

RAPPORT DE L'EXAMINATEUR DE LA THESE

Identifications

Nom de l'étudiant·e : Karol Lina Lopez

Nom de l'examineur : Maxime Dubois, Université de Sherbrooke

Titre de la thèse: A Machine Learning Approach for the Smart Charging of Electric Vehicles

Joignez-vous au courriel de réponse
une copie numérique annotée de la thèse ? ☐ Oui ☒ Non

I. Commentaires sur la valeur scientifique de la thèse

Veuillez inscrire ici vos commentaires sur la valeur scientifique de la thèse ou joindre le fichier dans lequel vous les avez rédigés. Vous pouvez également détailler le degré d'atteinte que vous attribuez à chacun des objectifs de la section suivante

La thèse de doctorat proposée par la candidate Karol Lina Lopez traite de la recharge des véhicules électriques et en particulier d'une méthodologie d'apprentissage machine en vue d'un comportement optimal d'un algorithme de décision concernant la recharge des véhicules électriques. L'optimalité recherchée dans le cadre de la thèse est identifiée comme la séquence de décision menant au plus faible coût pour le propriétaire du véhicule électrique. Le contexte de la détermination de la séquence décisionnelle inclut notamment un environnement tarifaire fluctuant en ce qui a trait au prix de l'électricité et au prix de l'essence, un modèle de recharge de la batterie prenant en considération les modes en tension constante et courant constant, appliqués à différents scénarii d'utilisation de ces véhicules.

Le sujet proposé par la thèse est pertinent et ambitieux. La transition des modes de transport amorcée il y a moins d'une décennie, à savoir le passage du véhicule à essence au véhicule électrique, constitue un changement de paradigme significatif en ce qui concerne la gestion de la circulation de l'énergie. D'un mode de distribution de l'énergie basé sur une matière physique à faire circuler selon des lois de l'offre et de la demande qui prennent en considération des processus de transports visibles à une mode alternatif de distribution de l'énergie utilisant des infrastructures statiques, avec comme seuls vecteurs de transport des électrons en mouvement, les réflexes décisionnels qui régiront les transactions entre fournisseurs et utilisateurs sont à redéfinir entièrement. C'est dans ce contexte nouveau que la thèse se place et, dans cette perspective, celle-ci offre une plateforme de réflexion nouvelle; une contribution à un sujet dont l'ampleur n'est pas encore bien saisie par les différents acteurs de la société.

Le chapitre 1 de la thèse présente une introduction, où le contexte et les motivations sous-jacents à la thèse sont décrits. La définition de la problématique décisionnelle et les objectifs y sont précisés.

Le chapitre 2 de la thèse décrit l'état de l'art relatif au sujet. Les concepts de «Demand Side Management», ainsi que les différentes stratégies de tarification de l'électricité y sont présentés. L'approche décisionnelle quant à la recharge individuelle des véhicules électriques peut être centralisée

ou décentralisée. Le chapitre 2 fait un bon ratissage de l'état de la recherche, en y précisant le potentiel de contribution dans le secteur de la décision automatisée décentralisée. Il apparaît clairement que la très grande majorité des efforts de recherches passées ont été effectuées dans un contexte d'agrégateur centralisé bénéficiant le fournisseur d'électricité ou encore une partie du réseau électrique. Dans ce contexte, l'auteur saisit la réelle opportunité de recherche où l'avantage de l'utilisateur uniquement est visée en posant comme postulat que la contrainte sur le fournisseur d'électricité est inscrite dans la tarification imposée par celui-ci. La question de recherche est, en soi, une contribution intéressante de cette thèse.

Le chapitre 3 présente une démonstration des bénéfices que peuvent apporter l'optimisation de la séquence décisionnelle sur le coût total de l'énergie qui incombera à l'utilisateur. Cette démonstration présente une optimisation basée sur la Programmation Dynamique et compare les résultats obtenus avec des algorithmes décisionnels simples, soit instantanés (AC) et aléatoires (RD), ceci pour 17 profils d'utilisation de véhicules branchables.

Le chapitre 4 présente la méthodologie de développement de l'architecture machine qui sera utilisée afin d'automatiser le processus de décision d'une recharge optimisée d'un véhicule électrique. L'élaboration de cette architecture couvrira les chapitres 4, 5 et 6. Plus particulièrement, le chapitre 4 concentre son attention sur les variables qui seront considérées dans le développement du système d'information. L'analyse présentée au chapitre 4 décrit en détail les caractéristiques temporelles et spectrales des prix de l'essence, prix de l'électricité, température, distance parcourue, énergie consommée, puissance produite au niveau du fournisseur d'électricité. Une analyse multivariable de corrélation est également présentée.

Le chapitre 5 présente une méthodologie de sélection des sous-ensembles représentatifs de séries de données, en vue de leur utilisation pour l'apprentissage. La rapidité de traitement des algorithmes de décision sera fortement influencée par la taille des séries de données à considérer. L'objectif de ce chapitre est donc de permettre de réduire le nombre de données à considérer, en ciblant des sections limitées des séries de données.

Le chapitre 6 présente une approche du type intelligence artificielle qui permettra de combler les lacunes de la Programmation Dynamique, à savoir la prédiction de l'avenir. La Programmation Dynamique est utilisée comme base décisionnelle, qui sera amendée continuellement avec la nouvelle information en utilisant des approches kNN et DNN.

Dans son ensemble, la thèse de Mme Karol Lina Lopez est très bien construite, contient un nombre de références bibliographiques adéquat et présente un format et une édition répondant parfaitement aux standards d'une œuvre scientifique professionnelle. Une grande partie de l'œuvre touche des méthodes numériques et de traitement informationnel qui, malheureusement, sont un peu éloignées du noyau de mon expertise, ce qui n'enlève en rien à la très grande qualité d'édition de la thèse. Notre attention s'est donc portée plus particulièrement sur les chapitres 1, 2, 3 et 4 qui m'ont apparu très intéressants et bien écrits.

Un élément en particulier a attiré notre questionnement, à savoir l'utilisation à la figure 4.6 du prix de l'essence à la pompe pour l'année 2008-2009 et l'établissement d'une corrélation forte avec la température extérieure. Il apparaît toutefois que le comportement du prix de l'essence à la pompe pour la période considérée (2008-2009) soit davantage dicté par le «crash» boursier d'octobre-novembre

2008 que la température extérieure. Il aurait été préférable d'utiliser une autre année de référence pour le prix de l'essence à la pompe.

La thèse présente un grand nombre de concepts impliquant le traitement numérique des données et l'analyse statistique. Une des caractéristiques de cette thèse est son faible nombre de pages. La synthèse des idées en un nombre réduit de pages est habituellement un point positif dans une thèse doctorale. Toutefois, dans ce cas-ci, l'augmentation de la densité de l'information se fait au détriment de la clarté. Nous donnons comme exemple l'analyse statistique présentée au chapitre 4. En particulier, le tableau 4.8 présente des composants 1 à 5 qui semblent être normalisés entre -1 et 1, alors que la figure 4.7 présente des composants 1 à 3 qui semblent varier tantôt entre -10 et + 20 et tantôt entre -3 et + 5. Nous n'avons pas compris ce que représentaient les «Components», ni les «Clusters». Des exemples, rattachant ces résultats aux données plus physiques auraient permis de rendre cette partie plus claire. N'ayant pu comprendre certaines notions telles que celles mentionnées, nous n'avons donc pas pu tirer de la thèse une satisfaction à la hauteur de notre curiosité.

Dans le même esprit, à la toute fin de la thèse, nous aurions apprécié que soient présentées les « instants optimaux de recharge » issus des algorithmes de prise de décision développés. Si la figure 6.8 nous informe bien quant à la performance des différents algorithmes, à savoir que le DNN arrive presque au niveau de la DP, on ne dévoile pas les comportements de l'algorithme. En d'autres mots, on sait que le DNN est bon, mais on ne sait pas à quel moment il nous fait recharger le véhicule, ce qui aurait été d'un grand intérêt. Il s'agit ici, à nouveau, d'un commentaire qui touche la densité d'information de la thèse au détriment de l'explication et de la visualisation des résultats.

En ce qui concerne les hypothèses sous-jacentes à la thèse, il est important de faire remarquer que les véhicules électriques possèdent des chargeurs modulables en puissance, c'est-à-dire qu'il est possible de modifier la vitesse de recharge à partir d'une consigne transmise à la borne. Il s'agit d'une particularité qui est de plus en plus utilisée dans les réseaux publics où se branchent un grand nombre d'utilisateurs (e.g. PowerSharing™ de AddÉnergie). Cet aspect est intéressant pour limiter la puissance transmise par le réseau local où, très souvent, le réseau local ne possède pas les infrastructures et les droits de modulation tarifaire des compagnies d'électricité. La difficulté revient alors à établir les priorités de recharge et le niveau de modulation pour chaque utilisateur. Bien entendu, ce concept se positionne dans une perspective d'un réseau centralisé, ce qui n'est pas le contexte établi au départ par la thèse. Il aurait toutefois été pertinent de discuter de cette pratique, alors qu'elle est actuellement en pleine implantation commerciale.

Toute lecture d'une thèse de doctorat attire ses critiques et les quelques commentaires présentés ci-haut le sont à titre indicatif afin d'alimenter la discussion, davantage pour bien préparer la candidate en vue de sa soutenance, que pour exiger que des corrections soient apportées à la thèse. La thèse dans son ensemble reçoit la mention «Excellent» pour la qualité de sa présentation et «Très bien» sur le fond. Il s'agit d'une très bonne thèse et une très bonne contribution à l'augmentation des connaissances dans ce domaine qui est à la croisée de l'énergie et du génie informatique. Sur cet aspect de multidisciplinarité, nous croyons que la candidate s'est montrée à la hauteur du défi apporté par la manipulation de ces deux domaines assez différents l'un de l'autre.

II. Atteinte des objectifs de formation

Pour chacun des énoncés, évaluez le degré d'atteinte de l'objectif dont témoigne la thèse.

1. Compréhension experte des concepts clés, des théories et des enjeux principaux de son domaine de recherche
☐ Excellent ☒ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
2. Argumentation cohérente sur un problème intellectuel complexe et appuyée sur les progrès récents du domaine de recherche
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
3. Examen critique et utilisation judicieuse des connaissances dans ce domaine de recherche
☐ Excellent ☒ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
4. Justification de la méthodologie de la recherche utilisée, de l'adaptation d'une méthode existante ou de la conception d'une nouvelle méthode ou technique d'analyse
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
5. Description précise de la méthodologie de la recherche permettant de refaire le cheminement de l'étudiant (réflexion, observation, expérimentation)
☐ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☒ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
6. Exposition d'une proposition de recherche structurée témoignant d'une pensée critique indépendante et innovante
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
7. Formulation rigoureuse d'objectifs ou d'hypothèses de recherche originaux
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
8. Proposition de conclusions ou de résultats novateurs
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
9. Clarté, précision du style et qualité de la langue (correction grammaticale et typographique)
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
10. Rigueur dans le traitement des sources et des données
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
11. Analyses pertinentes des données et des résultats
☐ Excellent ☐ Très bon ☒ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
12. Pertinence et conception des illustrations et des tableaux
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas
13. Exactitude des références bibliographiques et présentation selon les normes appropriées au domaine concerné
☒ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Passable ☐ Inacceptable ☐ Ne s'applique pas

III. Jugement sur la thèse

En tenant compte de vos commentaires généraux et de votre évaluation des éléments précédents, choisissez entre ces trois options celle qui correspond le mieux à votre appréciation. Pour la première option, veuillez également indiquer la mention attribuée.

1. La thèse est **acceptable**, j'en recommande la **soutenance** et je considère qu'elle mérite la mention :

<input type="checkbox"/>	Excellent	<input type="checkbox"/>	Bon
<input checked="" type="checkbox"/>	Très bon	<input type="checkbox"/>	Passable

En choisissant cette option, vous déclarez que le document répond aux objectifs d'une thèse de doctorat aux plans méthodologique, scientifique, de la structure du texte et de la présentation matérielle.

S'il y a lieu, veuillez établir ci-dessous la liste des corrections mineures que vous suggérez d'apporter à la thèse après la soutenance. Les corrections seront effectuées sous la supervision du directeur de recherche.

Veuillez inscrire ici vos commentaires ou joindre le fichier dans lequel vous les avez rédigés.

Nous avons noté quelques erreurs grammaticales et orthographiques mineures. L'auteur pourra amender le manuscrit avant d'en relâcher la version finale. Ces corrections sont fournies à titre indicatif et demeurent très mineures. Nous tenons à souligner la très grande qualité de la présentation de la thèse, l'une des meilleures évaluées jusqu'à maintenant à ce chapitre.

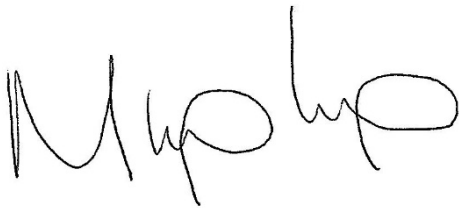
- Commentaire général sur le positionnement des figures et des tableaux : ceux-ci doivent être positionnés après leur citation dans le texte. Nous sommes conscient qu'une telle modification au manuscrit requiert un travail très substantiel et n'en faisons ici que la mention afin d'en informer l'auteur pour l'avenir;
- Page 1, avant-dernière ligne : «... the charging times it should be...» : enlever « it »;
- Page 2, deuxième paragraphe : «... we are proposing an approach based in the exploitation...» : remplacer « in » par « on » ;
- Page 6, troisième paragraphe : «... technology must support automate charging management...» : remplacer « automate » par « automated » ;
- Page 7, premier paragraphe : «... the consumer pays a fixed electricity rate for each of blocks of energy consumed.» : remplacer « each of blocks of » par « each block of » ;
- Page 14, cinquième paragraphe : «... few have adopted an user-oriented approach.» : remplacer « an » par « a » ;
- Page 15, troisième paragraphe : «... a characterization of the costumer...» : remplacer « costumer » par « customer » ;
- Page 17, deuxième paragraphe : «... this perspective can hardly to adapt the...» : enlever «to »;
- Page 17, troisième paragraphe : «... an user-oriented approach seeks...» : remplacer « an » par « a » ;
- Page 19, troisième paragraphe : «... as a sequential decisions problem...» : enlever le « s » à « decisions » ;
- Page 21 : à mon avis, le dénominateur de l'équation (3.4) (η) devrait être enlevé, car E_{nom} fait référence à l'énergie transmise à la batterie, alors que E_{ch}/η est l'énergie envoyée au véhicule.
-

IV. Comparaison avec les thèses évaluées au cours de votre carrière

En considérant l'ensemble des thèses que vous avez évaluées, comment se situe celle-ci ?

L'évaluation globale que nous faisons de la thèse de doctorat soumise par Mme Karol Lina Lopez est que celle-ci est recevable pour être soutenue devant jury et lui attribuons l'évaluation globale «Très Bien». Cette évaluation est basée sur une expérience de participation à des jurys sur 14 thèses de doctorat et 20 mémoires de maîtrise au cours des 15 dernières années.

Au niveau de la forme, de la qualité des illustrations, du niveau de langage utilisé, la thèse de Mme Lopez se classe parmi les cinq meilleures que nous ayons eu l'occasion d'évaluer à titre de jury. Nous tenons à féliciter Mme Lopez pour la qualité et la rigueur de son œuvre.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Dubois', with a stylized, cursive script.

Le 3 octobre 2018

Maxime Dubois ing. Ph.D.
Professeur agrégé
Département de génie électrique et de génie informatique
Université de Sherbrooke