

Gestion stochastique de l'utilisation des bornes de VÉ

Jaël Champagne Gareau

CHAJ08109207

champagne_gareau.jael@courrier.uqam.ca

21 décembre 2017

Résumé

La planification d'itinéraires pour véhicules électriques (VÉ) est une tâche qui nécessite la prise en compte de plusieurs éléments dont la probabilité qu'une borne soit disponible et, dans le cas contraire, le temps d'attente moyen avant qu'elle ne le devienne. Cet article propose une méthode pour tenir compte de cet élément lors du calcul de l'itinéraire optimal.

1 Introduction

Dans le secteur des transports, les VÉ représentent une solution intéressante aux changements climatiques. Toutefois, leur autonomie limitée et leur temps de recharge élevé représentent encore un obstacle majeur à leur adoption massive. Les longs trajets sont particulièrement un défi, car ils exigent une planification soignée pour prévoir les bornes auxquelles il faudra se brancher pour se déplacer d'un point A à un point B sans tomber en panne.

Le projet portera donc sur la planification d'itinéraires pour véhicules électriques. Il s'agit d'un problème complexe ne pouvant être résolu efficacement par des approches classiques. En effet, plusieurs facteurs, dont certains sont sous incertitude, doivent être considérés : le niveau (L1 à L3) des

bornes qui influence la vitesse de recharge, la non-linéarité de la courbe de recharge des batteries, les limites de vitesse des routes qui impactent le niveau d'énergie nécessaire pour combattre la résistance de l'air (qui est proportionnelle au carré de la vitesse), la disponibilité des bornes qui évolue en temps réel, les conditions météorologiques, le relief de la carte, l'état du réseau routier, etc.

Pour ce projet, l'accent sera mis sur la gestion de la probabilité d'occupation des bornes de recharge. Sommairement, l'approche utilisée est de calculer, à l'aide de données du passé, la probabilité empirique qu'une borne soit occupée pour un certain jour de la semaine et à une certaine heure. Sachant cette information, l'itinéraire retourné pourra dévier de l'itinéraire géographiquement optimal pour éviter un éventuel temps d'attente.

2 Problématique

Dans le cadre d'un précédent projet (TP3 du cours INF3105 Été 2016), un planificateur d'itinéraires pour VÉ a été implémenté. Voilà une ébauche de l'algorithme utilisé :

```
1 chemin = dijkstra(graphe, départ, arrivé)
2 if longueur(chemin) <= autonomie :
3     return chemin
4 Créer s-graphe avec bornes, départ, arrivé
```

```

5 for borne in bornes:
6   dijkstra (graphe , borne , _ , autonomie)
7   mettre les poids sur les arêtes qui
   touchent à borne
8 chemin = dijkstra (s-graphe , départ , arrivée)
9 Déduire le chemin total à partir de chemin
10 return cheminTotal

```

Listing 1 – Algorithme de base

Par exemple, pour le graphe à la figure 1, l’algorithme crée un sous-graphe (représenté à la figure 2). Les sommets bleus représentent le départ et l’arrivée, tandis que les sommets rouges sont des bornes. Bien entendu, dans le sous-graphe, on ne met que des arêtes de longueur \leq à l’autonomie du véhicule.

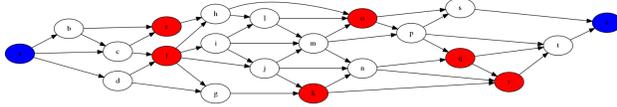


FIGURE 1 – Un réseau routier

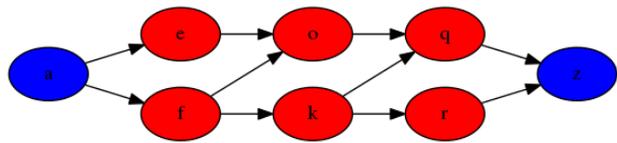


FIGURE 2 – Sous-graphe du réseau routier

Ensuite, puisque chaque nœud intermédiaire du sous-graphe représente une borne, on n’a plus besoin de considérer l’autonomie du véhicule (car on peut se recharger à chaque étape).

Cette approche fonctionne, mais a néanmoins plusieurs limitations. Parmi celles-ci, notons :

- Vitesse supposée constante partout (72 km/h)
- Temps de recharge constant (30 min) ne tenant pas compte du modèle du véhicule ou du pourcentage d’énergie restant dans la batterie
- Ne tient pas compte de l’effet de la vitesse sur la consommation

- Ne tient pas compte du relief de la carte
- Ne considère que les bornes L3 (rapide)
- Considère que le départ et l’arrivée arrivent pile sur un nœud de la carte
- Au départ, la batterie est totalement chargée
- Pas de recharge partielle de la batterie
- L’achalandage des bornes n’est pas considéré

La problématique est de considérer le dernier point, en construisant un modèle stochastique pour prédire la probabilité qu’une borne soit utilisée dépendamment de l’heure de la journée.

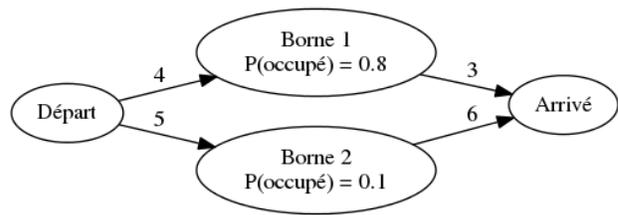


FIGURE 3 – Illustration du problème lorsqu’on ne considère pas l’occupation des bornes

À la figure 3 se trouve un exemple qui illustre l’avantage de pouvoir considérer l’occupation des bornes. Dans cet exemple, si on utilise l’approche de base présentée plus haut, l’itinéraire sera [Départ, Borne 1, Arrivé]. Or, en considérant la probabilité que chaque borne soit occupée et le temps d’attente moyen si tel est le cas, il serait plus avantageux de passer par la borne 2. En effet, le temps de recharge moyen des véhicules (pour se rendre de 0 à 80%) est de 30 min [dQ11]. Ainsi, lorsqu’une borne est occupée, le temps d’attente moyen sera de 15 min. Donc pour la borne 1, l’espérance est $0.8 * 15 = 12$ min tandis que pour la borne 2, elle est de $0.1 * 15 = 1$ min 30. Malgré que le chemin passant par la borne 2 soit $11 - 7 = 4$ km plus long, c’est probablement plus rapide que d’attendre $12 - 1.5 = 10.5$ min de plus en moyenne si on passe par la borne 1.

3 État de l’art

Des chercheurs allemands [SLAH11] ont proposé une technique de planification pour VÉ tenant compte de l’énergie potentielle (différence d’altitude entre deux nœuds) et de la possibilité que la batterie du VÉ se recharge durant le trajet (par exemple, sur une pente descendante ou lors de freinages, il est possible de récupérer de l’énergie). De plus, l’article tient compte de la limite de vitesse sur chaque segment de route et tient compte d’autres facteurs pouvant influencer l’énergie (masse du véhicule et des occupants, coefficient de résistance de l’air, etc.). Également, l’approche permet une batterie partiellement rechargée initialement. Cependant, l’article ne tient pas compte de la présence de bornes de recharge. Ainsi, le problème traité est de se rendre du départ à l’arrivée, mais en supposant que l’énergie récupérée en marche sera suffisante pour compléter le trajet. Leur algorithme utilise une variante de A^* avec une heuristique basée sur la plus petite limite de vitesse du graphe et sur la distance euclidienne. Leur variante permet de trouver une solution en temps $O(n \log n)$ selon quelques hypothèses raisonnables. D’autres chercheurs ont également obtenu des résultats similaires [EFS11].

Dans d’autres articles ([BBTE14] [FNS16]), le problème de rechargement au milieu du trajet est considéré. Par contre, aucun de ces articles ne considère l’incertitude inhérente au problème (le trafic, la météo, la batterie, etc.). En particulier, l’occupation des bornes n’est pas considérée.

4 Méthode

Pour obtenir des données sur l’occupation des bornes à différentes heures de différentes journées, les données du Circuit Électrique [Add17] ont été recueillies (format JSON) à intervalle régulier (aux

5 min) pendant une semaine. Par la suite, en utilisant tous les fichiers de données recueillies, un nouveau fichier contenant l’information sur les bornes, incluant les données d’occupation pour chacune d’elle, a été produit. Ensuite, un visualisateur d’itinéraires pour VÉ a été modifié pour permettre l’analyse du nouveau fichier de bornes et l’affichage (avec des teintes de gris) de l’occupation des bornes pour un couple (jour, heure) fourni dans le visualisateur par l’utilisateur. Les formats des requêtes transmises ont aussi été modifiés pour y inclure un nombre représentant le jour (0=lundi, 6=dimanche) et un autre représentant l’heure (0..23).

Pour ce qui est du planificateur en tant que tel, plusieurs modifications ont été nécessaires. D’une part, il a dû être adapté au nouveau format des requêtes et des bornes. Ensuite, l’algorithme a été modifié pour tenir compte de l’occupation des bornes. Pour ce faire, à la ligne 7 de l’algorithme présenté plus haut, on ajoute au poids des arêtes sortantes de chaque borne du sous-graphe une ‘distance’ telle que le temps pour la parcourir est égal à l’espérance du temps d’attente à cette borne. Ainsi, plus la probabilité que la borne soit occupée est grande, plus le temps d’attente espéré sera grand et donc plus on ajoute de distance à toutes les arêtes sortantes.

5 Expérimentations

Pour vérifier que le nouvel algorithme se comporte bien en fonction des données d’occupation, un exemple dans lequel deux bornes sont utilisables pour se rendre du départ à l’arrivée a été utilisé. Dans cet exemple, le chemin passant par la première borne (Piedmont) est légèrement plus court que celui passant par la seconde borne (Sainte-Adèle). Ainsi, lorsque les deux bornes ont la même occupation, l’algorithme passe par Piedmont (Figure 4).

Par contre, lorsque la borne de Piedmont est plus

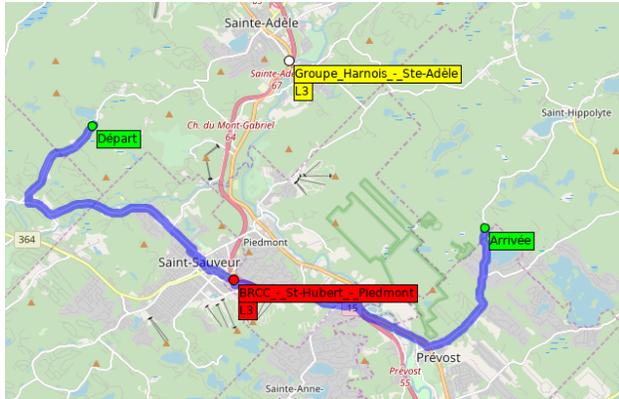


FIGURE 4 – Le meilleur itinéraire le lundi midi passe par Piedmont

utilisée que celle de Sainte-Adèle, l’algorithme passe par Sainte-Adèle (Figure 5) (le temps pour faire le détour est moins grand que le temps d’attente à Piedmont).

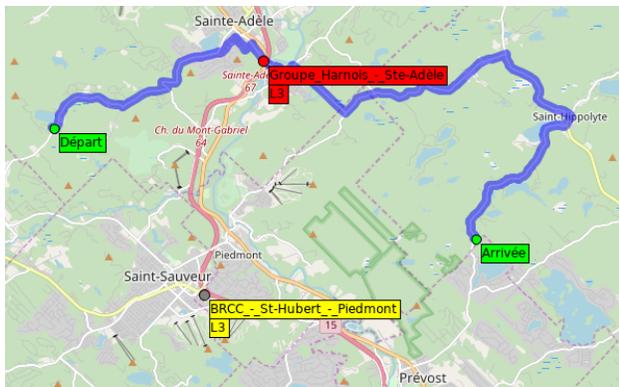


FIGURE 5 – Le meilleur itinéraire le mardi midi passe par Sainte-Adèle

6 Conclusion

Somme toute, nous avons recueilli, compilé et analysé des données sur l’occupation des bornes de

recharge de VÉ au Québec. Ensuite, le planificateur a été modifié pour permettre de tenir compte de ces données lors du calcul des itinéraires. Cela a permis de résoudre le problème illustré à la figure 3.

Dans de futurs travaux, la génération d’alternatives à l’itinéraire optimal pourrait être considérée. De plus, il serait intéressant d’évaluer la possibilité d’utiliser des données d’occupation en temps réel avec un algorithme *online*.

Références

- [Add17] AddEnergie. Circuit Électrique, 2017.
- [BBTE14] Fouad Baouche, Romain Billot, Rochdi Trigui, and Nour Eddin El Faouzi. Electric Vehicle green routing with possible en-route recharging. In *2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2014*, pages 2787–2792. IEEE, oct 2014.
- [dQ11] Gouvernement du Québec. VÉ : Recharge et Équipement, 2011.
- [EFS11] Jochen Eisner, Stefan Funke, and Sabine Storandt. Optimal Route Planning for Electric Vehicles in Large Networks. *Aaai*, pages 1108–1113, 2011.
- [FNS16] Stefan Funke, André Nusser, and Sabine Storandt. Placement of Loading Stations for Electric Vehicles : Allowing Small Detours. *Ijcai*, 2016.
- [SLAH11] Martin Sachenbacher, Martin Leucker, Andreas Artmeier, and Julian Haselmayr. Efficient Energy-Optimal Routing for Electric Vehicles. *Proc. Twenty-Fifth AAAI Conference on AI*, (January 2011) :1402–1407, 2011.