge, le projet propose un mécanisme d'optimisation pour minimiser le temps d'attente et la consommation de l'énergie.

1.2. Définition de projet de recherche

Le nombre des VEs devient de plus en plus important par rapport au nombre des stations de rechargement. Par conséquent, les problèmes de rechargement constituent un défi pour les chercheurs. En fait, l'utilisateur doit effectuer une demande de planification à distance par l'une des technologies de réseaux (LTE, Wifi...etc.) pour arriver à la destination voulue, avec une consommation minimale d'énergie et un temps de chargement réduit. Le temps de chargement dépend du temps d'attente et du temps de service. Et puisque ce dernier dépend de l'équipement de chargement et de la nature de la batterie, il est recommandé d'agir sur le temps d'attente. Sur cette étape, plusieurs messages sont échangés entre le VE et la grille. Des messages privés et sensibles pour l'utilisateur qui contiennent des informations importantes sur le véhicule. La confidentialité de ces messages est nécessaire par la mise en place d'une architecture sécurisée de communication pour confronter les risques probables. En effet, les attaques des adversaires peuvent contribuer à la perturbation des données ou des messages de communication entre la grille et le VE, tant qu'il a l'accès aux informations confidentielles des utilisateurs (le nom de l'utilisateur, ID du véhicule, l'emplacement de la station de rechargement choisie, calendrier de recharge, l'état de charge).

On formule trois questions à répondre pour entamer la problématique du projet :

- Comment guider les VEs vers la destination finale ou les stations de recharge en minimisant la consommation d'énergie et le temps d'attente ?
- Comment définir un système de planification qui traite les données des VEs pour calculer les itinéraires ?

- Comment sécuriser la communication entre le VE et la grille ?

1.3. Objectifs du projet

L'objectif global de mon projet peut être défini comme suit : « sécuriser l'échange des messages entre véhicules intelligents électriques et la grille ». L'utilisateur doit effectuer une demande de chargement et de planification d'un itinéraire vers sa destination finale, tout en minimisant la consommation d'énergie et le temps d'attente pour atteindre la destination. Cette opération nécessite un échange de l'information entre la grille et le véhicule électrique intelligent concernant l'état de la charge, la capacité de batterie, l'ID... Dans cette optique, il est nécessaire de sécuriser ces informations devant les attaques de l'adversaire, puisqu'ils peuvent être une cause de la perturbation de la messagerie lors de la communication. Le projet peut être divisé en deux parties :

Sécurisation : cette étape consiste à développer un système de sécurisation pour les messages qui circulent dans le système soit entre la grille et le VE basé sur la cryptographie. L'utilité de la sécurisation réside dans l'authentification de l'utilisateur et l'autorisation de sa demande pour le protéger des attaques des adversaires ou des malfaiteurs ce qui protège la communication, données entre les entités du système.

Planification : le but de cette étape est l'élaboration d'un mécanisme d'optimisation pour effectuer la planification des itinéraires pour les VEs, en minimisant la consommation de l'énergie et le temps d'attente au long du trajet vers la destination finale qui peut être une station de recharge.

1.4. Originalité

Ce projet propose une architecture sécurisée qui garantit la confidentialité des données des utilisateurs et de leurs VEs. Il s'agit d'une authentification et d'une autorisation pour effectuer des demandes de rechargement. Les stations sont affectées selon un mécanisme de minimisation de la consommation d'énergie et de temps d'attente d'une situation d'origine vers une destination donnée. Par contre, aucun des anciens travaux ne propose des protocoles de sécurisation dans le cas d'une planification des itinéraires des VEs.

1.5. Organisation du mémoire

Ce mémoire de maitrise est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre est consacré à l'introduction pour mettre le mémoire en contexte, définir la problématique, définir le projet de recherche et tracer les objectifs. Le deuxième chapitre concerne l'état de l'art divisé en trois parties : une partie pour la revue bibliographique sur le véhicule électrique, une autre pour la grille électrique intelligente et une dernière partie présentant les stratégies de planification.

Deux chapitres sont consacrés pour l'ensemble des approches proposées. Le troisième chapitre consiste à proposer un guide d'itinéraire intelligent pour les véhicules électriques dans le réseau intelligent dans le but de minimiser le temps d'attente dans les stations de recharge et de minimiser la consommation d'énergie. Le quatrième chapitre propose une architecture sécurisée d'échange pour les véhicules électriques et la grille intelligente échangeant les informations nécessaires pour la planification d'itinéraire. Le cinquième chapitre présente une conclusion générale pour ce projet et des perspectives du travail futur.

CHAPITRE 2

L'ETAT DE L'ART

2.1. Introduction

Dans cette partie, on traite l'état de l'art du sujet en trois axes essentiels. On présente dans le premier axe les véhicules électriques, les batteries et l'infrastructure de recharge. Dans le deuxième axe, on définit la grille électrique intelligente, ses avantages et ses fonctions ainsi que la communication avec les VEs. Et le troisième axe consiste à présenter les stratégies de planification des véhicules électriques dans la grille électrique intelligente et une synthèse pour cet axe. L'état de l'art se base sur des références traitant des sujets ayant une relation avec mon projet.

2.2. Le véhicule électrique

Dans le domaine d'industrie automobile, plusieurs gouvernements lancent des programmes pour arrêter l'usage du véhicule thermique [1]. Non seulement pour réduire le réchauffement climatique, mais également pour les raisons liées à la diminution des réserves de pétrole dans le monde. Ce qui déclenche l'indépendance de l'énergie dans le proche avenir en passant de l'énergie pétrolière à l'énergie électrique comme une énergie propre. Et donc, remplacer le véhicule conventionnel par le VE.

Un VE a été inventé en 1834, et commercialisé à la fin du 19^{ème} siècle par un certain nombre de sociétés [2]. Il a pour le but de diminuer l'émission des gaz d'échappement, et par conséquent, diminuer la pollution et dégrader l'effet de serre. Contrairement aux véhicules thermiques qui entraînent la pollution et provoquent le réchauffement climatique par les émissions de CO2 dans l'atmosphère. En fait, le VE est conforme aux tendances des gouvernements afin d'améliorer la qualité de vie sur la planète en dégradant la pollution de toutes les composantes de l'environnement et surtout éliminer toute source de pollution.

Du côté de fonctionnement, les véhicules à essence font aussi beaucoup plus de bruit que les VEs qui sont relativement calmes et silencieux. Ainsi, au niveau économique, l'alimentation des VEs coûte moins cher que les voitures thermiques, car l'électricité est moins chère que l'énergie pétrolière.

Actuellement, il existe de nombreux types de VEs. Ils sont dissociés en [2] six types, mais seulement trois qui sont fréquents sur le marché d'automobiles : les véhicules tout électriques, les véhicules hybrides et les véhicules à pile à combustible.

Le véhicule électrique(VE) : ce type de véhicule ne possède pas de réservoir de carburant et il n'a qu'un moteur électrique. Il utilise l'énergie électrique prise d'une source de recharge extérieure : les prises murales pour fournir la puissance motrice en utilisant des batteries rechargeables. Ces batteries ont une grande pile de stockage de l'électricité et elles ont besoin d'être alimentées pour faire bouger les roues. En effet, il est efficace pour les circulations quotidiennes vu son autonomie limitée supérieure à 100 Km dans les conditions réelles, ainsi de son temps de recharge qui est assez long [3].

Le véhicule hybride rechargeable : ce type de véhicule possède un moteur électrique et un moteur à carburant pour assurer une gestion optimale de l'énergie selon la vitesse du véhicule [3], [4]. Il peut circuler les plus longues distances comme un véhicule thermique. Cependant, il a les mêmes comportements du VE dans les courtes distances. C'est une meilleure solution jusqu'à maintenant pour combiner les avantages du VE et ceux du véhicule thermique. Certains véhicules de ce type ont obtenu des succès sur le marché comme la marque de Toyota.

Le véhicule à pile à combustible : ce type utilise la pile à combustible pour produire de l'électricité. Il est basé sur le stockage de l'hydrogène et de l'oxygène dans le réservoir sous haute pression pour générer l'électricité [5]. Il permet de fournir de l'énergie à la propulsion de moteur et aussi pour la stocker dans la batterie pour l'utiliser au plus tard [6]. Le véhicule à pile combustible n'émet que la vapeur d'eau. Il est plus autonome que le véhicule électrique et il a un court temps de recharge qui prend quelques minutes.

Malgré son caractère silencieux et sa qualité environnementale, plusieurs inconvénients du VE sont présentés dans la littérature [7],[8]. On cite, entre autres, les barrières qui limitent l'utilisation du VE et qui freinent sa demande :

Coût élevé d'achat : vu la gamme limitée et le coût élevé de la fabrication des batteries, les prix des véhicules électriques sont relativement très élevés par rapport aux véhicules classiques thermiques. Pourtant, grâce au développement du secteur de construction des batteries, l'écart entre le prix du véhicule électrique et celui du véhicule thermique est réduit [9] [10].

Autonomie limitée : sous l'augmentation du nombre des VEs par rapport aux l'infrastructure publique de recharge, l'utilisation des VEs reste limitée, car ils ne sont pas autonomes. En effet, l'énergie stockée dans la batterie ne suffit pas pour parcourir les mêmes distances que le véhicule thermique, donc la plupart des VEs ne peuvent pas parcourir de longs trajets, ils ont toujours besoin d'être rechargés [11]. Plusieurs facteurs impactent la capacité de stockage de la batterie, et par conséquent, l'autonomie du véhicule tels que le style de conduite, la vitesse, le chauffage et la température.

Temps de recharge : les VEs peuvent prendre jusqu'à 25 minutes pour les charger au niveau de recharge rapide, de 0.75 à 6 heures au niveau 2 et de 4 à 15 heures au niveau 1 [12]. Par contre les véhicules conventionnels ne prennent que quelques minutes pour les alimenter par l'essence.

Durée de vie de batteries : le rechargement multiple de la batterie au niveau de recharge rapide réduit la capacité du stockage, ce qui diminue la durée de vie de la batterie [13]. Cet élément freine le développement de l'utilisation des VEs, donc, elle est devenue un défi pour les chercheurs et les sociétés des batteries.

Coûts élevés de l'installation de l'infrastructure de recharge : l'installation des bornes de rechargement présente un investissement lourd puisqu'il coûte très cher dans les stations à utilisation publique et dans les locaux de résidence, de travail ou dans les parkings. Ce coût dépend également du type de borne installé, de l'acheminement de l'énergie jusqu'au point de recharge et les branchements [14].

2.2.1. La batterie du véhicule électrique

La batterie est l'élément qui sert à assurer le stockage et la continuité de l'énergie électrique. A travers le monde, les sociétés d'industrie automobile produisant des VEs offrent de différentes technologies de batteries. Actuellement, les batteries au lithium-ion (Li-ion) sont les plus préférées dans le secteur automobile, comme illustre le tableau.2.1 [15]. Ce genre de batterie présente plusieurs avantages. Elle est de faible poids et elle possède un taux de décharge réduit dans le temps avec aucun effet mémoire [22]. Elle offre une haute énergie ce qui permet une autonomie de 150 km dans le cas d'un poids acceptable. Néanmoins, la batterie à technologie lithium-ion reste coûteuse et risque de s'exploser si les conditions de sécurité ne sont pas toutes respectées [16].

Tableau 2.1 Les batteries utilisées dans les différents véhicules électriques [15].

Company	Country	Vehicle model	Battery technology
GM	USA	Chevy-Volt	Li-ion
		Saturn Vue Hybrid	NiMH
Ford	USA	Escape, Fusion, MKZ HEV	NiMH
		Escape PHEV	Li-ion
Toyota	Japan	Prius, Lexus	NiMH
Honda	Japan	Civic, Insight	NiMH
Hyundai	South Korea	Sonata	Lithium polymer
Chryster	USA	Chryster 200C EV	Li-ion
BMW	Germany	X6	NiMH
		Mini E (2012)	Li-ion
BYD	China	E6	Li-ion
Daimler Benz	Germany	ML450, S400	NiMH
		Smart EV (2010)	Li-ion
Mitsubishi	Japan	iMiEV (2010)	Li-ion
Nissan	Japan	Altima	NiMH
		Leaf EV (2010)	Li-ion
Tesla	USA	Roadster (2009)	Li-ion
Think	Norway	Think EV	Li-ion, Sodium/Metal chloride

2.2.2. Infrastructure de recharge

L'instauration réussie et la circulation régulière du VE dans le système de transport quotidien nécessitent l'installation d'une infrastructure de recharge suffisante pour répondre au besoin d'énergie électrique. Ces infrastructures de recharge doivent permettre au conducteur de recharger son véhicule durant ses déplacements à domicile, au travail, au parking ou dans une station de recharge publique. Le véhicule ne doit pas s'arrêter à cause d'un manque de l'énergie électrique, ce qui nécessite un nombre suffisant des bornes de recharge avec une distribution adéquate.

Pour surmonter au maximum le problème d'autonomie du véhicule électrique, il est primordial de penser au moyen adéquat de recharge suivant la distance que le conducteur veut parcourir et selon la capacité de sa (de ses) batterie (s). On présente trois moyens de recharge pour le véhicule électrique :

Échange des batteries : la station de rechargement propose de louer une batterie chargée à la place de l'ancienne batterie déchargée. Cela sert à économiser le temps de rechargement et à éviter le prix élevé de la batterie achetée. Or, les batteries ne sont pas uniformes ce qui nécessite de standardiser les batteries. Par ailleurs, Tesla installe une station de changement

de batterie en trois minutes ce qui assure d'arriver à Los Angeles de San Francisco en toute autonomie [17].

Recharge par induction : c'est l'utilisation de l'induction électromagnétique entre deux bobines pour charger le véhicule électrique sans arrêter dans une station de recharge sur autoroute. Une bobine située sur la route est liée à une autre par un fil électrique. Si le véhicule électrique passe par la bobine, il sera chargé grâce au courant électrique généré. [18] C'est un système de rechargement qui délivre de la puissance sans contact avec la batterie et garantit plus d'autonomie au véhicule durant sa circulation. C'est un moyen de chargement testé récemment au Royaume Uni.

Chargeurs à brancher : ce sont les bornes de chargement qui nécessite de brancher la batterie à la prise d'électricité. Ils sont installés dans les stations de rechargement et dans les maisons. Ils demandent généralement un temps long de rechargement qui dépend du type de la batterie et de la puissance de la borne. On distingue trois types de bornes de recharge (tableau 2.2) offrant trois niveaux de recharge selon le besoin du conducteur [12] :

Tableau 2.2 Les bornes de recharge électrique

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Tension en V	120	208 ou 240	200 ou 450
Courant en A	AC	AC	DC
Puissance en kW	1.4	3.6 ou 7.2	40
Durée de chargement	4-15 h	0.75-6 h	8-25 min

NIVEAU 1 : une prise standard de courant peut recharger le VE en 4-15 heures avec une puissance de la borne de 1.4 KW [12]. Ce niveau est souvent utilisé pour recharger le véhicule à la maison dans la nuit ainsi que la conversion de la puissance se fait dans le véhicule. Les propriétaires des VEs préfèrent d'installer des prises de recharge à domestique.

NIVEAU 2 : le réseau de rechargement public contient principalement des stations de recharge de niveau 2. Pour ce niveau, la conversion de puissance se fait dans le véhicule. Le temps de rechargement est entre 1.5-6 heures pour la borne de puissance de 3.6 kW et

entre 0.75-3 heures pour la borne de 7.2 kW [12]. Grâce aux bornes de niveau 2, toutes les stations de rechargement publiques permettent désormais aux conducteurs de VE de charger leurs batteries pour circuler plus à l'aise et facilitent l'organisation des déplacements et des voyages sans soucis.

NIVEAU 3 : la recharge rapide est pour charger le véhicule dans le cas d'un déplacement non programmé en une durée entre 8 et 25 minutes [12] (puissance de la borne est 40 kW) pour parcourir le trajet souhaité. Ce niveau est pratique dans les parkings des restaurants et des cafés et les stationnements relativement courts.

2.3. La grille électrique intelligente

La grille intelligente ou *smart grid* (Fig 2.1) peut être définie généralement comme un réseau utilisant les nouvelles technologies de l'information, dans le but d'équilibrer les flux de l'énergie électrique entre le consommateur et le fournisseur.



Figure 2.1 les éléments de la grille électrique intelligente [23]

Un réseau électrique intelligent est destiné au futur monde vert qui utilise les technologies de l'information pour adapter la production énergétique à la demande et pour optimiser l'utilisation de l'ensemble des sources d'énergie. Donc il utilise deux flux bidirectionnels : la puissance d'électricité et la communication des informations. Ces derniers peuvent être utilisés pour contrôler et gérer les différentes sortes d'entités dans le réseau électrique. Actuellement, il existe de nombreuses définitions du réseau intelligent. Cependant, on

considère deux principales définitions de European Technology Platform for Electricity Networks of the Future (ETP SmartGrids), [19] et de National Institute of Standards and Technology (NIST)[20].

En effet, ETP SmartGrids définit le réseau intelligent comme étant un réseau d'électricité qui peut intégrer d'une façon intelligente les actions de tous les utilisateurs qui y sont connectés (les générateurs et les consommateurs) afin de livrer l'électricité durable, économique et sécurisée. Cependant le (NSiT) définit le réseau intelligent comme une grille moderne d'intégration de beaucoup de variétés de calcul numérique, des technologies de communication et des services avec l'infrastructure. La grille intelligente permet la circulation bidirectionnelle des flux de l'électricité et de l'information.

Pour ne pas déstabiliser le système de la grille intelligente, surtout dans le période de surcharge, les consommateurs peuvent apporter leur propre énergie à la grille. L'énergie circulant dans la grille est électrique renouvelable puisque le réseau contient les VEs ce qui sert à réduire les émissions causant l'effet de serre. La grille intelligente augmente la fiabilité et la qualité de la puissance électrique, ainsi, elle fournit aux usagers des informations sur l'utilisation juste de l'énergie. L'intelligence de la grille réside dans l'efficacité et de l'optimisation de la circulation et de la consommation de l'énergie ce qui favorise la stabilisation du réseau. Il s'agit d'une connexion entre les éléments du système (comme illustré dans la figure [23]) pour une meilleure distribution de la puissance et une meilleure exploitation des ressources de l'énergie.

La grille intelligente contient une infrastructure composée des compteurs intelligents, les dispositifs de réseau, les dispositifs de stockage de l'énergie et les véhicules électriques, ainsi que les protocoles de communication dans le réseau.

2.3.1. Avantages de la grille électrique intelligente

La grille intelligente présente plusieurs avantages qu'on les résume en six points [21] :

- Fiabilité : il peut réduire les interruptions et les perturbations de la qualité de puissance en plus de réduire la probabilité et les conséquences des pannes ;
- Économie : il permet de réduire le montant payé par les consommateurs ;

- Efficacité : avec l'intégration de plusieurs ressources énergétiques renouvelables, il peut réduire le coût de production, de livraison, et aussi la consommation d'électricité ;
- Environnement : actuellement, le monde affronte plusieurs problèmes de changements climatiques, donc l'utilisation des énergies renouvelables comme les ressources énergétiques peut réduire ces problèmes ;
- Sécurité : elle est obtenue en réduisant la probabilité et les conséquences d'attaques causées par l'homme et les catastrophes naturelles et aussi réduire les risques imprévus dans les systèmes électriques.

2.3.2. La communication du véhicule électrique vers le réseau

La communication entre la grille et le VE est nécessaire pour le partage et l'échange des informations concernant l'état de charge des véhicules électriques, les disponibilités des stations de rechargement et les données des usagers. Les véhicules sont, dans la plupart du temps, en état de repos dans les garages des maisons ou dans les parkings, ce qui donne la possibilité d'être chargée G2V s'il est nécessaire comme ils peuvent être une source de charge pour la grille V2G.

La communication entre les véhicules électriques et *smart grid* peut être effectuée en deux modes différents : en mode décharge V2G, c'est-à-dire, du véhicule vers le réseau, où le véhicule est considéré comme une source qui distribue l'énergie dans la grille, et en mode de recharge G2V, qui représente le cas habituel.

La technologie V2G permet de fournir l'énergie directement dans les réseaux électriques. En effet, toutes les opérations entre les véhicules et la grille nécessitent des échanges des informations bidirectionnelles comme l'état de la batterie, la disponibilité de la station, le prix de rechargement actuel. Cette technologie est préférable lorsque le prix et la demande de l'électricité deviennent plus élevés. Dans ce sens, le véhicule participe à la stabilisation de la grille. La technologie V2G offre un service flexible et joue un rôle très important pour la capacité de soutenir les énergies renouvelables, lorsqu'il y a un manque de production de l'électricité et des changements de météo qui influencent l'exploitation des énergies renouvelables [24].

Les sous-ensembles de la technologie V2G comprennent le véhicule vers la maison V2H (lorsque le véhicule électrique est dans la résidence du propriétaire) ou le véhicule vers le bâtiment V2B (lorsque le véhicule électrique est dans un immeuble commercial). Dans ces cas, la puissance de la batterie est utilisée pour compléter la charge électrique du bâtiment local sans transfert au réseau électrique dans les cas de rupture d'énergie dans la grille [25].

Plusieurs avantages sont présentés par la technologie V2G, aussi bien pour la grille que pour les propriétaires des véhicules électriques. Les conducteurs peuvent profiter de l'utilisation des VEs parce que l'électricité est moins chère que l'énergie pétrolière. En revanche, les VEs peuvent fournir des revenus supplémentaires pour leurs propriétaires lorsqu'ils vendent de l'électricité à la grille. Ainsi que la grille peut profiter de la technologie V2G, du point de vue que les véhicules électriques représentent une réserve d'énergie de secours pour recharger la grille pendant les heures de point et en cas de rupture.

2.4. Les stratégies de planification

Dans cette partie, on présente des études bibliographiques qui abordent les problèmes des stratégies de planification pour les véhicules électriques et une synthèse résumant ces stratégies.

2.4.1. Les stratégies de planification

Au cours des dernières années, plusieurs pays donnent beaucoup de privilèges aux conducteurs qui remplacent les véhicules thermiques par les véhicules électriques. Certains gouvernements exemptent totalement les acheteurs des VEs du péage sur les ponts et les autoroutes et aussi des taxes. Dans cette optique, beaucoup des problématiques techniques sont apparues et devenues un défi pour les chercheurs. Donc, il est important de définir quelques stratégies de planification de rechargement. L'article [26] traite le problème de minimisation de temps d'attente pour les véhicules électriques dans les stations de recharge, en utilisant des méthodes stochastiques. Il propose un modèle mathématique basé sur la théorie des files d'attente et prend en considération quelques contraintes correspondantes au nombre des stations, à leurs capacités de rechargement, au nombre des véhicules électriques et à leurs états initiales de charge. Il propose également un algorithme (qui est manipulé par *smart grid*) pour assigner les VEs aux stations selon le plus petit

temps d'attente, en considérant que les VEs en route peuvent communiquer au *smart grid* les informations sur l'état de sa charge avant le branchement.

Dans [27], l'auteur présente un modèle de guidage des véhicules électriques vers des stations de recharge dans le but de minimiser le temps pour rejoindre ces stations publiques, sachant que les VEs sont capables de communiquer avec *smart grid* par la technologie sans fil. Il propose un algorithme de minimisation de temps pour rejoindre la station la plus proche ayant le temps d'occupation minimal.

Dans [28], l'auteur applique l'algorithme de Bellman-Ford afin de trouver les meilleurs itinéraires par rapport à la consommation d'énergie, en tenant compte la topologie routière. Un calcul mathématique de consommation d'énergie entre les nœuds est présenté dans le but de trouver la route la plus économique. L'auteur étudie, par la suite, le temps de génération de la solution en fonction de l'augmentation du nombre des nœuds qui grandit de la taille de carte.

La référence [29] se focalise sur le même objectif de la référence [28], elle applique un algorithme TS qui est l'une des méthodes méta-heuristiques notables. Cet algorithme est appliqué à une carte où il existe le point de départ et la destination ainsi que le poids des chemins entre les nœuds défini par la vitesse et la distance.

Le papier [30] propose une solution du problème de l'optimisation de l'énergie et du temps de déplacement sous les contraintes de l'état de charge de batterie. Il propose un modèle multicritère en deux modes : le mode de l'énergie qui consiste à trouver le chemin le plus éco-énergétique et le mode de temps de déplacement en calculant le parcours ayant le temps minimal.

L'article [31] élabore un nouveau protocole de communication (REBECA Scheme) entre les véhicules électriques et les stations de rechargement pour un processus de réservation fiable. En effet, l'utilisateur doit être informé du statut des stations les plus proches dans la grille selon l'état de la batterie. Le processus de chargement demande une communication efficace entre les véhicules électriques et les stations. Le processus utilise des algorithmes de RAA, BAA et PBAA proposés. L'algorithme RAA cherche une solution faisable pour le module proposé en fonction de la recharge. Cet algorithme consiste à choisir aléatoirement un point de recharge entre d'autres points de recharge disponibles.

L'algorithme BAA permet de choisir un point de recharge disponible qui peut répondre à la demande du véhicule électrique.

Par contre, l'algorithme PBAA prend en considération l'équilibre de puissance entre les différents points de recharge pour garder la variance minimale de l'électricité utilisée et pour fournir un temps de latence court pour les véhicules électriques. L'auteur montre que l'algorithme PBAA est plus favorisé pour le protocole de communication REBECA afin de minimiser le temps de latence qui est le temps de rechargement augmenté de temps d'arriver.

Toujours dans le contexte de la stratégie de planification de chargement des VEs, la référence [32] aborde le problème du meilleur chemin dans un graphe modélisé, en utilisant un problème d'optimisation mathématique, tout en considérant l'échange de batterie comme une solution alternative à la charge aux stations. Il propose un graphe dont les nœuds sont les stations, le point d'origine et la destination avec des distances données. L'approche proposée donne le chemin le plus court. Elle suppose que la longueur de chaque sous-chemin est au maximum la distance que le VE peut parcourir par une batterie pleine et le véhicule a un nombre fini d'arrêts pour changer la batterie.

Un autre travail [33] présente une approche d'affectation des VEs aux stations de charge basée sur l'état de charge de batterie, la distance de déplacement aux stations et le trafic routier. Il propose une architecture de processus de chargement qui permet une communication entre les VEs et la plate-forme proposée. Cette dernière est assurée par l'utilisation de la technologie de communication.

Dans la référence [34], l'auteur se focalise sur le problème de l'autonomie des véhicules électriques. En effet, la contribution de l'article réside dans le choix des meilleures routes pour atteindre la destination en un temps minimal et/ou un coût minimal, dans le but d'assurer l'usage de VE avec plus d'autonomie. L'auteur suppose que le VE peut tirer des informations de l'internet telles que : le type de route et les conditions météorologiques, la congestion du trafic, la position GPS des stations de recharge, etc. Il propose trois modèles importants : IHM, module de calcul de chemin et module de consommation d'énergie.

IHM: un usager du véhicule peut planifier un itinéraire et choisir un chemin selon sa préférence entre temps/coût de chargement. Cette interface homme-machine peut être intégrée dans le tableau de bord de l'automobile ou dans une application de smartphone.

Module de calcul de chemin : ce module sert à récupérer les informations de position initiale du VE, de SoC et de l'énergie requise pour atteindre la destination finale. Il contient un modèle d'optimisation basé sur le problème du plus court chemin avec des sources internes.

Module de consommation de l'énergie : il récupère l'information de la location de VE, de SoC, de l'énergie demandée et de la location des stations de charge sur des trajets entre la position de véhicule et sa destination, ainsi que les conditions météorologiques et les conditions de circulation sur ces chemins. Donc, il utilise non seulement les paramètres internes du véhicule, mais aussi les paramètres externes. Ce module minimise l'énergie nécessaire pour atteindre la destination, cependant, le conducteur peut choisir le trajet convenable pour lui en fonction de prix.

Dans cet article, l'auteur utilise une méthode qui s'appelle (GMCNF), afin de résoudre le problème multicritère de minimisation du coût de chargement et/ou du temps de déplacement pour atteindre la destination finale. Trois types de stations sont utilisés.

La référence [35] propose une nouvelle architecture qui vise à fournir l'itinéraire le plus économique pour les VEs vers une destination en fonction de la consommation d'énergie. Lorsque l'état de charge de batterie diminue, l'architecture recalcule le chemin restant en se basant sur les positions et les disponibilités des stations de recharge en fonction de plusieurs facteurs internes du véhicule (caractéristiques du VE). L'architecture est composée d'un serveur global, d'une flotte de serveurs des entreprises et des stations de recharge. Le serveur global calcule le coût d'énergie du voyage et traite en temps réel les informations collectées et stockées sur les routes et dans les stations de recharge. La flotte de serveurs de chaque entreprise fournit une application pour réserver un VE et planifier le voyage pour ses employés. Un client peut choisir un VE et entrer les informations de son voyage sur le serveur de l'entreprise pour pouvoir demander au serveur global de calculer toutes les routes possibles. Ce calcul est basé sur les cartographies et les conditions météorologiques. Les résultats sont envoyés au serveur de l'entreprise et le conducteur choisit le meilleur itinéraire.

Dans [36], l'auteur traite le temps long de rechargement des batteries des véhicules hybrides rechargeables (VHR). Il présente un modèle basé sur la théorie des files d'attente pour améliorer la qualité de services de rechargement pour les clients. Il propose un *data center* qui sert à calculer la meilleure station de recharge qui peut être optimale par rapport aux deux facteurs : la distance et le temps d'attente.

2.4.2. Synthèse

Dans ces littératures, on trouve des différents types de stratégies de planification existantes qui font l'objet de notre amélioration. En effet, dans les références [26], [27], [31] et [36], les auteurs traitent les problèmes de minimisation de temps d'attente dans les stations de recharge. Sur les quatre articles, les auteurs négligent l'aspect de minimisation de consommations d'énergie lorsque les VEs se déplacent d'une position initiale à une destination désignée. La densité du trafic et les limites de vitesse routière entre l'emplacement actuel du VE et les stations de recharge n'ont pas été considérées.

Dans l'article [33], les auteurs proposent un algorithme de planification des VEs en minimisant les distances de déplacement vers les stations de recharge. Cependant, les auteurs négligent l'aspect de temps d'attente dans les stations.

Dans les articles [28] et [29], les auteurs traitent le problème de minimisation de consommation d'énergie pour les VEs sur les itinéraires. Cependant, les auteurs négligent l'état de charge SoC du VE dans les algorithmes proposés.

Dans l'article [30], le chemin optimal pour le VE en termes d'énergie ou de temps de déplacement fait le sujet de cet article, mais, dans cet article, les auteurs n'ont pas considéré les problèmes liés à la circulation.

Dans [32], le problème du meilleur chemin est traité. Les auteurs considèrent que toutes les stations contiennent l'échange de la batterie. Les auteurs ne prennent pas en considération le temps nécessaire pour l'échange de batterie ni le temps d'attente dans leur modèle.

Dans [34] et [35], les auteurs proposent des architectures pour la planification des VEs en calculant le chemin le plus économique en termes de temps et de consommation d'énergie. Cependant, le problème du temps d'attente dans les stations de recharge n'a pas été abordé

dans [34] et [35] même si les stations de recharge peuvent avoir un temps important dans les files d'attente.

Il est également intéressant de noter qu'aucun des travaux précédemment mentionnés ne considère des mécanismes de sécurité lors de la planification de l'itinéraire pour les VEs. Dans ce travail, on propose une architecture sécurisée qui assure la confidentialité de l'information et la confidentialité des VEs.

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté, dans un premier lieu, le véhicule électrique, sa batterie et son infrastructure de recharge. Dans un deuxième lieu, on a défini la grille électrique intelligente, ses avantages, ses fonctions et sa communication avec les VEs. Dans un troisième lieu, on a entamé les stratégies de planification pour les véhicules dans la grille électrique et une synthèse de ces stratégies.

Dans le chapitre suivant, on va présenter les stratégies proposées pour l'optimisation du processus de chargement des VEs incluant la partie de sécurité.

CHAPITRE 3

GUIDE D'ITINERAIRE INTELLIGENT POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES DANS LE RESEAU INTELLIGENT

Titre original: Intelligent route guidance for electric vehicles in the smart grid

Auteurs et affiliations :

Bourass, Achraf, Département de Génie Électrique et de Génie informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke, Canada.

Cherkaoui, Soumaya, Département de Génie Électrique et de Génie informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke, Canada.

Khoukhi, Lyes, ERA Environnements de Réseaux Autonomes, Institut Charles Delaunay (ICD), UTT, France.

État : accepté.

Revue : IEEE Global Telecommunications conference (IEEE GLOBECOM), Singapore, 2017.

Mise en contexte du chapitre :

Dans cet article, on a abordé le problème de planifications des VEs dans le réseau intelligent en proposant une approche de guide d'itinéraire minimisant le temps d'attente dans les stations de recharge et la consommation d'énergie des VEs pour faciliter le service de rechargement,

3.1. Résumé

3.1.1. Résumé en français

Au cours des dernières années, le nombre de véhicules électriques (VE) circulant sur la route augmente constamment. Cependant, la disponibilité de l'infrastructure de recharge sur la route est encore limitée. Dans cet article, on propose un nouveau schéma pour guider les VEs vers les stations de recharge, afin de minimiser leurs temps d'attente et leurs

consommations d'énergie pour obtenir un service de recharge. Le schéma utilise la communication sans fil entre le VE et l'agrégateur intelligent. Il prend en compte l'état de charge (SoC) des VEs, leurs positions et les stations de recharge disponibles sur la route. Il considère également la circulation et l'occupation des stations de recharge. Des simulations ont été effectuées pour évaluer la performance du schéma proposé. Les résultats montrent que le schéma minimise efficacement la consommation d'énergie et les temps d'attente pour les VEs.

3.1.2. Abstract

In recent years, the number of electric vehicles (EVs) on the road has been steadily increasing. At the same time, availability of the charging infrastructure on the road is still limited. In this paper, we propose a new scheme to guide EVs toward charging stations so as to minimize their waiting time and power energy consumption to get a charging service. The scheme uses wireless communication between EVs and the smart aggregator. It takes into account the state-of-charge (SoC) of EVs, their position, and available charging stations on the road. It also considers traffic, and occupancy of charging stations. Simulations were performed to assess the performance of our proposed scheme. Results show that the scheme effectively minimizes energy consumption and waiting times for EVs.

3.1.3. Index Term

EV, energy consumption, waiting time, charging station.

3.2. Introduction

Electric vehicles (EVs) development has progressed tremendously during the last few years. Incentives to buyers, lower energy consumption and lower environmental costs, led to a steady increase in EVs adoption by the public. Today, there are over 500 000 registered EVs around the world, and in the next year, 2.7 million more EVs are expected to join the road [37]. However, the increase in the numbers of EVs brings about new challenges. Indeed, the limited number of charging stations, together with the lengthy process of charging, can make for very long waiting times in public charging stations, if vehicles randomly target stations for charging. The so called range-anxiety of drivers, who fear that EV battery will run out of power before the destination or a suitable charging point is reached, can also be exacerbated [38].

In this paper, we propose an architecture where EVs wirelessly exchange information with the smart aggregator (SA), in order to guide them to suitable charging stations (CSs). In this architecture, a guidance scheme is proposed, so as to allow EVs to reach a charging station while minimizing their waiting time and energy consumption. The optimal stations and corresponding routes are computed by the SA based on the state of occupancy of CS, on traffic state, and also based on information collected from EVs such current their SoC and position. The optimization scheme also takes into account the waiting times of CS on the road, road speeds and traffic density.

Our contributions in this paper are summarized as follows: 1) we propose an architecture where SA is responsible for managing and planning EVs guidance to public stations for charging. The SA uses wireless communications to exchange information with EVs on the road; 2) we propose an optimization scheme which takes into account constraints related to the capacity of CSs and their state of occupancy, constraints related to road layout, speed limits, and traffic, and also constraints regarding the SoC of vehicles, in order to optimally plan the charging process of EVs at CS. The main goal of the optimization scheme is to reduce the waiting time and energy consumption for EVs to attain a CS.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 3.3 presents related works. Section 3.4 presents the system architecture and the optimization scheme. Section 3.5 evaluates the proposed scheme through simulations. Finally, Section 3.6 concludes the paper.

3.3. Related work

In the last few years, several approaches have been proposed to address the problem of charging of EVs in public CSs. For example, an optimization of the charging process by minimizing the waiting time of the EVs in charging stations was proposed using queuing theory [26]. Another work presented a scheme for finding a suitable charging station by selecting the CS that has the minimum distance and occupancy time [27]. However, in these works, issues of the traffic density or speed limits long the road were not considered. In [28] and [29], the authors proposed two approaches for EVs eco-routing (i.e. selecting suitable routes in terms of energy-savings) by considering traffic conditions. However, the SoC of EVs was not taken into account. In [31], a communication protocol to support the booking process between EVs and EVSEs was presented. The work also aims to minimize the latency time of EVs in CSs. However, selecting suitable CSs based on energy-savings

was not considered. In [32], the shortest-path problem is addressed using a mathematical optimization model while assuming a battery exchange at public stations as an alternative to EV charging. The authors did not consider in their mathematical model the time needed to exchange the battery nor the waiting time at charging stations. In [35], an architecture for EVs itinerary planning was proposed which computes the shortest economic path along the route in terms of energy-savings based on some information (e.g., Status of CSs, current EVs position, SoC, traffic conditions etc.). However, the work does not consider the waiting time in charging stations.

In this work, we propose a new approach for the EVs itinerary planning which minimizes EVs energy consumption and waiting times to reach a charging station. The approach takes into account the occupancy of CSs, the SoC of EVs, road traffic and speed limits in the road.

3.4. Intelligent route guidance

3.4.1. System description

In the proposed architecture (fig. 3.1), EVs can communicate their profile to the SA using wireless communications technology (e.g. WiFi, DSRC, LTE, etc.). This profile comprises an identification (ID), SoC and current position. We assume that EVs are always within the communication range of SA either directly or through some intermediary equipment (e.g.road-side-unit). We also consider that SA can exchange information with different aggregators (Ag) which are, each, connected directly to several CSs in their area through wireless (mesh networks, LTE, etc.) or wired network technologies. The Ag have a global view on the status of occupancy of CS in their area. We suppose that a Traffic Authority can provide information about traffic to the SA when needed. The SA uses the information collected from EVs, Ag, and the Traffic Authority to computes the best CS, and best routes for EVs in terms of minimizing their waiting time for charging and their total energy consumption. Subsequently, the SA notifies EVs about the CS where they need to stop for charging.

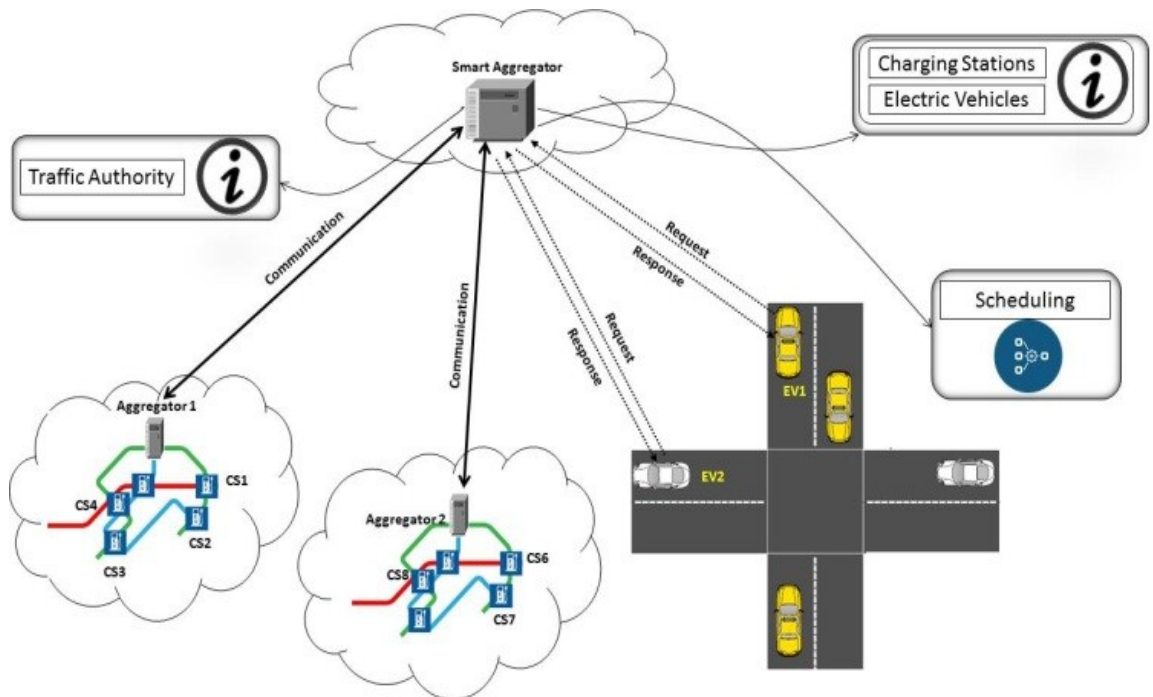


Figure 3.1 Proposed architecture

Fig 3.2 explains the sequence of exchanges between EVs, SA and Ags.

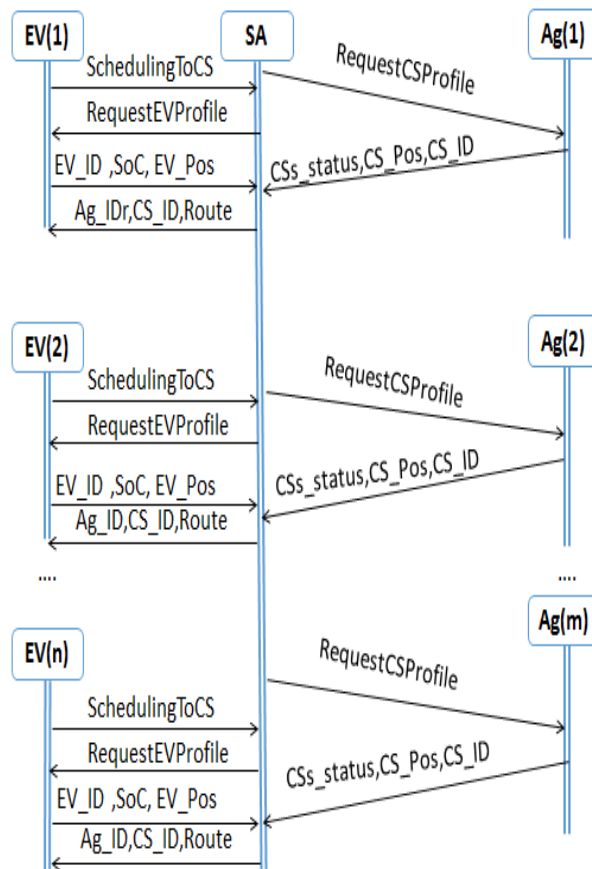


Figure 3.2 Sequence diagram

The sequence diagram also shows the data exchanged. In the figure, we consider a geographical area having a number n of EVs which communicate with SA.

The SA can communicate with a number m of Ag that have a global view over the status of occupancy of CSs in their area.

EV sends a request (SchedulingToCS) to SA. The latter responds by asking the EV (RequestEVProfile) about its profile. This profile comprises EV information such as ID, SoC and EV position. Once the EV replies, SA send a request (RequestCSProfiles) to Ag in order to get some information of CSs such as IDs, occupancy statuses and positions. These data is used to determine the best suitable CSs for the EV. Subsequently, SA responds to EV by delivering (Ag_ID, CS_ID, Route).

3.4.2. Waiting time

We study the waiting time at each station. The queuing model at each CS is illustrated in Fig. 3.3. In order to calculate the waiting time at a charging station, we assume that a set of EVs can be assigned to the same charging station, with each EV having a different charging target value.

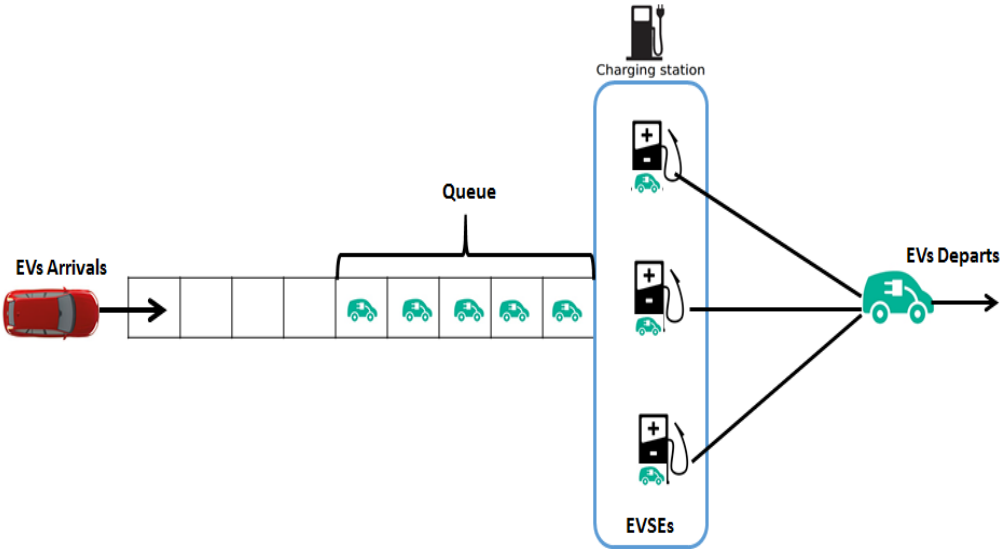


Figure 3.3 Schematic view of CS model

To calculate the probability variation, we use a method which is similar to the one proposed in [29]. Random EV arrivals can be modeled by a poison distribution. The

probability that a certain number of EVs are assigned to the same charging station can be computed as detailed in equation 3.1, equation 3.2:

$$P_n = \frac{1}{N_{CS}} p(x < n) \quad (3.1)$$

$$P_n = \frac{1}{N_{CS}} \left[\sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \right] \quad (3.2)$$

Where : n is number of EVs which are assigned to the same CS N_{CS} is number of CS x is random variable, k is number of arrivals of EVs, and λ is average arrival rate of EVs.

We can calculate the waiting time of each station as in equation 3.3.

$$W_{EV_n}^{CS} = \sum_{i=1}^{n-1} [EV^{target}(i) - EV^{current}(i)] \frac{1}{R_{charging} \cdot N_{EVSE}} \quad (3.3)$$

Where : $EV^{target}(i)$ State of charge after charging, $EV^{current}(i)$ is State of charge before charging, $R_{charging}$ Charging power at CS and N_{EVSE} is number of charging points at CS.

3.4.3. Energy Consumption

We now will consider the principals of vehicles dynamics to calculate the required power of EVs to reach a suitable charging station in terms of energy consumption. First, we calculate the traction force needed by the electric vehicle to move at a given speed using the equation 3.4. .We use graph theory for modeling EV charging process.

$$Ft = \sum F = F_{roll} + F_{grade} + F_{air} + F_{acc} \quad (3.4)$$

Where

F_{roll} : is the rolling resistance force between pneumatic tires and the road F_{roll} can be calculated by the following equation 3.5:

$$F_{roll} = K_{roll} \cdot M \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (3.5)$$

Where α is the road grade.

F_{grade} : represents the force of gravity and can be calculated by the flowing equation 3.6:

$$F_{grade} = M \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (3.6)$$

F_{air} : is the aerodynamics force of the EV against the air. It depends on the speed of the vehicle.

Table 3.1 summarizes the symbols used.

Tableau 3.1 Symbols

Symbols	Définition
A_c	Vehicle front area
C_D	Aerodynamics drag coefficient
ρ_a	Air density
M	Vehicle Mass
g	Gravity acceleration
a	Acceleration
V	Limit velocity
K_{roll}	Rolling coefficient
W_t	Waiting time
N_{EVSE}	Number of charging point
Cons	Energy consumption
K	Parameter chosen by EV
η_x	Efficiency of the electric motor
$R_{charging}$	Charging power at charging station
EV^{target}	Charging target
$EV^{current}$	State of charge before charging

We consider that we do not have a constant speed along an edge, which is made up of some successive sub-edges, each sub-edge have a different speed limit. For the sake of computing the energy consumption of EV, we use the speed limit in each sub-edge, which is determined by the Traffic Authority. However, each edge will be made up of some successive sub-edges. We consider that each sub-edge is represented by $[des_{ij}, V_{ij}]$ where des_{ij} is the distance and V_{ij} is the speed limit of the sub-edge, and i and j are the points of the road defining the sub-edge. Then the aerodynamics force is given by:

$$F_{air_{ij}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot A_c \cdot V_{ij}^2 \quad (3.7)$$

$F_{acc_{ij}}$: The inertia of the vehicle is given by:

$$F_{acc_{ij}} = M \cdot a_{ij} \quad (3.8)$$

From equation 3.4, the power required to move EV at the speed limit through the traffic can be calculated by the following equation:

$$P_{ij} = v_{ij} \cdot Ft_{ij} \quad (3.9)$$

v_{ij} : The velocity through the traffic can be calculated by the following equation:

$$v_{ij} = V_{ij} (1 - Tr_{ij}) \quad (3.10)$$

Let consider that the traffic density factor of each sub-edge is denoted by Tr_{ij} using equation 3.11 which is varied from 0 (no traffic) to 1 (blocking of the sub-edge), however we can deduce that the speed of the sub-edge trip is effected by Tr_{ij} .

$$Tr_{ij} = \frac{K_{ij}^d}{k_{ij}^{jam}} \quad (3.11)$$

Where K_{ij}^d is represent the vehicle density which is expressed by vehicles/km on the sub-edge.

k_{ij}^{jam} : Traffic density on the road.

Let consider that η_x is the efficiency of the electric engine motor. Then the consummation is given by equation 3.12:

$$Cons_{ij} = des_{ij} \cdot Ft_{ij} \cdot \eta_x \quad (3.12)$$

Where $Cons_{ij}$ represent the energy consumption of the sub-edge. We use $Cons_{ij}$ for calculating the edge consumption by gathering the energy consumptions over all the sub-edge as shown in equation 3.13.

$$Cons_e = \sum_{i,j} Cons_{ij} \quad (3.13)$$

The successive sub-edges of edge E_e are defined by the points I and j. The energy consumption between EV position and CS is given by equation 3.14:

$$Cons_{EVtoCS} = \sum_e Cons_e \quad (3.14)$$

3.4.4. Optimization Scheme

In order to calculate the optimal station for charging, the SA proceeds in two stages. First the EVReachability(ER) algorithm is run. EVReachability(ER) algorithm aims to verify the reachability of CSs by an EV based on its own SoC. Second, the SmartRouteGuidance algorithm is used to calculate the best route to a next charging station in order to minimize the waiting time and energy power consumption.

We consider that an EV profile includes information about the ID of EV, SoC and current location. The EV profile is represented as follows:

$$EV_{profile} [EV_{ID}, SoC, EV_{position}] \quad (3.15)$$

The CS profile is represented as follows:

$$CS_{profile}[CS_{ID}, Number_{EVSE}, CS_{position}] \quad (3.16)$$

We assume that all aggregators can have a global view of the CSs in their area in real time including the waiting time of each charging station.

Algorithm1 EVReachability(ER), which aims at finding the range of each EV based on its own SoC, is presented hereafter. This algorithm takes the EVs profile and CSs profile as input parameters. The algorithm calculates the energy consumption between each EV and all charging CSs in the area. Once the calculation is done, the algorithm verifies the reachability of EVs: Reachability =1 represents that EV can reach CS given its SoC and current road conditions, and Reachability =0 represents that EV cannot reach CS with given its SoC and current road conditions.

Algorithm 1:EVReachability(ER)

Input: EVs_Profile, CSs_Profile.

Output : ReachabilityMatrixEV_CS

1. For(each EV) do
 2. For(each CS in area) do
 3. Compute energy Consumption between EVs&CSs:
 4. Add to the Cons matrix all Consumption 'EV&CS'
 5. Endfor
 6. Endfor
 7. For(each EV) do
 8. If(SoC<= Cons) then
 9. Add to the ReachabilityMatrixEV_CS all CSs
 10. Endif
 11. Endfor
 12. Update ReachabilityMatrixEV_CS.
-

The SmartRouteGuidance Algorithm (SRG) is illustrated bellow. Each EV sends its profile to the SA. EVs information is taken into account based on a first-come-first-serve (FCFS) policy. The assignment of EVs to charging stations is executed according to the factor K, the K-shortest [39] energy consumption, and the minimum waiting time. The algorithm calculates the waiting time at each CS, which is reachable from an EV. Then, the assignment and updating CS takes place for each EV. The SA selects the best CS which is suitable to EV.

Algorithm 2:SmartRouteGuidance(SRG)

Input : EVs_Profile{EV_ID, SoC_EV , Position, k},CSs_Profile{CS_ID, NEVSE , Position },

Waiting time, Algorithm.1. /*Wt=waiting time*/

Output : @ of the best CS, update waiting time /* selected charging stations*/

-
1. Each EV sends to SA its profile asking for charging.
 2. EV_priority=FIFO(EV)
 3. For(each EV in EV_priority) do
 4. Select ReachabilityMatrixEV_CS according to K for each EV
 5. Select CSs from ReachabilityMatrixEV_CS according to minimum Wt
 6. Assign EV to selected CS
 7. Send @CS to each EV
 8. Endfor
 9. Update CSs
-

3.5. Simulation results

We present the simulation results of the proposed route guidance model. To simplify the simulation, we assume that the speed limit of EVs is constant at each edge. We consider a geographical area where a hundred EVs and twenty charging stations are randomly deployed. The locations of EVs are randomly chosen. The parameters of the simulation are illustrated in table 3.2 and were taken from the EV prototypes which were built by Université de Sherbrooke on the basis of eVUE vehicles [40]. These values allow estimating the energy consumption of EVs based on equation 3.14. Some parameters values used in our simulation are produced randomly as follows:

Tableau 3.2 Vehicle specifications used in the model

Symbol	Value	Unit
A_C	2.4	m^2
C_D	0.35	—
ρ_a	1.223	kg.m
M	1000	kg
g	9.81	m/s^2
K_{roll}	0.02	—

- The initial EV SoC is a uniform distribution between 10% and 45%.
- The EV SoC target value to complete EV trip after charging at CS is a uniform distribution between 70% and 100%.
- The distance between EVs and CSs is uniformly distributed over the area.
- The velocity between EVs and CSs is uniformly distributed over area.
- The maximum EV battery capacity equal to 7 kWh.

Fig.3.4 and Fig.3.5 illustrate the variation of the probability of EVs assigned to the same CS according to the value of Lambda and the number of charging points EVSEs, respectively. It can be deduced that the probability increases when Lambda and the number of charging points decrease. Lambda and number of charging EVSE have a huge impact on the probability variation of having EVs assigned to the same charging station.

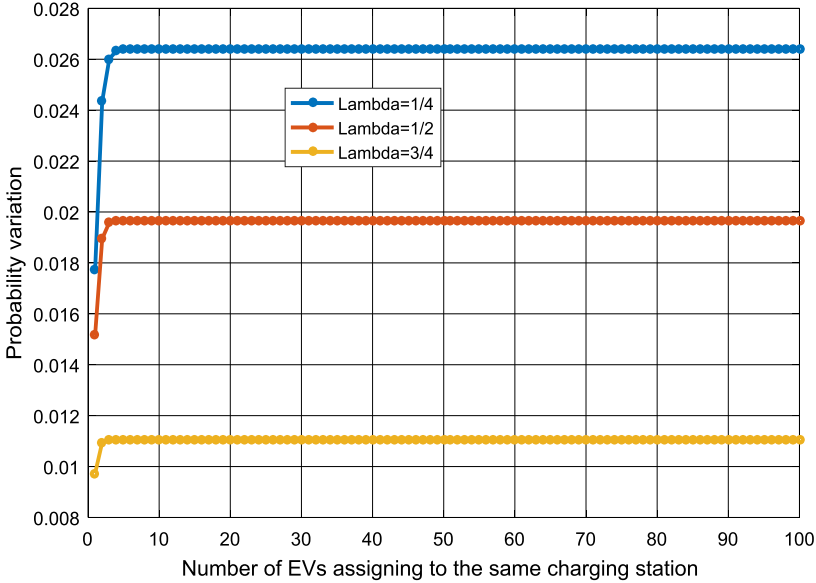


Figure 3.4 Lambda impact on the probability variation

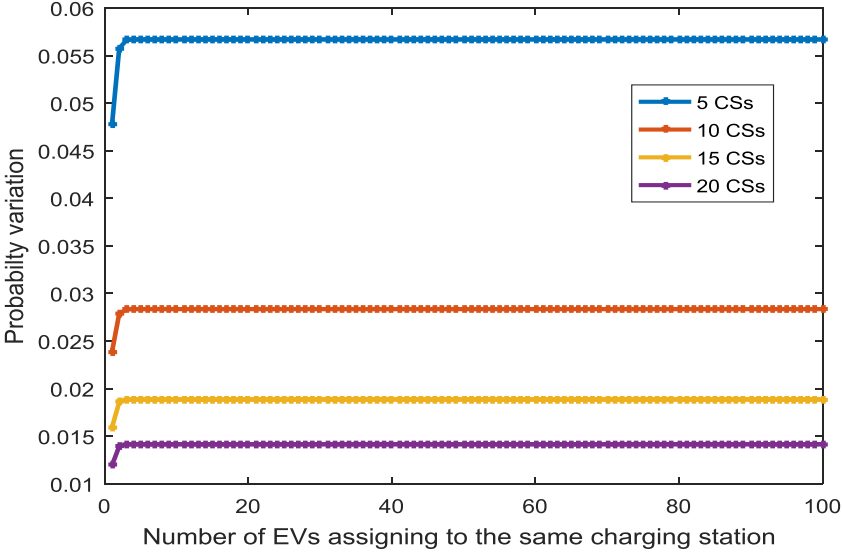


Figure 3.5 CSs impact on the probability variation

Fig.3.6 represent the average waiting time of EVs allocated to the same CS according to the number of EVSEs at CS. As shown in the figure, the average waiting time is higher if the number of EVSEs is small. This means that the number of EVSEs does impact on the average waiting time.

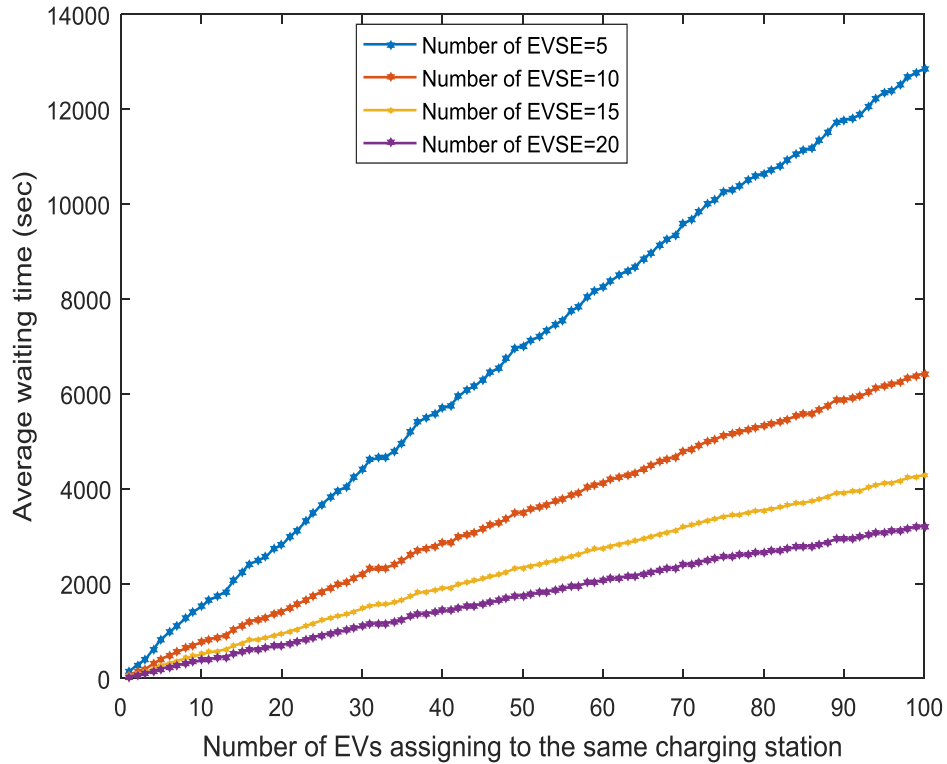


Figure 3.6 Impact number of EVSEs on average waiting time

Fig.3.7 shows the energy consumption of electric vehicles for reaching the charging stations. Using equation 3.4, we deduce the energy consumption of 100 electric vehicles (on the y-axis) and 20 charging stations (on the x-axis) located in a given geographical area, as well as the energy to be consumed by EVs to reach the charging station (on the z axis, represented by different colors). For example, as shown in Fig.3.7, the EV ID=9 to reach the CS ID=17, it consumes 2372 Wh as energy power consumption. Now we study the reachability of all EVs to reach CSs using the EVReachability algorithm. Fig.3.8 shows the reachability of EVs as the matrix of 100 EVs and 20 CSs; when EV can reach the CS, the reachability is 1, else 0. For example, EV ID= 60 cannot reach the CS ID=1 because its

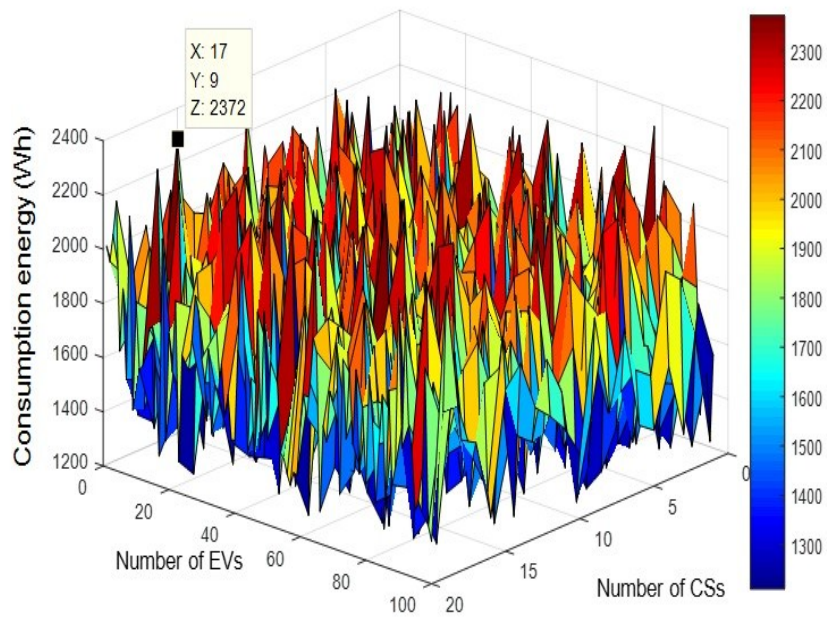


Figure 3.7 Energy consumption of EVs to reach CSs

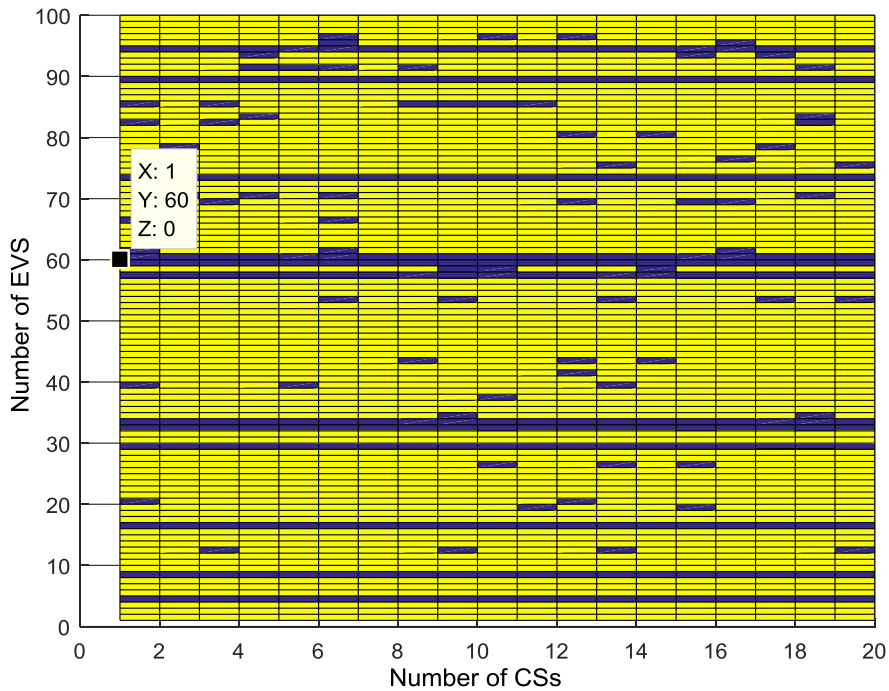


Figure 3.8 EVs reachability to CSs in terms of energy

Fig.3.8. EVs reachability to CSs in terms of energy state of charge is not enough. The grey color shows that the EV cannot reach the CS, while the yellow color represents the

reachability of EVs to CSs. The colors represent the energy consumption; the high values are represented by the red color, while the blue color is devoted to the lowest values.

Finally, we study the best assignment of EVs to charging stations using the algorithm SmartRouteGuidance (SRG). The algorithm aims to assign EVs to CSs by minimizing their waiting time and energy power consumption. We compute the K-shortest energy power consumption based on [39]. For the sake of simplicity, we assume that $K = 2$ in our implementation. This gives the two best paths of EVs from their current position to the charging stations in terms of energy power consumption. After we choose the best paths in terms of waiting time which is updated at each iteration of assignment, the SA can advertise this service to the EVs. We consider that the initial waiting time at CSs is uniformly distributed between 5 minutes and 60 minutes. Fig.3.9 presents the energy power consumption of EVs for random choice over an economic range compared to our SmartRouteGuidance algorithm. From this figure, it can be deduced that our algorithm gives more energy-efficient results in terms of energy consumption.

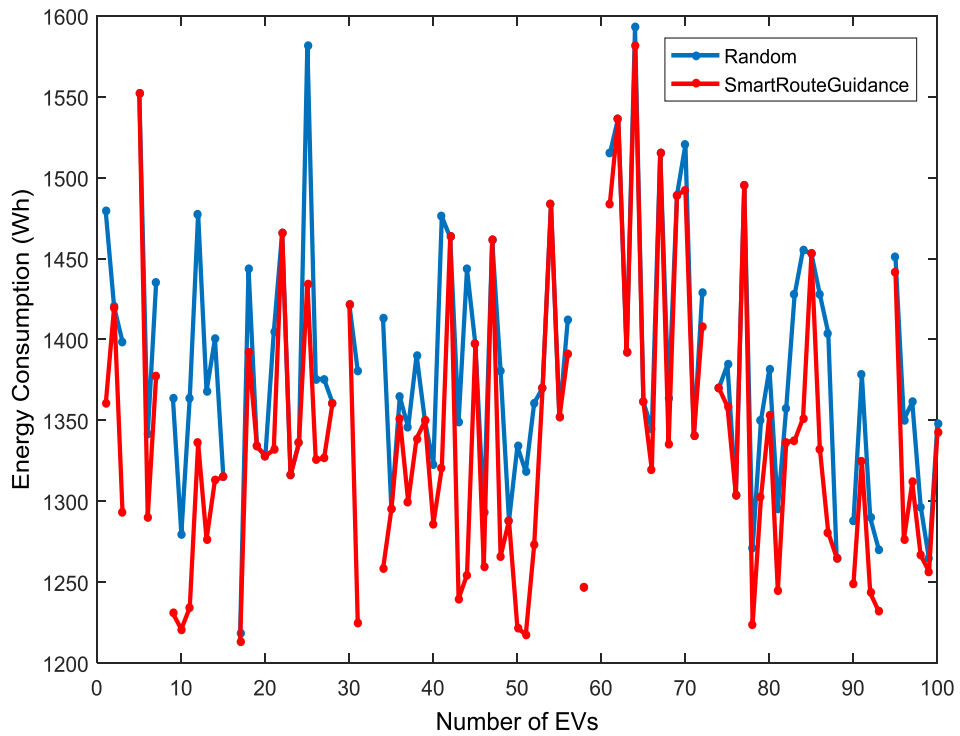


Figure 3.9 Energy power consumption of EVs

We observe that there are few discontinuities in the curves due to the insufficient EVs SoC to reach the charging stations.

Fig.3.10 illustrates the waiting time of EVs in the CSs associated with the energy consumption in Fig.3.9. The results show that the waiting time is lower for the proposed SmartRouteGuidance algorithm compared to the random algorithm.

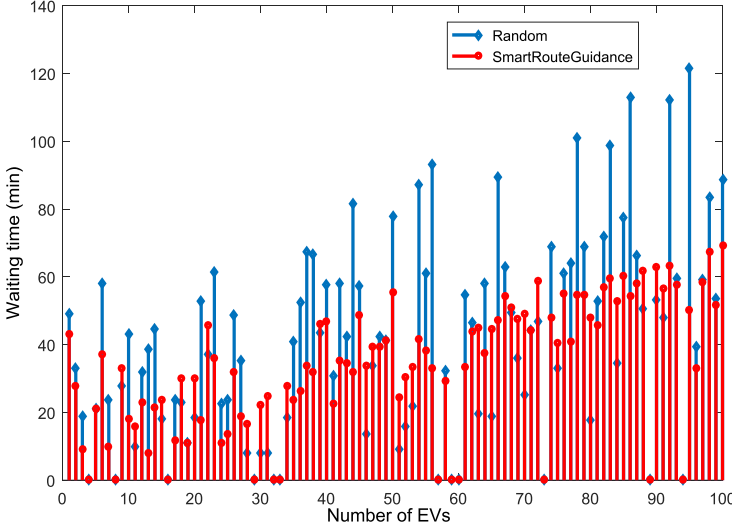


Figure 3.10 Waiting time of EVs

3.6. Conclusion and future work

In this paper, we presented an intelligent route guidance for EV in smart grid for facilitating the charging service, by minimizing the waiting time of charging and energy consumption of EVs. We studied the impact of EV SoC target on the waiting time of EVs at charging stations. We used a reachability algorithm to manage the charging stations assignment process. The simulation results show that the proposed SmartRouteGuidance algorithm can effectively determine the best route in terms of energy consumption and waiting time. In our future work, we will take into account pricing constraints in the assignment process for charging stations.

CHAPITRE 4

PLANIFICATION OPTIMALE DES ITINERAIRES SECURISES POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES DANS LA GRILLE INTELLIGENTE

Titre original: Secure Optimal Itinerary Planning for Electric Vehicles in the Smart Grid

Auteurs et affiliations :

Bourass, Achraf, Département de Génie Électrique et de Génie informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke, Canada.

Cherkaoui, Soumaya, Département de Génie Électrique et de Génie informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke, Canada.

Khoukhi, Lyes, ERA Environnements de Réseaux Autonomes, Institut Charles Delaunay (ICD), UTT, France.

État : accepté.

Revue : IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017.

Mise en contexte du chapitre :

Dans cet article, on a abordé le problème de planification des VEs dans le réseau intelligent. On a proposé une nouvelle architecture sécurisée de la planification des VEs. Cette architecture étant pour faciliter le service des opérations de chargement, en minimisant le temps d'attente dans les stations de recharge ou/et la consommation d'énergie des VEs pendant le voyage vers une destination connue.

4.1. Résumé

4.1.1. Résumé en français

Bien que le nombre de véhicules électriques (VEs) circulant sur la route augmente constamment au cours des dernières années, les problèmes d'autonomie et de range limitée

des VEs constituent le plus grand défi pour l'industrie automobile. Dans cet article, on propose, d'abord, une architecture sécurisée, où les VEs et la grille intelligente échangent des informations pour la planification d'itinéraires et la réservation des créneaux horaires dans les stations de recharge. L'architecture assure la confidentialité et comprend l'authentification et l'autorisation afin de sécuriser les informations sensibles des VEs. Deuxièmement, on introduit un nouveau schéma pour la planification de l'itinéraire du VE, qui prend en compte son état de charge, sa destination et les stations de recharge disponibles sur la route. Le schéma minimise le temps d'attente du VE et sa consommation globale d'énergie pour atteindre la destination. Des simulations sur MATLAB et CPLEX ont été effectuées pour montrer la performance du schéma proposé.

4.1.2. Abstract

Although the number of electric vehicles (EVs) on the road has been steadily increasing in the last few years, the problems of autonomy and limited driving range of EVs still represent a big challenge for automotive industry. In this paper, we first propose a secure architecture where EVs and the smart grid exchange information for itinerary planning and charging time-slots' reservations at charging stations. The architecture ensures privacy, and includes authentication and authorization in order to secure EVs sensitive information. Second, we introduce a new scheme for EV itinerary planning, which takes into account the state-of-charge of the EV, its destination, and available charging stations on the road. The scheme minimizes the waiting time of the EV and its overall energy consumption to attain destination. MATLAB and CPLEX simulations were performed to show the performance of our proposed scheme. Simulation proved that our model is able to optimize paths in terms of energy consumption and waiting time.

4.1.3. Index Term

EV, energy consumption, waiting time, smart grid.

4.2. Introduction

Electric vehicles (EVs) are known for their economic and environmental benefits. EVs offer a transportation mean without greenhouse gas emissions, which cause significant pollution in urban areas. The global climatic contribution of an EV is estimated to 9 tones in terms of equivalent CO₂ over its entire lifespan, compared to an estimated 22 tones for its thermic vehicle counterpart. These economic and environmental benefits have made

EVs a privileged mode of transportation for an increasing number of citizens; there are over 500 000 registered EVs around the world and 2.7 million more EVs are expected to join the roads by 2018 [37]. Despite the increasing popularity of EVs, some of the important issues that restrain a mass adoption of EVs are the limited range of battery, the limited availability of charging stations, and the overall charging process. Indeed, EVs charging times are significantly longer compared to those of conventional vehicles, leading to longer waiting time in the charging stations. An EV charging time (service time) depends on the equipment of the charging station and the nature of the batteries. In Level 3 stations, the fastest ones, the charging time can be as long as 30mn, depending on the state-of-charge of the EV [12]. The waiting time depends on the number of vehicles waiting for service ahead of the EV and their cumulative charging times. In periods of peak demand for charging on the road, or in areas having only few charging stations, issues of waiting time can become problematic. Another issue which hinders EV mass adoption, is the so called range-anxiety, where users fear that an EV will have insufficient range to reach its destination [38]. Parallel to the adoption of EVs, a new architecture of electric power grid, called the smart grid, is being deployed world-wide [41]. The smart grid offers many benefits, such as 1) ensuring reliability, quality of energy and security of different entities connected to the distribution grid; 2) integrating renewable energy sources; 3) minimizing disconnection times/durations, and 4) optimizing energy consumption at times of peak demand. All these benefits are made possible with two-way communications with all entities involved in the grid. In this paper, we propose an architecture where EVs wirelessly exchange information with the smart grid, more specifically the Grid System Operator (GSO), in order to assist them in planning their itinerary. Since the two-way communication between GSO and EVs can help third parties access sensitive information both about EVs (e.g. state of charge, position, battery capacity) and the smart grid (e.g. available charging time-slots at charging stations), security mechanisms are needed. Therefore, the proposed architecture integrates a secure service architecture (SSA) [42] which ensures both confidentiality of communications and privacy of EVs. Further, the architecture integrates authentication and authorization mechanisms to allow EVs to reserve charging time-slots along their itineraries.

In order to plan the itinerary of an EV, we propose an optimization scheme which takes into account the global occupancy of charging stations on the road, the roadmap and road speeds, traffic density, together with the EV state-of-charge (SoC), position, and final

destination. The scheme is used by the GSO to determine the optimal itineraries for the EV to attain its destination while minimizing its waiting time and total energy consumption to arrive to destination. We suppose that the EVs communicate to the GSO, regarding their SoC, position and destination. Based on this information, the GSO computes the optimal path in terms of waiting time and energy consumption, and indicates to the EV the best charging station choices.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 5.3 presents related works. Section 5.4 presents our system model and the reservation process. Section 5.5 describes the proposed secure architecture. Section 5.6 describes the reservation strategy algorithm. Section 5.7 evaluates the proposed architecture with simulations for different scenarios. Finally, Section 5.8 concludes the paper and suggests future works.

4.3. Related work

A few works have addresses issues of planning strategies for EVs in the past years. Minimization of the waiting time of EVs in charging stations along a road by using stochastic methods has been proposed in a previous work [26]. Another work looked at minimizing the time to join a charging station by choosing the charging station that has the minimum distance and occupancy time [27]. However, in both these works, the problem of itinerary planning based on destination and the reservation of charging time-slots were not addressed. Traffic density and road speed limits between EV current location and charging stations were not considered neither.

In [28] and [29], the authors proposed two different algorithms for EV route planning in order to find the best routes in terms of energy consumption, by considering road topology and traffic conditions. However, these algorithms do not consider the available SoC of EV. In [30], battery constraints are considered in a route planning problem where the objective is to find the optimal path for EV in terms of energy or travel time. In [31], the authors proposed a new communication protocol to ensure the reservation process between EVs and the charging stations. However, in [30] and [31], issues related to traffic and overall EV energy consumption were not considered.

In [32], the best path problem is modeled using a mathematical optimization problem where exchanging the EV battery at the stations is considered as an alternative solution to

EV charging. The authors do not consider the time needed for battery exchange nor the waiting time in their model.

In [33], the authors proposed a scheduling algorithm of EVs at charging stations based on the SoC, the travel distance to the stations and road traffic. However, this work does not minimize the queuing time in the stations nor does it consider the destination location. In [34], a generalized multi commodity network flow (GMCNF) was used in a multi-criteria EV routing problem to minimize the cost and/or the time to reach the final destination. In [35], the authors proposed an architecture for EV planning by calculating the most economic path along the route in terms of energy consumption based on some information (e.g., status of charging stations, EV position, destination, EV SoC, road conditions). The problem of waiting time at charging stations was not addressed in [34] and [35] even though charging stations may have significant queuing time. In [36] authors focused on queuing time and the shortest path to assign an EV to a single charging station; however, the work does not consider traffic, overall EV energy consumption, and destination position.

In recent works [43]-[50], security issues of EVs and smart grids have received significant attention. In [51], various types of attacks on vehicle-grid (V2G) connections were presented, such as denial of services (DoS), tampering with communication messages, and eavesdropping. In [52], a security architecture for smart grid is proposed where five main components are integrated: a secure grid overlay network, publisher-subscriber data delivery, low-latency transport protocols, and application programming and networked cache/storage. The authors focused on how to secure the infrastructure of the smart grid without special attention to interactions with EVs. The authors in [53] discussed security and privacy requirements for V2G networks and presented some security mechanisms for smart grids to protect EVs. In [54], a mechanism for securing EV communications with different grid entities is proposed; this mechanism aims at preventing attackers from executing Sybil attacks. In [55], the authors proposed an authentication scheme between EVs and charging stations. This scheme aims at securing EV sensitive information based on EV pseudonyms to impede third parties from monitoring EV movements. In [56], the authors proposed a battery status aware scheme which aims at hiding the EV battery identity and preserving EV privacy. However, neither [55] nor [56] have considered issues regarding accounting and authorization. In [57], [58] various schemes were presented which aim at ensuring the confidentiality of EV data. In [59], the authors proposed an

aggregated-proof based privacy-preserving authentication scheme, aiming at protecting vehicles' battery identity. For the sake of preserving communication resources, vehicles can be authenticated by an aggregator in their scheme. All of the aforementioned schemes aimed at securing some aspects related to EV-grid interactions. However, to the best of our knowledge, none of the previous works proposed solutions for jointly protecting the privacy of EVs, securing communications, and providing authorization to allow EVs access itinerary planning and charge scheduling.

In our work, we propose a secure architecture which ensures confidentiality of information, privacy for EVs, and authentication and authorization mechanisms for reserving charging slots at charging stations.

4.4. System Architecture

Let us consider an EV travelling from a departure point to an arrival destination. The EV needs to plan its itinerary, so makes a corresponding request to the GSO. As a response, the GSO determines the best itineraries for the EV, which minimizes the waiting time and overall energy consumption to attain destination. The GSO also indicates to the EV the charging stations where it should recharge its battery along the routes.

In our model, we consider that the EV can exchange information with the GSO through wireless communications technology (e.g. WiFi, DSRC, LTE, etc.). The exchanged information consists of SoC, destination and current position. We also consider that GSO has a global view on the status of occupancy of charging stations (CSs) along the road network. CS can exchange information with the GSO through wireless (mesh networks, LTE, etc.) or wired network technologies. The GSO is able to communicate with the traffic authority (TA), through wireless or wired network technologies, in order to acquire information about traffic in a real-time.

The main role of GSO is to manage different constraints and limitations imposed by EVs and charging stations, and to deliver optimal charging options and economic path planning, in terms of energy consumption, for EVs. The constraints imposed by EVs are generally related to i) their remaining SoC allowing them to attain a maximum distance without recharging their battery; and ii) the EVs destination, which poses a particular constraint about the trajectory to be travelled. Indeed, the suggested charging stations should be as near as possible to the shortest path trajectory. For public charging stations, the limitations

are related mainly to their number, geographical distribution, and their capacity of charge (i.e., number of charging points or electric vehicle supply equipment, EVSE, at each station).

The GSO aims at computing the optimal paths for EVs, which minimize their waiting time for charging, and the total energy consumption from source to destination.

The GSO informs EVs about their optimal itineraries, together with the CS where they need to stop for charging. When an EV chooses an itinerary and confirms its choice to the GSO, the latter performs the appropriate reservations of charging time slots at the corresponding CS. Exchanges between the GSO and EVs are secured with the integration of SSA, to ensure the confidentiality of communications and privacy of EVs. The proposed architecture is illustrated in Fig. 4.1, which shows the several components involved and their interaction. The GSO collects information (denoted with symbol “i” in Fig.4.1) about the road network, EVs, CS and traffic. It proposes itinerary plans for EVs and performs the corresponding reservations at CS. SSA architecture integrates authentication and authorization mechanisms to allow EVs to reserve charging time-slots along their itineraries. The SSA architecture, its security modules and mechanisms are detailed in Section 4.5.

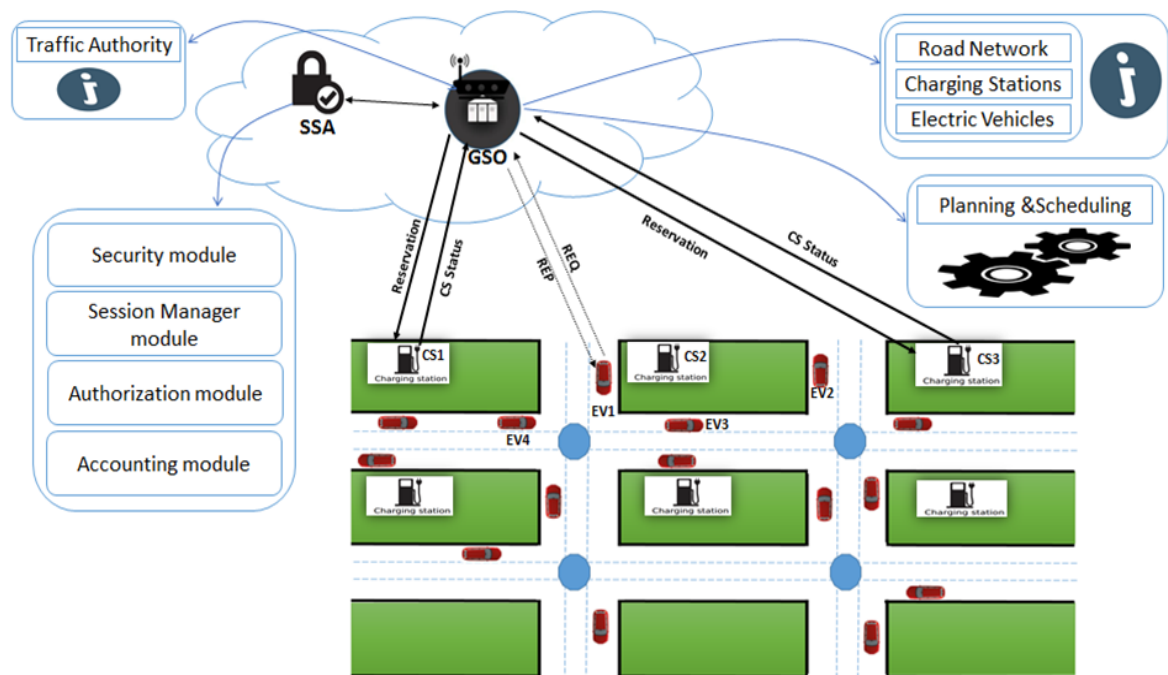


Figure 4.1 Itinerary Planning Architecture

Fig.4.2 illustrates the messages exchanged between EVs and GSO. A four-step process is implemented in the proposed model: 1) Connection and Authentication, 2) Request and option selection, 3) Booking confirmation, and 4) Completion of payment. These steps are described as follows:

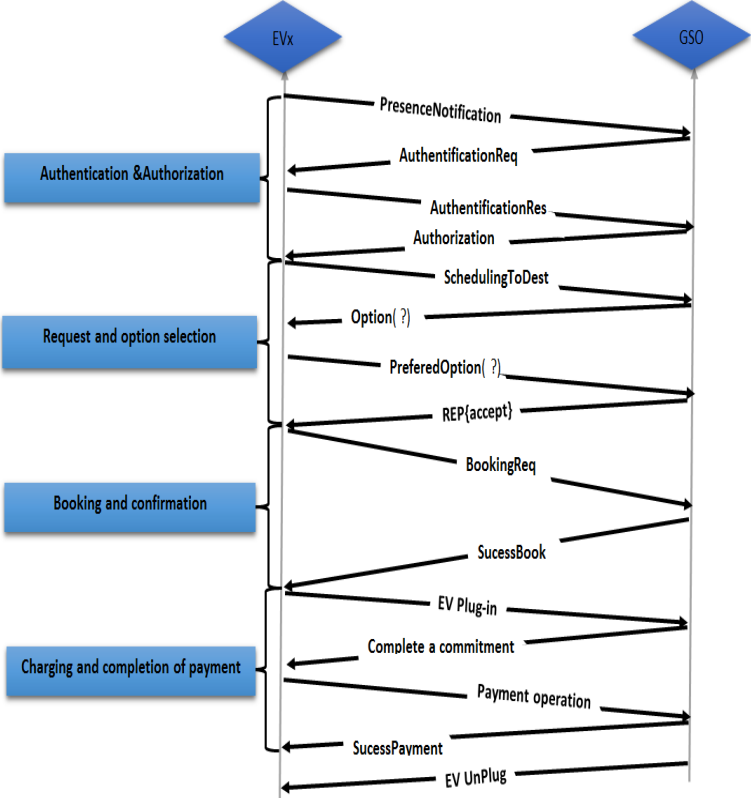


Figure 4.2 Sequence diagram of the booking process

1. Authentication and Authorization:

The main purpose of this step is to both identify the user and verify that it is authorized to use the GSO’s itinerary planning and charging slots reservation service.

2. Request and option selection:

At this step, EV sends a request (SchedulingToDest) to GSO. This request comprises information about the EV SoC, current location and final destination. Once the requests sent by EVs are processed by GSO the later responds by delivering to EVs their corresponding optimal itinerary options (represented in Fig.4.2 by (Option {?})).

Note that an optimal itinerary option comprises information both about the road itinerary, the different charging stations where the EV needs to stop for charging on that itinerary,

the waiting time at each of these charging stations, the total estimated duration of the charging operation, and the cost of energy consumption to reach destination through the itinerary. The EV chooses an itinerary option, by sending a corresponding message to GSO (PreferredOption {?} in Fig.4.2). Next, the EV receives the acceptance notification from GSO (represented in Fig.4.2 by (REP {accept})).

3. Booking and confirmation:

In this step, the EV makes a final booking request (BookingREQ in Fig.4.2). After a successful booking of the corresponding charging time slots at the charging stations, GSO sends back an approval to EV (successful booking in Fig.4.2).

4. Charging and Completion of payment:

After a successful booking, the EV can move to the first charging station and proceed with the charging operation. Three possibilities may occur:

EV will reach the charging station on the scheduled time. The EV proceeds to charging. EV The payment is completed before the user unplugs the charger. A message (successpayment) of successful payment is sent to EV.

EV will not reach the charging station on the desired time; EV will cancel its booking. A penalty fee may be applied if the user does not cancel the booking at a specified time before the starting schedule of the charging operation.

EV will not reach the charging station on time and wants to reschedule a new charging operation based on its current status (remaining SoC, current location, new destination). Therefore, GSO starts a new search for available charging options.

We note that the EV should remain connected to GSO during the booking process. In case of emergency (e.g., power failure at the charging station, EVSE maintenance service, etc.), which may cause a delay at charging stations, GSO will deliver a notification message to EV informing the user of any changes in the initial itinerary and charging plan, and by presenting new options of charging according to current EV status and trajectory.

4.5.Security service architecture

In this section, we propose an architecture to secure data exchange between EVs and GSO. We assume that EVs can exchange messages directly with GSO. These messages contain

information on EV users, such SoC, destination, and current position. Thus, malicious attackers can use these data to perform unlawful actions such as tracking vehicles, disturbing the planning process for EVs, or steal payment information. To protect the wireless interactions of EVs with GSO we use SSA, a secure service architecture which takes charge of securing communications between EVs and GSO. SSA also allows preserving the privacy of EVs. Here the term “service” refers to the itinerary planning and charging slot booking at CS.

We define a Service Domain as a logical zone that is mapped to a geographical area where the itinerary planning and charging slot booking service is offered by GSO. Fig.4.3 shows the elements that fall within the SSA control and that are in charge of processing and validating incoming requests for service from potential users in a Service Domain. In the following, we describe the SSA architecture and its components.

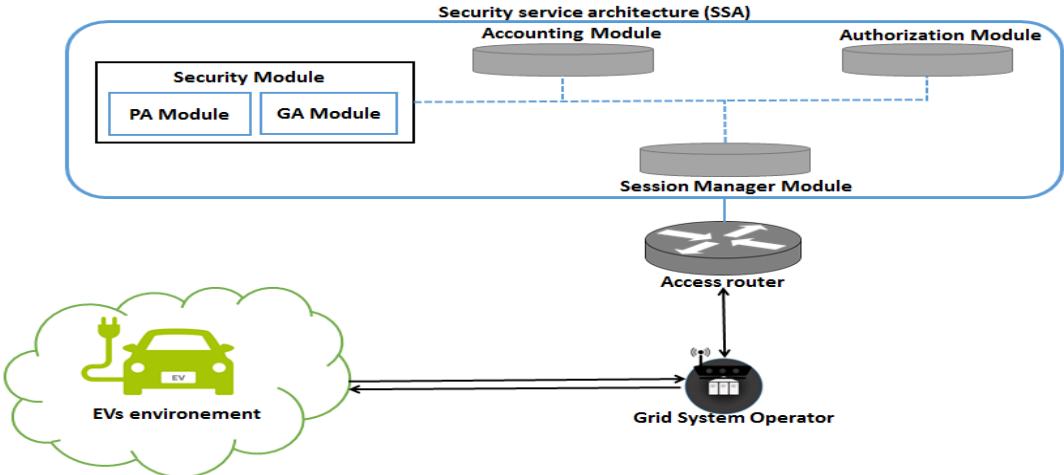


Figure 4.3 Security Service Architecture

Security module (SM): This module is composed of two sub- modules: Governmental Authorities (GA) and Private Authorities (PA). The GA module is part of an official authority, such as a governmental entity or a car manufacturer.

We suppose that an official authority applies strict control and registration procedures for all EVs to be participating in wireless exchanges with GSO. The official authority is considered to be responsible of assigning cryptographic material to EVs. This material is to be preloaded in a tamperproof device within EVs to be able, if necessary, to know its real identity. A certified key pairs (public keys and private keys) provided by the official authority allows to secure EVs communications. Authentication is possible by verifying

the validity (non-revocation) of the public key certificates transmitted by EVs against certificate revocation lists. The public certificates of EVs include their digital signature, thus allowing their verification. It is worth noting that the security credentials given by the GA can be the same as those intended for securing vehicle-vehicle and vehicle-infrastructure communications [42]. The PA module is in charge of securing service sessions between EVs and GSO. Once the verification of EV public certificate at the GA level is successful, the PA is able to generate the corresponding shared session keys between the EV and GSO. Additionally, the PA can create temporary identifiers or pseudonyms for the distribution of session parameters is secured by encrypting the information with EV's public key and GSO public key.

The PA assigns new session keys to an EV each time the EV starts a new session for accessing the service of itinerary planning and charging slot booking. These session keys are temporary for a single session.

Session manager module (SMM): This module is in charge of recovering information from GSO and sending it to the security module. The session manager module creates a session ID aggregating all EV session parameters before dispatching the information to the GSO.

Accounting module (ACM): In this module EV session parameters are recorded for accounting purposes. The accounting module may follow specific policies for maintaining and updating records of sessions. We assume that there must be a pre-established relationship between the user and the GSO for accounting purposes.

Authorization module (ATM): This module grants access to the service of itinerary planning and charging slot booking at CS. Authorization is granted after validation from the previous modules.

Fig. 4.4 illustrates the exchanges between EV, GSO and the SSA modules for security attributes verification, generation and dispatching.

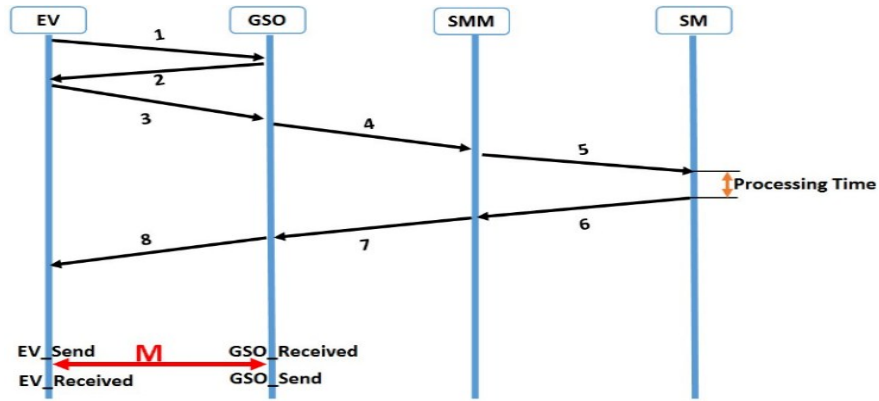


Figure 4.4 Security attributes verification, generation and dispatching

First, EVs send an initial request to GSO notifying them about their presence (arrow 1). In the second stage (arrow 2 and 3), GSO asks EV about its security attribute (public key certificate). Then, GSO collects this information and sends it to the session manager (arrow 4) where a session ID is generated (arrow 5). The security module receives the processed data from the session manager where the key certificate of EVs and GSO need to be verified. Next, the SM generates session keys and pseudonyms for EVs and GSO. The data exchanges between EV and SM on the one hand, and GSO and SM on the other hand, are encrypted by their shared private key K_{EV-SEC} , and K_{GSO-SM} respectively (arrows 6, 7, 8). It is worth noting that the exchanges in arrows 1-8 correspond to the authentication and authorization part of Fig.4.4.

Finally, GSO and EV will have the same Session Key (K_{SS}) so that all the messages can be encrypted and decrypted using K_{SS} (arrow M illustrated in Fig. 4.4). Table 4.1 give the detailed content of messages exchanged and the security attributes used. Table 4.2 summarizes the notations.

Tableau 4.1 Security attributes use

Communication	Exchange of data
EV $\xrightarrow{3}$ SO	$Cert_{EV}, Seq_{EV}$
GSO $\xrightarrow{4}$ AM	$Cert_{EV}, Seq_{EV}, Cert_{GSO}, Seq_{GSO}$
SMM $\xrightarrow{5}$ M	$Cert_{EV}, Seq_{EV}, Cert_{GSO}, Seq_{GSO}, SS_{id}$
SM $\xrightarrow{6}$ \overline{M} $\xrightarrow{7}$ \overline{SO}	$Enc\{ID_{EV}^P, SS_{id}, K_{ss}, T, Seq_{EV}\}_{K_{EV-SM}}$
SM $\xrightarrow{6}$ \overline{M} $\xrightarrow{7}$ \overline{SO}	$Enc\{ID_{GSO}^P, SS_{id}, K_{ss}, T, Seq_{GSO}\}_{K_{GSO-SM}}$
GSO $\xrightarrow{8}$ V	$Enc\{ID_{EV}^P, SS_{id}, K_{ss}, T, Seq_{EV}\}_{K_{EV-SM}}, Cert_{GSO}$
EV	Decryption of message with K_{ss}
GSO	Decryption of message with K_{ss}

Tableau 4.2 Symbols

Symbol	Definition
ID_{GSO}^P	GSO pseudonym
ID_{EV}^P	EV pseudonym
k_{ss}	Session key
$Cert_{GSO}$	GSO certificate
$Cert_{EV}$	EV certificate
Seq_{EV}	EV sequence number
Seq_{GSO}	GSO sequence number
SS_{id}	Session ID
K_{EV-SM}	Shared key EV-SM
K_{GSO-SM}	Shared key EV-SM
T	Timestamp
A_C	Vehicle front area
C_D	Aerodynamic drag coefficient
ρ_a	Air density
M	Vehicle mass
g	Gravity acceleration
a	Acceleration
V	limit Velocity
K_{roll}	Rolling coefficient
$List^{Slot}$	List of occupied slots within CSs
$NEVSE$	Number of EVSE at CS
N_C	Total number of EVs under charging
W_Q	Total time of EVs in the queue
W_C	EVSE that has a minimum charging time
$R_{Charging}$	Charging power at charging station
N_q	Total number of EVs in physical queue

It is worth noting that the proposed architecture guarantees security and privacy for the itinerary planning and charging reservation service without generating excessive wireless communication overhead between the EV and the GSO. For the generation of digital signatures, one can consider, for example, the packet size of the RSA cryptographic scheme with a fixed length of 128 bytes [42]. Temporary user pseudonyms of 32 bits can also be considered with using SHA-1 operations. Indeed, the introduction of these security attributes involves a packet overhead that will be reflected on spending additional processing resources with a subsequent increase in the overall end-to-end communication delay. Nevertheless, this extra overhead, securing EV-GSO communications requires some desired level of robustness of the system to face network threats, and to ensure the confidentiality of communications and privacy of EVs, which are effectively addressed by the SSA. In terms of additional messaging, as illustrated in Fig.4.4, the communication exchange between EV and GSO for security credentials verification, generation and dispatching involves only four wireless messages (arrows 1, 2, 3 and 8) whose content is explained in table. 4.1 This number of message is linear with the number of EVs.

4.6. Itinerary planning and Charging Slots reservation

4.6.1. System Description

Let us consider an EV which sends a request to GSO asking for itinerary planning so that it attains its destination. The plan should also comprise information regarding when to stop for charging at which charging stations along the itinerary. We consider that the EV is interested in the itineraries that are the most economical in terms of energy consumption while minimizing the waiting time at charging stations. Of course, energy consumption is highly correlated with the distance travelled, so often the most energy cost-effective itineraries will be the shortest. Minimizing the waiting time also means arriving to destination sooner should the considered itineraries be the same length.

GSO will then interact with the EV and neighbouring charging stations in order to determine the optimal itinerary based on the current status of EVs (i.e., SoC, current location and destination), the status of charging stations, the road network, and current traffic. The GSO manages different constraints and limitations imposed by EVs and charging stations, to deliver optimal charging options and economic paths for EVs. The constraints imposed by EVs regard the remaining battery charge (SoC) allowing the EV to attain a maximum distance (range) without recharging its battery; and the destination, which promotes choices of CS close to the shortest itinerary. The EV can also add constraints regarding the duration of charging.

For CSs, the constraints regard their number, geographical distribution, and capacity of charge (i.e., number of charging point EVSE). Consequently, the GSO needs to run multiple analysis in order to determine the optimal solutions for EVs.

Optimal solutions should minimize the waiting time of EVs, and energy consumption from the current location to destination.

Before detailing how optimal routes are computed by GSO let us define the different parameters used for such computation:

Layout of Road Network: we define $H(N, E)$ as a graph combining a set of nodes $N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_n\}$ where N_j is the intersection of edges, and $E = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, \dots, E_m\}$ where E_e denotes the edge e in the graph $H(N, E)$. Nodes can be the intersection of road segments or can be the locations of charging stations. The number of edges and nodes are

denoted, respectively, by $|E|$ and $|N|$. GSO determines the graph $H(N, E)$ that contains all roads in a Service Domain.

Charging station infrastructure: we denote by $CS = \{CS_1, CS_2, \dots, CS_k\}$ the location of charging stations. $|CS_k|$ represents the number of charging stations; each station contains a number of EVSEs characterized each by a some fixed power. It is worth noting that CS is a subset of N .

EVs: the positions of electric vehicles are represented by the set $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_x\}$. $|O_x|$ denotes the number of EVs; each EV has a unique final destination D .

4.6.2. Energy consumption

We model the EV charging process through graph theory and linear programming LP. The leftmost part of Fig.4.5 illustrates a graph with the direct path, where an EV can reach the destination without looking for a charging station during its trip. We use the principals of vehicles dynamics to compute the energy consumption of EVs. First, we calculate

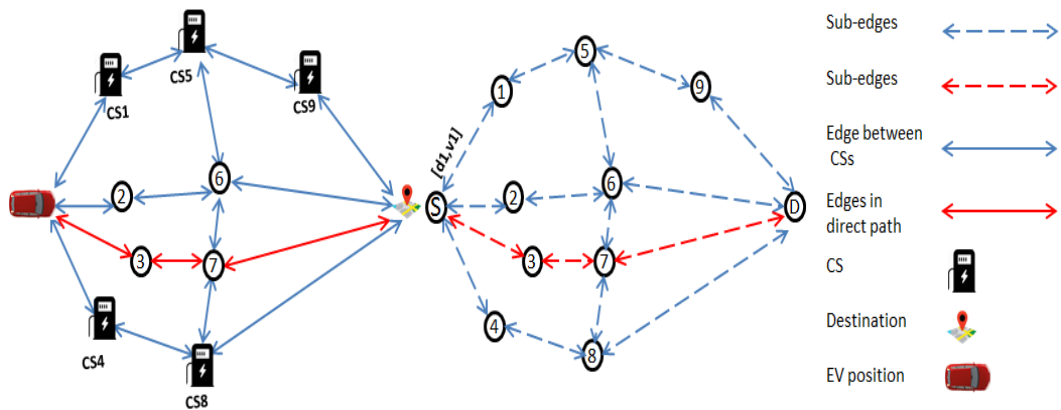


Figure 4.5 An illustrated map graph with limit velocity and distance weight of each sub-edge

The summation of forces, which is the traction force, needed by the electric vehicle to move at a given speed. equation 4.1

$$\sum F = F_{roll} + F_{grade} + F_{air} + F_{acc} \quad (4.1)$$

Where,

F_{roll} : is the rolling resistance force between pneumatic tires and the road equation 4.2

$$F_{roll} = K_{roll} \cdot M \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (4.2)$$

Where θ is the road grade, or slope.

F_{grade} : represents the force of the gravity (equation 4.3)

$$F_{grade} = M \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (4.3)$$

F_{air} : is the aerodynamics force of the EV against the air. It depends on the speed of the vehicle.

The speed is, however, not constant along an edge; indeed, an edge can be composed of several successive sub-edges, each having different speed limits. At each sub-edge we use the speed limit established by the traffic authority to calculate the energy consumption of EV. Therefore, each edge will be composed of several sub-edges. Let each sub-edge, be denoted by $[S_{ij}, V_{ij}]$ where S_{ij} is the distance and V_{ij} is the speed limit of the edge, and i and j are the points of the road delimiting the sub-edge. This is illustrated in the rightmost part of Fig.4.5. Then equation 4.4

$$F_{airij} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot A_C \cdot V_{ij}^2 \quad (4.4)$$

F_{accij} : represents the inertia of the vehicle (equation 4.5)

$$F_{accij} = M \cdot a_{ij} \quad (4.5)$$

From equation 4.1, the power needed to move EV at the speed limit is given by equation 4.6:

$$P_{ii} = v_{ii} \sum F \quad (4.6)$$

Let η_m be the efficiency of the electric engine motor. Then equation 4.7:

$$Cons_{ij} = S_{ij} * \sum F * \eta_m \quad (4.7)$$

Where $Cons_{ij}$ is the consumption of the sub-edge. Using the energy consumption of a sub-edge, we can compute the edge energy consumption (equation 4.8) by summing up the energy consumptions over all the edges

$$Cons_e = \sum_{i,j} Cons_{ij} \quad (4.8)$$

Where i, j are the points delimiting the successive sub-edges of edge E_e .

Finally, to calculate the energy consumption needed by an EV to travel from its initial position to final destination (equation 4.9), we can sum up the total power consumption of edge along a route as:

$$Cons_{route} = \sum_{e=1}^m \sum_{i,j} Cons_{ij} \quad (4.9)$$

We define as first objective, to minimize the energy consumption for each EV to reach its final destination without consideration to recharging operations during the trip. An integer-programming model is introduced to minimize the total energy cost of travelling from source to destination. We formulate the objective as follows:

Input:

B_c : is the battery capacity of EV

SoC_{des}^a : is the minimum SoC that is acceptable when arriving at destination. This is the minimum SoC that needs to remain at the EV, so that it can reach some CS in future, and not be trapped at destination.

$Cons_{ij}$: Energy consumption between i and j.

SoC_i : Initial state of charge of EV.

Variables :

X_{ij} : Binary variable takes value 1 or 0.

Objective:

$$Min \sum_{e=1}^m \sum_{i,j} Cons_{ij} \cdot X_{ij} \quad (4.10)$$

Subject to:

$$SoC_i \leq B_c \quad (4.11)$$

$$SoC_i - \frac{Cons_{route}}{B_c} \geq SoC_{des}^a \quad (4.12)$$

$$X_{ij} \begin{cases} 1, & \text{if there exists a path between node } i \text{ and node } j \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4.13)$$

In the case that the EV cannot reach its destination through a direct path (i.e without recharging), because the energy is not sufficient the GSO needs to returns to the EV a list of public charging stations where its needs to stop, along with specific information (e.g., the waiting time).

4.6.3. Algorithm

In this section, we consider the case where EV should pass by and recharge at one or several recharging stations during its trip in order to reach the destination. At this stage, the nodes which are not charging stations (not part of CS) are discarded from the graph, and the edges parting from each one of these nodes are joined. The resulting graph comprises only charging stations as nodes.

We propose a smart algorithm based on the modeling of CS, as comprising two kinds of queues as illustrated in Fig4.6: virtual queues which correspond to reservations of time slots made by the GSO at CS, and physical queues corresponding to real queues at a CS.

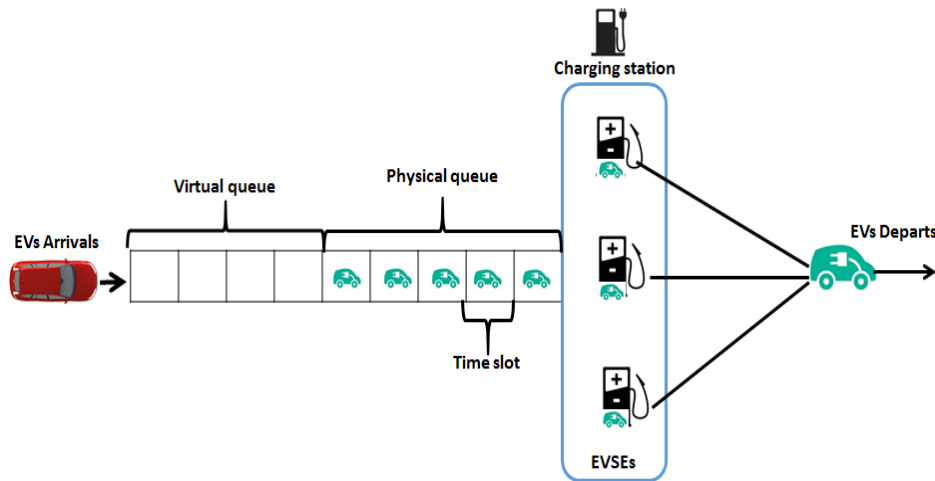


Figure 4.6 Schematic view of CS model

Algorithm 1, named SMART-EV-slots, illustrates the operations of both physical and virtual EV queuing at charging stations.

We analyze the complexity of our algorithm, as we know for analyzing the complexity we should analyze it in the worst case. We note n = Number of charging station, m =number of EVSEs, L_q =queue length in physical queue and N_s =number of slots in virtual queue. In this algorithm, nested loops between line 2-26 consume $O(n*m) + O(n*L_q) + O(n*N_s)$. Line 17 takes linear time $O(n)$ in the worst case. The rest of our algorithm (e.g., initialization, assignment, etc.) takes $O(1)$. Hence we can see that our complexity is in order $O(n*(m+L_q+N_s))$.

To verify the reachability of the next charging station, or destination by EV, starting from a charging station CS_i , we need to compare the state of charge of the EV after charging at CS_i , with the expected consumption to reach the next charging station. We have equation 4.14 and equation 4.15:

$$\text{SoC}_{\text{depart}}(\text{CS}_i) = \begin{cases} \text{EV}_c^{\text{after}}(\text{CS}_i) - \text{EV}_c^{\text{before}}(\text{CS}_i) \\ \frac{\text{slot}_{\text{time}}(\text{CS}_i) * R_{\text{recharge}}}{B_c} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\text{SoC}_{\text{Cons}}(e) = \frac{\text{Cons}_e}{\text{BatteryCapacity}} \quad (4.15)$$

SMART-EV-Slots

Input: EV_vector, CS_vector.
Output: List^{slot}/*List of CS slots occupied*/

1. Initialization $W_Q, W_C, \text{slot}_{\min}$;
2. For(each CS) do
3. if($N_c < N_{EVSE}$) then
4. $W_c \leftarrow 0$;
5. else
6. for(each EV in EVSEs) do
7. if($\frac{\text{EV}^{\text{target}} - \text{EV}^{\text{Current}}}{R_{\text{charging}}} \leq \text{slot}_{\min}$) then
8. $W_c \leftarrow \frac{\text{EV}^{\text{target}} - \text{EV}^{\text{Current}}}{R_{\text{charging}}}$;
9. endif
10. Endfor
11. endif
12. Endfor
13. endif
14. For(each EV in physical queue) do
15. $W_Q \leftarrow W_Q + \frac{\text{EV}^{\text{target}} - \text{EV}^{\text{Current}}}{R_{\text{charging}}}$;
16. Endfor
17. $W \leftarrow W_Q + W_C$; /*Waiting time at each CS*/
18. For(each slot in virtual queue) do
19. /*Check all slots occupied in virtual queue */
20. if(slot is booked) then
21. Add slot to the List^{slot}
22. Add $W(N_q)$ to the List^{slot}
23. endif
24. Endfor
25. Endfor
26. Endfor
27. Update List^{slot}

Where:

$\text{SoC}_{\text{Cons}}(e)$: is the energy consumption of the EV on edge E_e

$\text{EV}_c^{\text{after}}(\text{CS}_i)$:SoC of EV after charging at station CS_i

$\text{EV}_c^{\text{before}}(\text{CS}_i)$:SoC of EV before charging at station CS_i

Cons_e : energy Consumption of the edge(e)

E_e : is the edge between CS_i and the next charging station

$\text{slot}_{\text{time}}(\text{CS}_i)$: are the free charging slots at station CS_i

R_{recharge} : Charging power at the charging station. This value is supposed constant as we consider all stations to be of the same level.

The next charging station is reachable by EV is the following condition is satisfied equation 4.16:

$$SOC_{depart}(i) \geq SOC_{Cons}(i) \quad (4.16)$$

We verify that the sum of energy demand $E_d^t(CS_i)$ at station CS_i is smaller than the charging station capacity W_{CS_i} as follows equation 4.17:

$$E_d^t(CS_i) \leq W_{CS_i} \quad (4.17)$$

All nodes where that inequality is not true are discarded. Next, we build a new graph and using Yen's k-Shortest Path algorithm [39]. We calculate the K-shortest path in terms of energy consumption; for each shortest path, we calculate the waiting time and add it to the K-shortest path in terms of consumption. The value of K is defined by EV.

For each path, the optimal waiting time is computed as follows:

The booking algorithm selects the suitable slots of charging stations based on the minimization of T_w detailed below:

Input:

Offset_{slot_{ij}} : is the recharging start time in station j of the EV arriving from station i .

ETA_{ij} : denotes the arrival time at station j of the EV arriving from station i .

Cons_{ij} : is the estimated consumption between stations i and j .

SoC_{depart_{ij}} : is the state of charge of the EV after charging in j arriving from station i .

B_c : Battery capacity of EV

SoC_i : Initial state of charge of EV.

Variables:

X_{ij} : Binary variable takes value 1 or 0.

Objective:

$$Min \left\{ T_w = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left(Offset_{slot_{ij}} - ETA_{ij} \right) * X_{ij} \right\} \quad (4.18)$$

Subject to:

$$SoC_{des}^a \leq \left\{ SOC_{destination} = \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n SoC_{depart_{ij}} - \frac{Cons_{ij}}{B_c} \right) * X_{ij} \right\} \quad (4.19)$$

$$\left\{ SOC_{destination} = \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n SoC_{depart_{ij}} - \frac{Cons_{ij}}{B_c} \right) * X_{ij} \right\} \leq \varepsilon + SoC_{des}^a \quad (4.20)$$

$$SoC_i \leq B_c \quad (4.21)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{If the vehicle leaves station } i \text{ to station } j \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4.22)$$

The input parameters are illustrated in Fig.4.7. Using the driving time for each sub-edge delimited by points m and n, we can calculate the estimated time of arrival ETA_{mn} .

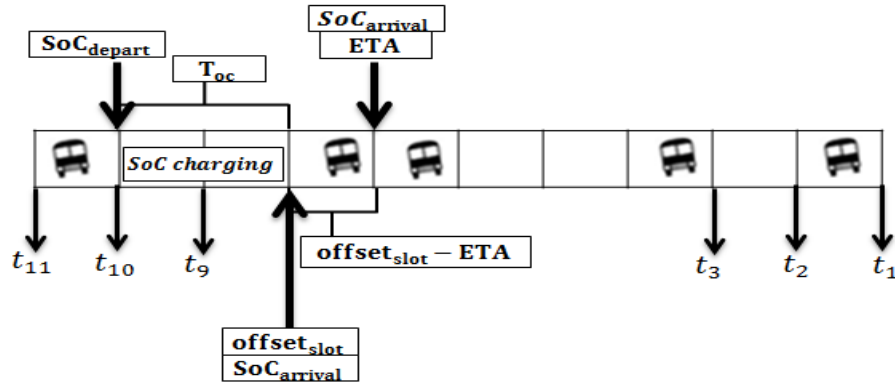


Figure 4.7 Illustration of the parameters used for waiting time minimization

The driving time is given as follows equation 4.23:

$$T_{mn} = \frac{D_{mn}}{V_{ij}(1-Tr_{mn})} \quad (4.23)$$

The traffic density factor of each sub-edge is defined by Tr_{mn} which equation 4.24 is varied from 0 (no traffic) to 1 (blocking of the sub-edge), therefore Tr_{mn} has a major effect on travel speed.

$$Tr_{mn} = \frac{K_d^{mn}}{k_{jam}^{mn}} \quad (4.24)$$

Where K_d^{mn} is the vehicle density (expressed by vehicles/km) on the sub-edge delimited by I and j between the current EV position and next destination.

k_{jam}^{mn} represents the traffic density on the sub-edge.

The travel time T_{ij}^{Travel} of each edge delimited by i and j is calculated from the current position of EV to charging station. This is computed by summing up the driving time of each sub-edge as shown in the equation 4.25:

$$T_{ij}^{\text{Travel}} = \sum T_{mn} \quad (4.25)$$

Using the travel time, we can estimate the arrival time at each station equation 4.26 by summing up the current time of departure and travel time on the edge:

$$ETA_{ij} = T_j^{\text{arrival}} = T_i^{\text{current}} + T_{ij}^{\text{Travel}} \quad (4.26)$$

Where T_j^{arrival} is the time for an EV to arrive to station j to recharge its battery, from station i , where it is at time T_i^{current} .

An EV can choose the best charging stations in terms of consumption energy and waiting time based on equation 4.27.

$$Z = \alpha C + (1 - \alpha)W \quad (4.27)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4.28)$$

Where:

C : is the energy consumed by the EV to reach the destination

W : denotes the sum of waiting times of all charging stations to reach the destination by the EV.

α : represents the weight given to energy consumption and waiting time. During the trip, when the EV choses a big value of α , this means that the EV prefers to select the path with less energy consumption, and conversely.

We define specific cases of α as follows:

Case1: the EV prefers to book charging slots based on the shortest path, in terms of energy consumption, to reach the destination; $\alpha = 1$.

Case2: the EV prefers to book charging slots based equally on minimizing energy consumption and minimizing waiting time; $\alpha = 0.5$.

Case3: the EV prefers to book charging slots based the shortest path, in terms of minimum waiting time; $\alpha = 0$.

4.7. Simulation results

In this section, we present the simulation results of our itinerary planning and charge slot reservation scheme. EV sends its charging request to GSO, in order to obtain the optimal charging scheduling.

To simplify the simulation of our itinerary planning strategy, we assume a speed limit at each edge is constant as shown in Fig.4.8. We consider a geographical area where the

charging stations are randomly deployed. The locations of EVs and destinations are randomly chosen.

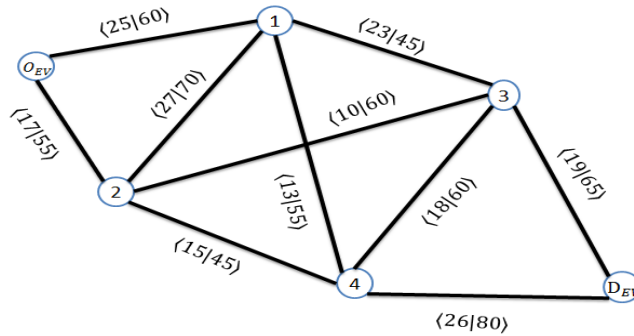


Figure 4.8 Simulated graph

The parameters of the simulation illustrated in Table 4.3, where taken from the EV prototypes which were built by Université de Sherbrooke on the basis of eVUE vehicles [40]. These values allow to estimate the energy consumption of the EV based on the equation 4.9. Firstly, we assume that the simulated scenario verifies the reachability and energy demand conditions in equation 4.16 and equation 4.17. Then, we use MATLAB for calculating the K-shortest path [39] with $K=3$. The simulation of the proposed itinerary scenario shown in Fig. 4.8 gives three best routes, from the current location of EV to destination (chosen randomly), in terms of energy consumption. The three best routes are:

Tableau 4.3 Vehicle specifications used in the model

Symbol	Value	Unit
A_C	2.4	m^2
C_D	0.35	—
ρ_a	1.223	kg. m
M	1000	kg
g	9.81	m/s^2
K_{roll}	0.02	—

Route1: O-2-3-D.

Route2: O-2-4-D.

Route 3: O-1-4-D.

Depending on the SoC of the EV, it may require to be recharged to reach the destination. The waiting time in the whole trip should be minimized as illustrated in equation 4.18. The problem is linear and can be solved using IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. To

solve the linear problem, we present an example for finding the best route in terms of waiting time for EV from its current location to the final destination.

As parameters values used in our scenario, we consider that the initial EV SoC is a uniform distribution between 45% and 90%, the EV SoC is a sufficient value to arrive to the first charging station, the waiting time in each station is a uniform distribution between 7 min and 90 min, the percentage of energy consumption is a uniform distribution between 45% and 90% and $SoC_{destination}^{alarm} = 30\%$.

Using the data in Table 4.4 as a dataset, the IBM ILOG CPLEX Optimization Studio finds out the optimal solution, where:

$$Waitingtime_{Route3} < Waitingtime_{Route2} < Waitingtime_{Route1}$$

Tableau 4.4 Dataset for the simulation

Node i	Node j	Predecessor	$Cons_{ij} / Battery_{capacity}$ [%]	Waiting time [min]	Soc_{depart} [%]
O_{EV}	2	-	45	-	70
2	D	0	90	17	80
2	3	0	40	17	75
3	D_{EV}	0-2	50	15	90
		0	50	12	70
O_{EV}	2	-	45	-	75
2	D	0	90	10	90
2	4	0	50	10	80
4	D_{EV}	0-2	55	7	75
		0	55	20	85
O_{EV}	1	-	65	-	70
1	D	0	80	10	91
1	4	0	40	10	70
4	D_{EV}	0-1	55	20	75
		0	55	14.5	60

The optimal solution includes the following paths:

Route1 includes one charging station (CS3).

Route2 includes two charging stations (CS2, CS4).

Route3 includes one charging station (CS4).

After having computed the minimum waiting time of each path. The GSO then advertises the optimal choice options to EVs. The service includes optimal paths to reach destination in terms of energy consumption along with the waiting time for each path. The EV can make its choice and notify the GSO with the chosen option. For example, if the EV (driver) wants just to minimize energy consumption and has no concern for the waiting time, the

GSO will use the best solution in terms of energy consumption when making reservations at charging stations.

Indeed, depending on the choice made by the EV, a set of time slots are reserved in the corresponding charging stations.

4.8. Conclusion and future work

In this paper, we presented a secure architecture of EVs charging planning. This architecture is meant to facilitate the service of charging operations, by minimizing the waiting time of charging and/or power consumption of EVs during the journey. Simulation proved that our model is able to provide optimal paths in terms of energy consumption and waiting time. To ensure secure bidirectional communications between GSO and EVs, we further introduced a Security Service Architecture (SSA), which deals with the authentication and authorization of EVs.

In our future work, we will take into account the reservation payment operations which involve guaranteeing a transaction transcription (i.e. payment commitment), and minimization of charging cost. In addition, we will consider various charging levels in the charging stations.

CHAPITRE 5

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.1. Conclusion

Durant les deux dernières années, le secteur automobile a fortement évolué et surtout au niveau des véhicules électriques. Désormais, les gouvernements tendent vers l'exploitation des énergies renouvelables et toute source d'énergie amie à l'environnement, certes, on n'est plus dans l'époque de l'énergie pétrolière. Vu les changements climatiques, la société mondiale organise des conférences chaque année pour contrer le réchauffement climatique et l'effet de serre. Dans ce contexte, les véhicules électriques intelligents deviennent de plus en plus importants et les clients sont de plus en plus exigeants puisqu'ils réclament le choix, la qualité et la sécurité de vie. Le sujet rassemble l'aspect lucratif (énergie et économie) et non lucratif (environnement et homme) dans un même volet.

Comme le nombre des stations de recharge est limité, la gestion de passage des véhicules pour charger leurs batteries reste un défi pour les gouvernements et les chercheurs. L'objectif étant de trouver une piste pour que tous les clients puissent être satisfaits d'un service avec un temps d'attente raisonnable et avoir des chemins vers la destination voulue avec la moindre consommation d'énergie. C'est à la lumière de cette philosophie, que notre projet s'articule sur les piliers principaux de la planification et la sécurisation des échanges entre les VEs et la grille pour éviter toute sorte d'agression ou de déstabilisation.

Trois questions de recherche ont été formulées. L'idée philosophique de deux premières questions est de réduire le temps d'attente et la consommation d'énergie dans une zone géographique entre le point d'origine et le point de destination. D'une autre part, on planifie le passage des véhicules pour charger leurs batteries dans une zone où il y a un nombre fixe de stations de recharge. La troisième question de recherche vise à sécuriser les informations de VE par la proposition d'une architecture de sécurité pour protéger les données des usagers. Pour valider ces idées, on a simulé notre architecture proposée qui a été capable de réduire le temps d'attente et la consommation d'énergie.

Ce travail présente un pas de recherche visant à faciliter l'intégration des VEs dans la grille intelligente. Le but est de contribuer à l'amélioration du secteur de transport intelligent

dans le but de construire des villes intelligentes écologiques qui dépassent les limitations du système de transport classique à l'avenir.

5.2. Perspectives

Comme perspective, on a envisagé d'appliquer l'approche proposée dans un scénario d'étude qui vise à minimiser le temps de trajet et le temps d'attente. Dans ce sens, on pense minimiser le temps de voyage en passant par plusieurs stations de recharge. De plus, on pense considérer tous les niveaux de charge disponibles dans les stations de recharge, au lieu de supposer qu'on a un seul niveau de recharge.

En outre, un travail futur pourrait prendre en compte les opérations de paiement des réservations qui impliquent la garantie d'une transcription de transaction (par exemple, l'engagement par paiement) et la réduction des coûts de facturation de rechargement.

Un travail futur pourrait se focaliser également sur la partie de décharge des véhicules électriques afin de stabiliser la grille. En effet, il serait possible de proposer une autre architecture pour les VEs qui sont intéressés par le déchargement et le chargement des SoCs, et dans ce cas, il pourrait y avoir deux types des files d'attente dans les stations de recharge.

LISTE DES REFERENCES

- [1] Leseconoclastes (06 2016). Leseconoclastes. <http://leseconoclastes.fr/2016/07/petrole-voiture-electrique- signe-t-fin-petrole/> (page consultée le 4 Septembre 2016).
- [2] John Lowry James Larminie, Electric Vehicle Technology Explained: John Wiley & SonsLtd, 2003.
- [3] Quechoisir. <https://www.quechoisir.org/guide-d-achat-hybride-et-electrique-n8571/> (page consultée le 10 Septembre 2016).
- [4] Vehiculeselectriques(2017). Vehiculeselectriques.<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/particuliers/vehicules-electriques.asp> (page consultée le 10 février 2017).
- [5] lesnumeriques(01 2015). Lesnumeriques. <http://www.lesnumeriques.com/voiture/voiture-a-pile-a-combustible-toyota-dans-starting-block-a1953.html> (page consultée le 10 mars 2016).
- [6] C. C. CHAN, FELLOW, IEEE, "The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles" PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 90, NO. 2, FEBRUARY 2002.
- [7] Ufe-electricite(2014).Ufe-electricite(disponible en PDF) ufelectricite.fr/IMG/pdf/2_vehicule_electrique.pdf (page consultée le 10 mars 2017).
- [8] AssociationAVEM(2010). AssociationAVEM.<http://www.avem.fr/index.php?page=ve&cat=inconvenients> (page consultée le Janvier 2017).
- [9] Andrew F. Burke, "Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 806-820, Apr. 2007.
- [10] Pro.largus (06 2016). Pro.largus. <http://pro.largus.fr/actualites/les-vehicules-electriques- plus-couteux-a-lusage-que-les-thermiques-7917385.html>(page consultée le Janvier 2017).
- [11] [comptepargneco2.https://www.comptepargneco2.com/mobilite-durable/voiture-electrique/autonomie-temps-de-charge/](https://www.comptepargneco2.com/mobilite-durable/voiture-electrique/autonomie-temps-de-charge/) (page consultée le Mars 2017).
- [12] « Guide technique d'installation des bornes de recharge pour les véhicules électriques » Hydro Québec, 2e édition, Aout 2015 (disponible en PDF)
- [13] latribune(09 2015). Latribune. <http://www.latribune.fr/entreprises-finance/la-tribune-de-l-energie-avec-erdf/10-choses-a-savoir-sur-les-vehicules-electriques-479302.html>.(page consultée le Janvier 2017).
- [14] [smartgrids-cre.http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-recharge](http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-recharge).(page consultée le Janvier 2016).
- [15] Caisheng Wang, Le Yi Wang, Kai Strunz Kwo Young, "Electric Vehicle BatteryTechnologies," in Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks,

- PowerElectronics and Power Systems.: Springer Science Business Media New York, 2013, p.16.
- [16] AssociationAVEM(2010).*AssociationAVEM*.<http://www.avem.fr/index.php?page=batterie&cat=technos&kind=li-ion>.(page consultée le mars 2017).
- [17] lepoint(12 2014). Lepoint. http://www.lepoint.fr/automobile/innovations/tesla-ouvre-sa-premiere-station-d-echange-de-batterie-31-12-2014-1893203_652.php.(page consultée le novembre 2016).
- [18]huffingtonpos(102016) huffingtonpos. http://www.huffingtonpost.fr/2015/08/18/voitures-electriques-royaume-uni_n_8002544.html. (page consultée le decembre2016).
- [19] SmartGrids.EU, “European Technology Platform for the Electricity Networks of the Future (ETP SmartGrids),” <http://www.smartgrids.eu/>.(page consultée le 10 Janvier 2016).
- [20] NIST,“National Institute of Standards and Technology (NIST),” <http://www.nist.gov/>.(page consultée le 10 Janvier 2016).
- [21] Miller, J., & Renz, B. (2010). Understanding the Benefits of the Smart Grid. US National Energy Technology Laboratory.
- [22] AssociationAVEM(2010).*AssociationAVEM*.<http://www.avem.fr/index.php?page=batterie&cat=technos&kind=li-ion>.(page consultée le decembre2016).
- [23] vanadiumcorp (2016). vanadiumcorp. <http://www.vanadiumcorp.com/news/grid-storage-forecast/333-smart-grid-combination-of-vanadium-redox-flow-and-lithium-ion-battery/>(page consultée le Février 2017).
- [24]Smartgrids-cre.<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-v2g>. (Page consultée le Mars 2016).
- [25] Adrene Briones, James Francfort, Paul Heitmann, Michael Schey, Steven Schey, John Smart, “Vehicle-to-grid (V2G) power flow regulations and building codes review by the AVTA”, The INL is a U.S. Department of Energy National Laboratory operated by Battelle Energy Alliance, September 2012. [Online] Available at: <http://avt.inel.gov/pdf/evse/V2GPowerFlowRpt.pdf>
- [26] S. Dhaou, S. Cherkaoui and L. Khoukhi, “Queuing model for EVs charging at public supply stations,” In 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2013, pp. 65-70.
- [27] S.Dhaou, S.Cherkaoui, and L.Khoukhi, “Guidance model for EV charging service,” In International Conference on Communications (ICC), 2015, pp. 5765-5770.
- [28] R.Abousleiman and O.Rawashdeh, “A Bellman-Ford approach to energy efficient routing of electric vehicles,” In: Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2015,pp. 1-4.

- [29] R.Abousleiman and O.Rawashdeh, “Tabu search based solution to the electric vehicle energy efficient routing problem,” In : Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2014, pp. 1-6.
- [30] M.Faraj and O.Basir, “Optimal energy/time routing in battery-powered vehicles,” In: Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2016, pp. 1-6.
- [31] J.Rezgui,S.Cherkaoui and S.Dhaou, “A two-way communication scheme for vehicles charging control in the smart grid,” In 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC),2012, pp.883-888.
- [32] Adler, D.Jonathan D, Mirchandani, B.Pitu, Xue, Guoliang, and M.Xia. “The electric vehicle shortest-walk problem with battery exchanges,” Networks and Spatial Economics, vol. 16, no 1 ,2016, pp. 155-173.
- [33] A.Ruzmetov, A.Nait-sidi-moh, M.Bakhouya,and J.Gaber, “Towards an optimal assignment and scheduling for charging electric vehicles,” In : Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2013. pp. 537-541.
- [34] H.G.Chale-gongora, O.D.Weck, A.Doufene, T.Ishimatsu and D.Krob, “Planning an itinerary for an electric vehicle,” In: Energy Conference (ENERGYCON), , 2014. pp. 1385-1391.
- [35] S.Mehar, S.M.Senouci, and G.Remy, “EV-planning: Electric vehicle itinerary planning,” In: Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT), 2013. p. 1-5.
- [36] H.Akbari and X.Fernando, “Modeling and optimization of PHEV charging queues,” In: Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2015. pp. 81-86.
- [37] EV World. (2014,Jul.) “There Are Now Half-A-Million Electric Cars OnthePlanet,”[Online].Available:<http://www.evworld.com/news.cfm?newsid=33579>.
- [38] C.Caruso.(2016,Aug.),“Why Range Anxiety for Electric Cars Is Overblown,”MITtechnologyreview[Online].Available:www.technologyreview.com.
- [39] J.Y.Yen, “Finding the k shortest loopless paths in a network.Management Science,”, vol. 17, no 11, 1971, pp. 712-716.
- [40] ATEUS [Online]. Available: <http://mecano.gme.usherbrooke.ca/~vue/> (visited on 1/10/2016).
- [41] Whitepaper, “How the Smart Grid Enables Utilities to Integrate ElectricVehicles,” [Online]. Available: <http://www.silverspringnet.com/wp-content/uploads/SilverSpring-Whitepaper-ElectricVehicles.pdf> .
- [42] E.S.Coronado and S.Cherkaoui “Performance analysis of secure on demand services for wireless vehicular networks,” Security and Communication Networks, 3(23), 2010, pp.114-129.
- [43] U.S. NIST, Guidelines for smart grid cyber security (vol. 1 to 3), NISTIR-7628, Aug. 2010.

- [44] P. Chen, S. Cheng, "Smart attacks in smart grid communication networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 24 – 29, August 2012.
- [45] Jing Liu, Yang Xiao, Shuhui Li, Wei Liang, and C. L. Philip Chen. Cyber security and privacy issues in smart grids. *Communications Surveys Tutorials*, IEEE, 14(4):981–997, Fourth 2012.
- [46] Zhong Fan, P. Kulkarni, S. Gormus, C. Efthymiou, G. Kalogridis, M. Sooriyabandara, Z. Zhu, S. Lambotharan, and W. H. Chin. Smartgrid communications: Overview of research challenges, solutions, and standardization activities. *Communications Surveys Tutorials*, IEEE, 15(1):21–38, First 2013.
- [47] Xi Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, and Dejun Yang. Smart grid the new and improved power grid: A survey. *Communications Surveys Tutorials*, IEEE, 14(4):944–980, Fourth 2012.
- [48] Yilin Mo et al., Cyberphysical security of a smart grid infrastructure. *Proc. IEEE*, 100(1):195–209, Jan. 2012.
- [49] SAXENA, Neetesh et CHOI, Bong Jun. State of the art authentication, access control, and secure integration in smart grid. *Energies*, 2015, vol. 8, no 10, p. 11883-11915.
- [50] M. Mustafa, N. Zhang and Z. Fan, "Smart electric vehicle charging: Security analysis, in *Proc. IEEE PES ISGT*, February 2013, pp. 1 –6.
- [51] R. Falk, S. Fries Securely connecting electric vehicles to the smart grid *Int. J. Adv. Internet Technol.*, 6 (2013), pp. 57–67.
- [52] M. Stegelmann and D. Kesdogan, "Location privacy for vehicle-to-grid interaction through battery management," in *Ninth International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*. IEEE, 2012, pp. 373–378.
- [53] Zhang, Y., Gjessing, S., Liu, H., Ning, H., Yang, L., & Guizani, M. "Securing vehicle-to-grid communications in the smart grid," *IEEE Wireless Communications*, 2013.20(6), 66-73.
- [54] H. Nicanfar, P. TalebiFard, S. Hosseininezhad, V.C.M. Leung, and M. Damm. Security and privacy of electric vehicles in the smart grid context: Problem and solution. In *Symposium on Design and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, NY, USA, 2013. ACM.
- [55] H. Nicanfar, S. Hosseininezhad, P. TalebiFard, and V. Leung, "Robust privacy-preserving authentication scheme for communication between electric vehicle as power energy storage and power stations," in *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHP)*, 2013 IEEE Conference on. IEEE, 2013, pp. 55–60.
- [56] Liu H, Ning H, Zhang Y, Yang LT, Guizani M. Battery status-aware authentication scheme for V2G networks in smart grid. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4(1):99–110.
- [57] Vaidya, B., Makrakis, D., & Mouftah, H. T. "Security and Privacy-Preserving Mechanism for Aggregator Based Vehicle-to-Grid Network," In *International Conference on Ad Hoc Networks*. 2014 .pp. 75-85. Springer International Publishing.

- [58] Guo, H., Wu, Y., Chen, H., & Ma, M. “A batch authentication protocol for V2G communications,”. In *New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, 2011 4th IFIP International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [59] Hong Liu, Huansheng Ning, Yan Zhang, and L.T. Yang. “Aggregated proofs based privacy-preserving authentication for v2g networks in the smart grid,”. *Smart Grid, IEEE Trans.*2012.pp.1722–1733.

LISTE DES PUBLICATIONS

- [1] A. Bourass, S. Cherkaoui, L. Khoukhi, "Secure Optimal Itinerary Planning for Electric Vehicles in the Smart Grid," accepted in IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017.
- [2] A. Bourass, S. Cherkaoui, L. Khoukhi, "Secure Communication Scheme for Electric Vehicles in the Smart Grid," accepted in IEEE Global Telecommunications conference (IEEE GLOBECOM), Singapore, 2017.
- [3] A. Bourass, S. Cherkaoui, L. Khoukhi, "Intelligent route guidance for Electric Vehicle in the Smart Grid," accepted in IEEE Global Telecommunications conference (IEEE GLOBECOM), Singapore, 2017.