

ESIGELEC – Projet S8

## Synthèse d'un article scientifique :

Optimal Routing of Electric Vehicles in Networks with  
charging Nodes: A Dynamic Programming Approach

# 1. Table des matières

2. INTRODUCTION :	2
3. ROUTE POUR UN VEHICULE ELECTRIQUE :	2
3.1. Hypothèses et contraintes :	2
3.1.1. Hypothèses :	2
3.1.2. Contraintes :	2
3.2. Approche utilisée :	3
3.3. Résultats obtenus :	3
3.4. Avantages, inconvénients :	3
3.4.1. Avantages :	3
3.4.2. Inconvénients :	3
4. ROUTE POUR PLUSIEURS VEHICULES ELECTRIQUES :	4
4.1. Hypothèses et contraintes :	4
4.1.1. Hypothèses :	4
4.1.2. Contraintes :	4
4.2. Approche utilisée :	4
4.3. Résultats obtenus :	4
4.4. Avantages, inconvénients et défaut :	4
4.4.1. Avantages :	4
4.4.2. Inconvénients :	4
5. CONCLUSIONS :	5
6. REFERENCES :	6

## 2. Introduction :

L'optimisation des parcours pour les véhicules électriques est un sujet d'actualité, de nombreuses recherches sont donc déjà menées par de nombreux scientifiques. Afin de produire notre version du parcours idéal, un état de l'art s'impose. Après de nombreuses recherches, j'ai pu dégager un article qui prend en compte de nombreux paramètres essentielles à notre future production.

Mon choix c'est porté sur l'article « Optimal Routing of Electric Vehicles in Networks with charging Nodes: A Dynamic Programming Approach » réalisé par trois scientifiques de l'université de Boston et un scientifique de l'institut des dynamiques urbaines de Oak Ridge. Cet article fait partie de trois thèses [1] [2] [3] réalisée en partie par les auteurs de l'article ici étudié. Le but des deux articles non-synthétisés ici était d'étudier des chemins avec des nœuds de recharge homogènes pour [1] et non-homogène pour [2] en formulant le modèle MINLP (Mixed Integer Non-Linear Programming Problem) tout en prenant en compte le trafic. L'article ici étudié tente d'apporter une autre approche des positions prise lors des deux autres thèses.

L'article se compose de deux parties, une partie se focalisant sur la gestion d'un seul véhicule et une seconde sur la gestion de véhicules multiples.

## 3. Route pour un véhicule électrique :

### 3.1. Hypothèses et contraintes :

#### 3.1.1. Hypothèses :

Les hypothèses sont les suivantes :

- Un nombre  $n$  de nœuds.
- Tous les nœuds sont supposés être des bornes de recharge.
- Un point de départ ainsi qu'un point d'arrivée.
- De  $(1, \dots, n)$  avec 1 nœuds de départ et  $n$  nœuds d'arrivée.
- Un arc  $(i, j)$  prend en paramètre le temps de voyage  $\tau_{ij}$  et la consommation d'énergie  $e_{ij}$  nécessaire au parcours entre  $i$  et  $j$ .
- Si des nœuds ne sont pas connectés, alors le temps est infini.
- L'énergie nécessaire au parcours de  $i$  vers  $j$  ( $e_{ij}$ ) peut être négatif, si la voiture se recharge par freinage ou autres (exemple, descente de montagne...).
- $r_i$  est le montant d'énergie rechargé à la borne  $i$ , la recharge n'est pas forcément total.
- Le véhicule est seul sur les routes et n'est donc pas influencé par le trafic. Ainsi  $e_{ij}$  et  $\tau_{ij}$  sont fixe.
- $g_i$  est le temps de recharge à une borne, lié aux technologies des stations de recharge.

#### 3.1.2. Contraintes :

- Définir le montant de recharge  $r_i$  nécessaire par station lors du parcours.
- Définir le temps de trajet  $\tau_{ij}$  pour chaque arc  $(i, j)$ .
- Définir l'énergie utile  $e_{ij}$  pour chaque arc  $(i, j)$ .
- Définir la capacité de charge de chaque type de véhicule.
- Définir le temps  $g_i$  de recharge par station.

### 3.2. Approche utilisée :

L'approche utilisée est en lien avec l'algorithme de Dijkstra, un algorithme de méthode exact. Chaque nœud se voit attribuer un coût  $Q$  en fonction du temps de trajet entre  $i$  et  $j$  et de l'énergie qu'il requière. Ce calcul est réalisé par la formule suivante :

$$Q(i, E_i) = \min[Q(j, E_j) + \tau_{ij} + (E_j - E_i + e_{ij})g_i]$$

Avec  $E_j = E_i + r_i - e_{ij}$

Pour associer ce coût à chaque nœud du parcours, comme pour l'algorithme de Dijkstra, l'ensemble des poids  $Q$  seront supposés égaux à l'infini. Puis, l'itération révèle la valeur de chaque coût.

Itération :

$$Q^k(i, E_i) = \min[Q^{k-1}(j, E_j) + \tau_{ij} + (E_j - E_i + e_{ij})g_i]$$

L'algorithme s'arrête lorsque :

$$Q^k(i, E_i) = Q^{k-1}(i, E_i)$$

Grâce à ce procédé, chaque nœud se verra attribuer un coût qui déterminera le chemin le plus efficient.

### 3.3. Résultats obtenus :

Deux tests ont été réalisés en donnant des poids différents à  $g_i$ , le premier test est réalisé avec  $g_i = 1$  quel que soit  $i$  afin d'avoir un comportement sur grille homogène, puis le second test a été réalisé avec des valeurs de  $g_i$  différentes par nœuds afin d'obtenir un résultat sur une grille non-homogène.

Comme attendu, les chemins sont différents car dépendant des valeurs de  $g_i$ , de plus les parcours calculés sont bien les plus efficaces dans chacun des cas. Le temps de calcul a lui été divisé par 100 par rapport aux deux premiers articles évoqués plutôt.

### 3.4. Avantages, inconvénients :

#### 3.4.1. Avantages :

- Le temps de calcul.
- La possibilité d'affecter une valeur de temps de charge par nœud.
- Le résultat obtenu est efficace.
- Les paramètres affectés aux calculs sont cohérents avec ceux de notre projet (la prise en charge de paramètres liés à la consommation et au temps (recharge + trajet)).

#### 3.4.2. Inconvénients :

- Un seul véhicule pris en charge dans cette solution, donc non réaliste (pas de prise en compte du trafic).
- Valeurs des paramètres figées, non-dynamique.
- Tous les nœuds ont le rôle de borne de recharge.

## 4. Route pour plusieurs véhicules électriques :

### 4.1. Hypothèses et contraintes :

#### 4.1.1. Hypothèses :

- Traiter les véhicules en sous-ensembles de N "sous-flux" où N doit être sélectionné pour rendre le problème gérable.
- Tous les véhicules entre dans la grille par le nœud 1.
- R est le taux de véhicules arrivant à ce nœud.
- Les véhicules électriques sont rangés par nature (SUV, citadine) et sont traitées comme des flux.
- Les véhicules électriques seront les seuls traitées dans cet algorithme.
- Pour ce qui est des équations, même hypothèses qu'en [3.1.1](#).

#### 4.1.2. Contraintes :

- Choix de N car, le nombre de sous-flux impacte directement le temps de calcul.
- Connaître le type de chaque véhicule.
- Pour ce qui est des équations, même contraintes qu'en [3.1.2](#).

### 4.2. Approche utilisée :

L'approche utilisé est similaire à l'approche précédemment, la différence est que le véhicule électrique est transformé en groupement de véhicules de même type afin de gérer le trafic de plusieurs véhicules. Un nombre de chemin possible défini par N distribue les groupements de véhicules pour répartir le trafic. Le chemin le plus court n'est pas assuré pour tous les véhicules, mais chacun des véhicules peut arriver à destination en utilisant un des chemins définis par N.

### 4.3. Résultats obtenus :

Les résultats sont satisfaisants d'un point de vu macroscopique, mais dès que le nombre de sous-flux N augmente, les calculs deviennent un frein à l'utilisation de cette solution.

### 4.4. Avantages, inconvénients et défaut :

#### 4.4.1. Avantages :

- Très efficace d'un point de vue macroscopique (N faible).
- Permet de répartir les véhicules pour éviter les bouchons lors des besoins de recharge.

#### 4.4.2. Inconvénients :

- Le temps de calcul est trop important pour les grilles de grande ampleur (N grand).
- Le chemin n'est plus forcément le plus efficient.
- Les véhicules sont supposés partir du même point et arriver au même endroit (irréaliste).

## 5. Conclusion :

L'algorithme proposé pour un véhicule seul est simple et efficace, il prend un bon nombre de paramètres utiles à notre projet, comme le temps de trajet et de recharge ainsi que la gestion de l'énergie. De plus, le meilleur chemin en termes de temps et d'énergie est assuré. La gestion du trafic proposée par la suite ne semble pas réunir les conditions nécessaires pour une utilisation à grande échelle. Une des solutions évoquées en [1], permet dynamiquement de changer les paramètres de temps de trajet liés au trafic, ainsi en mettant à jour les données de temps de trajet de  $i$  vers  $j$ , la gestion multi-véhicule pourra être assurée. Cette solution semble plus adaptée pour notre projet.

Cet article propose néanmoins de bonne base pour pouvoir échanger avec l'équipe afin de trouver une solution technique optimale en lien avec notre projet.

## 6. Références :

- [1] T. Wang, C. Cassandras, and S. Pourazarm, "Energy-aware vehicle routing in networks with charging stations" in To appear in Proc. of 2014 IFAC World Congress-arXiv:1401.6478.
- [2] S. Pourazarm and C. Cassandras, "Optimal routing of energy-aware vehicle in networks with inhomogeneous charging nodes" in Proc. of 22nd IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, June 2014, pp. 674–679.
- [3] Sepideh Pourazarm, Christos G. Cassandras, Andreas Malikopoulos, "Optimal Routing of Electric Vehicles in Networks with charging Nodes: A Dynamic Programming Approach"