

Borne To Be Alive!

1. Introduction

Ce projet s'intéresse à la problématique liée à l'électrification de l'intégralité des voitures. Avec l'interdiction de l'Union Européenne de vendre des voitures thermiques à partir de 2035, de nombreux projets se construisent pour répondre aux futures attentes d'un réseau routier exclusivement composé de transport électrique. Parmi les problématiques, certaines portent sur les effets des véhicules électriques sur la sécurité routière ou sur la qualification des futurs mécaniciens sur les moteurs électriques, mais on pense que toutes ces problématiques seront résolues rapidement. Pour notre part, on cherche à garder le trafic routier fluide malgré les contraintes d'autonomie et de temps de charge de telles voitures. Pour cela, on veut simuler le trafic routier avec des dispositions de bornes de chargement différentes. Pour qu'à terme, on puisse utiliser les résultats de cette simulation afin de déterminer la disposition idéale de ces bornes.

Les objectifs de ce projet sont donc de créer un simulateur de l'autoroute A6 comportant des stations de recharges électriques et de sélectionner les paramètres d'entrée pour pouvoir adapter les scénarios aux observations réelles. On pourra ensuite analyser les résultats des différentes simulations.

2. Le simulateur

Pour résumer, le simulateur fonctionne ainsi. A partir d'une liste de trajets comportant, entre autres, le km d'entrée, de sortie, l'heure de départ ; le simulateur détermine l'action suivante de la voiture ayant le temps minimal. Les actions sont l'avancée jusqu'à la station suivante, l'attente et la charge. Ces actions prennent une durée x qui sera additionnée au temps de la voiture avant de calculer la prochaine itération. On s'arrête lorsque toutes les voitures sont sorties de l'autoroute ou quand la durée de simulation est dépassée.

Dans l'élaboration de l'algorithme, nous avons essayé d'externaliser les fonctions étant susceptibles d'être complexifiées plus tard pour mieux coller à la réalité. On pourrait penser par exemple à modifier le calcul de temps de charge, de la baisse d'autonomie lorsque l'on avance, etc.

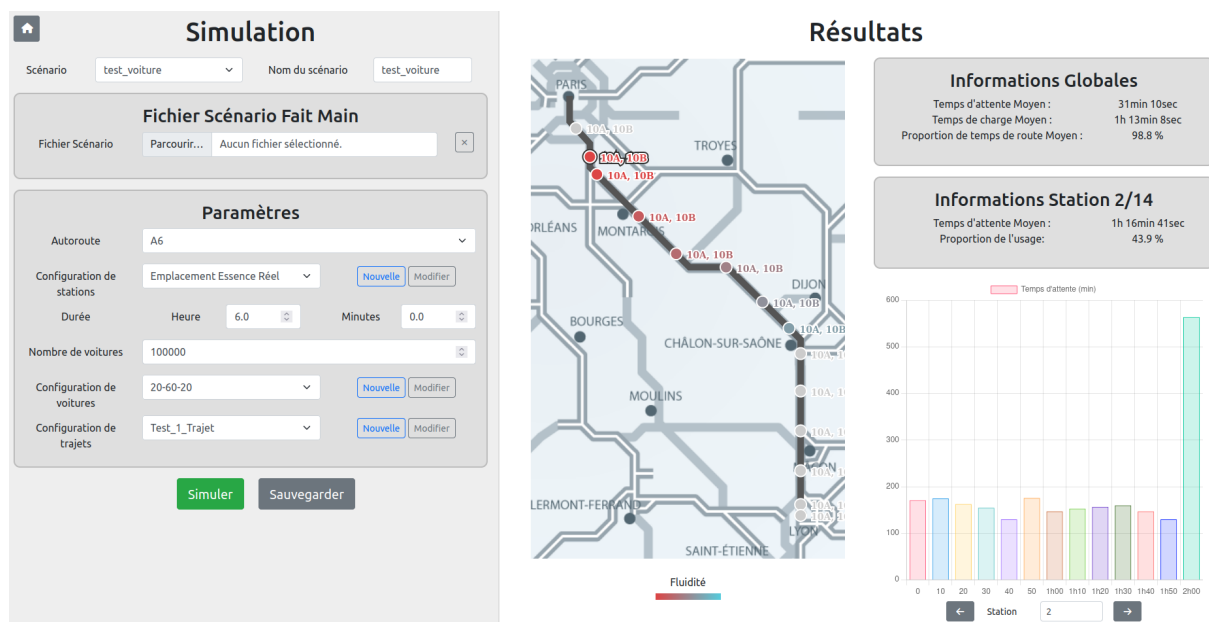
Le simulateur permet de choisir certains paramètres en entrée qui sont :

- la durée de simulation
- la disposition des stations de recharge
- le type de voiture et leur nombre
- la fréquentation de l'autoroute par heure

3. Utilisation du Front End

Paramètres globaux

Voici un aperçu de la page principale du simulateur, qui permet à l'utilisateur de choisir les paramètres d'entrée du simulateur dans la partie de gauche, puis de visualiser les résultats sur la partie de droite.



Parmi les paramètres globaux, l'utilisateur peut choisir la durée de la simulation et le nombre de voitures entrant dans la simulation. Il peut aussi créer de multiples configurations que nous allons expliquer dans la suite: configurations de stations, de voitures et de trajets.

Configuration de stations

Voici un aperçu de la page permettant de créer ou de modifier une configuration de stations. Elle permet de choisir le nombre de stations que l'on souhaite placer sur l'autoroute. Pour chaque station, l'utilisateur spécifie son emplacement et le nombre de bornes de recharge de chaque type. L'utilisateur peut visualiser en temps réel la disposition de ces stations sur un plan de l'autoroute A6.

[illegible]

Cette page permet à l'utilisateur de spécifier les types de voitures et leur proportion dans la simulation. Nous avons implémenté seulement trois modèles de voitures mais il serait possible d'en ajouter d'autres.

Configuration de trajets

Nom

trajet test

Répartition des voitures sur la durée de la simulation

[50, 30, 20]

aperçu:

Trajets possibles

2

Trajet 0:

km d'entrée

10

km de sortie

60

Trajet 1:

km d'entrée

60

km de sortie

300

Répartition de ces trajets au cours de la simulation

[80, 40, 75]

aperçu:

[20, 60, 25]

aperçu:

Sauvegarder

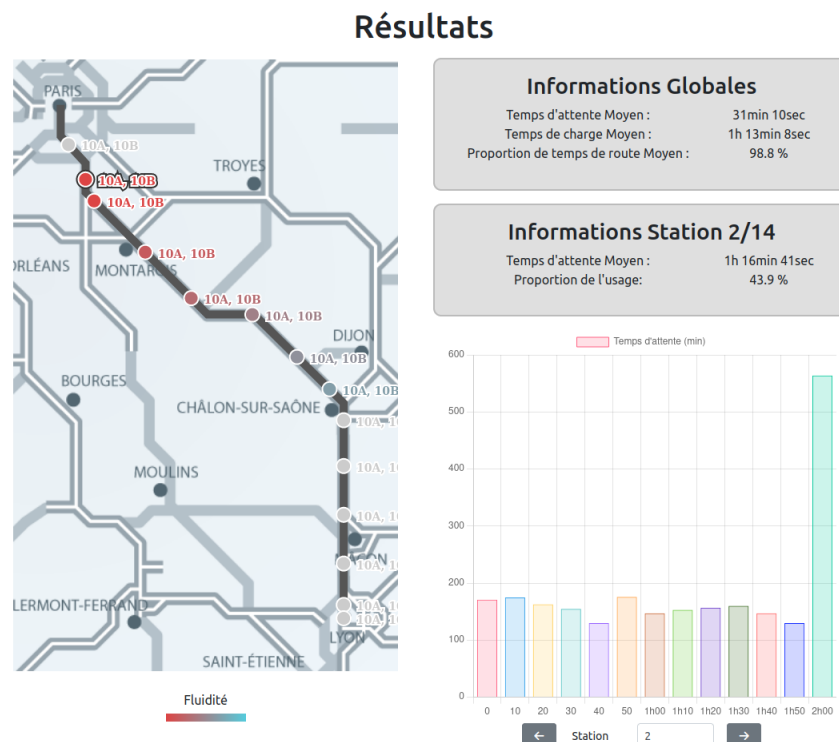
Pour configurer les trajets, il faut d'abord décider en combien de parties on va découper temporellement notre scénario (ici 3). Pour choisir ce nombre x , il faut rentrer x pourcentage dans les champs répartition.

Le premier champ à remplir est la répartition en pourcentage du nombre de voitures durant la simulation. La somme du tableau doit être égale à 100. Ici, il y aura 50% du nombre total de voitures partant lors du premier tiers de la simulation.

Ensuite, on crée les trajets en définissant un km d'entrée et un km de sortie par trajet (les km de sortie sont présents dans `app/static/scenarios/init.json`).

Pour définir la répartition des trajets, nous devons définir la proportion de chaque trajet sur chaque intervalle de temps. Ici, lors du deuxième intervalle de temps, il y aura 40% de trajet 1 et 60% de trajet 2. A la fin, la somme des différentes répartition doit être un tableau de 100 ([100 100 100]).

Visualisation des résultats



Cette partie du front-end permet de visualiser divers résultats de la simulation. On a en haut à droite des informations sur le temps d'attente moyen, le temps de charge moyen et la proportion de temps de route pour un usager. En dessous, l'utilisateur peut avoir le même type d'information pour chaque station qu'il a paramétrée, avec une distribution des temps d'attente représentées avec un histogramme. Enfin, sur la partie gauche de cette image, l'utilisateur a une information sur la fluidité de chaque station avec des indicateurs colorés, calculée à partir du temps d'attente moyen. La station avec le plus grand temps d'attente moyen apparaîtra en rouge, et celles qui ne sont pas utilisées dans la simulation prennent la couleur grise.

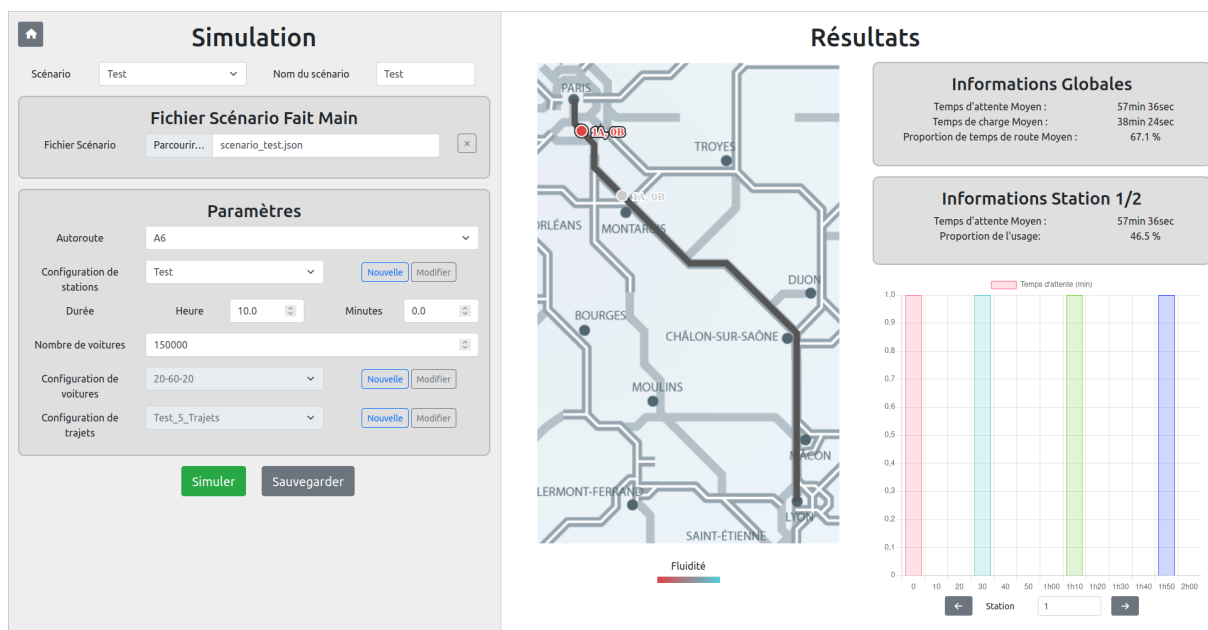
4. Test (Pour les tuteurs surtout)

Pour vérifier que nous retournons les bons résultats, nous avons fait certains tests sur des scénarios connus d'avance.

Pour un scénario mettant en place 6 voitures avec 2 bornes comportant une station placés au km 30 et 100 :

```
{
  "description": "Scénario de test",
  "duree": {"heure": 5, "minute": 30},
  "Voitures": [
    {"autonomie": 390, "start": 10, "end": 100, "km_after_end": 0, "time_start": 0, "autonomie_max": 390, "capacite": 52},
    {"autonomie": 390, "start": 10, "end": 150, "km_after_end": 0, "time_start": 0, "autonomie_max": 390, "capacite": 52},
    {"autonomie": 50, "start": 10, "end": 200, "km_after_end": 0, "time_start": 0, "autonomie_max": 390, "capacite": 52},
    {"autonomie": 50, "start": 10, "end": 200, "km_after_end": 0, "time_start": 0, "autonomie_max": 390, "capacite": 52},
    {"autonomie": 50, "start": 10, "end": 200, "km_after_end": 0, "time_start": 0, "autonomie_max": 390, "capacite": 52},
    {"autonomie": 50, "start": 10, "end": 200, "km_after_end": 0, "time_start": 0, "autonomie_max": 390, "capacite": 52}
  ]
}
```

Les deux premières voitures ont assez d'autonomie pour aller au bout de leur trajet. Tandis que les 4 autres passeront par la première station. Comme elles partent en même temps, on s'attend à ce qu'il y est une file d'attente à la borne.



On a pu afficher les logs :

```
----- LOGS : etapes par voiture -----
( start 10 ) -[ 2023-01-12 16:32:26.973549 ]-> ( avance 100 ) -[ 2023-01-12 17:13:59.281241 ]-> (
end 100 ) -[ 2023-01-12 17:13:59.281241 ]->
( start 10 ) -[ 2023-01-12 16:32:26.973549 ]-> ( avance 150 ) -[ 2023-01-12 17:37:03.896626 ]-> (
end 150 ) -[ 2023-01-12 17:37:03.896626 ]->
( start 10 ) -[ 2023-01-12 16:32:26.973549 ]-> ( avance 30 ) -[ 2023-01-12 16:41:40.819703 ]-> (
charge 30 ) -[ 2023-01-12 17:20:04.819703 ]-> ( avance 200 ) -[ 2023-01-12 18:38:32.512011 ]-> ( end
200 ) -[ 2023-01-12 18:38:32.512011 ]->
( start 10 ) -[ 2023-01-12 16:32:26.973549 ]-> ( avance 30 ) -[ 2023-01-12 16:41:40.819703 ]-> (
wait 30 ) -[ 2023-01-12 17:20:04.819703 ]-> ( charge 30 ) -[ 2023-01-12 17:58:28.819703 ]-> ( avance
200 ) -[ 2023-01-12 19:16:56.512011 ]-> ( end 200 ) -[ 2023-01-12 19:16:56.512011 ]->
```

```
( start 10 ) -[ 2023-01-12 16:32:26.973549 ]-> ( avance 30 ) -[ 2023-01-12 16:41:40.819703 ]-> ( wait 30 ) -[ 2023-01-12 17:58:28.819703 ]-> ( charge 30 ) -[ 2023-01-12 18:36:52.819703 ]-> ( avance 200 ) -[ 2023-01-12 19:55:20.512011 ]-> ( end 200 ) -[ 2023-01-12 19:55:20.512011 ]-> ( start 10 ) -[ 2023-01-12 16:32:26.973549 ]-> ( avance 30 ) -[ 2023-01-12 16:41:40.819703 ]-> ( wait 30 ) -[ 2023-01-12 18:36:52.819703 ]-> ( charge 30 ) -[ 2023-01-12 19:15:16.819703 ]-> ( avance 200 ) -[ 2023-01-12 20:33:44.512011 ]-> ( end 200 ) -[ 2023-01-12 20:33:44.512011 ]->
```

En effet, on remarque qu'il y a eu 4 chargement à la borne 1. Comme chaque trajet est identique, le temps de charge est identique et de 38 min environ. Le temps d'attente moyen est donc de $(0+38+2*38+3*38)/4 = 57$ min. Et le graphique de la distribution respecte ces résultats. Enfin pour la proportion d'usage de la borne, nous l'avons utilisée 152 min ($4*38$) pour une durée totale de 5h30 de simulation. On est bien à 46% d'utilisation.

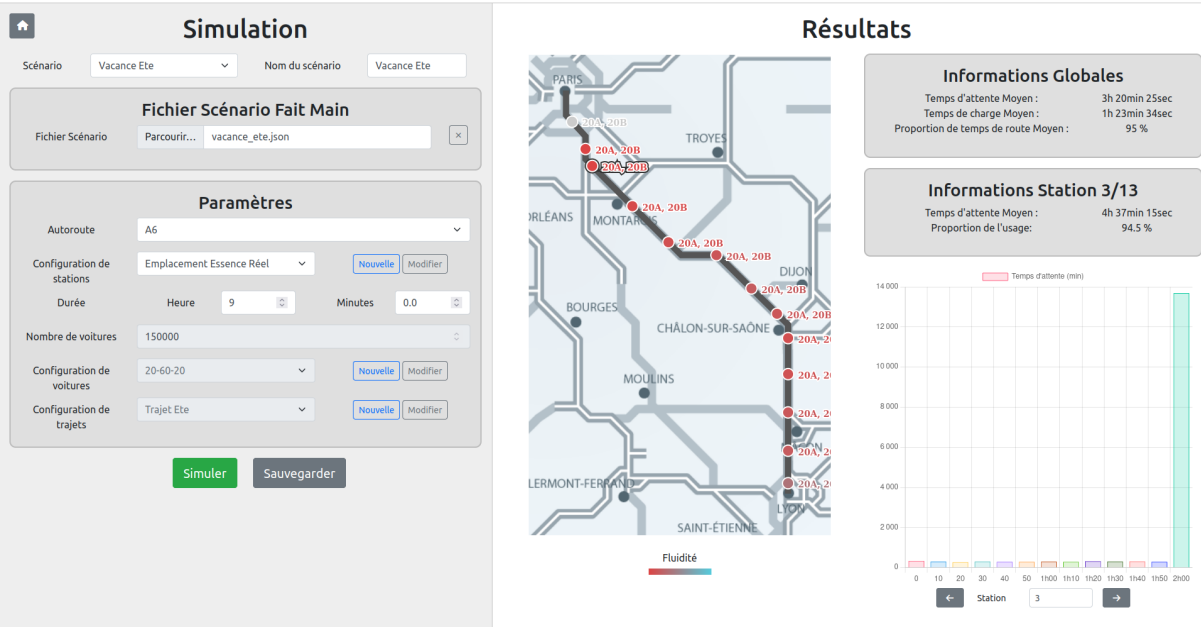
Nous avons aussi fait un test de charge avec 200 000 voitures sur des trajets longs et sur 10h de simulation. L'affichage des résultats est arrivé en moins de 30 sec.

5. Résultats

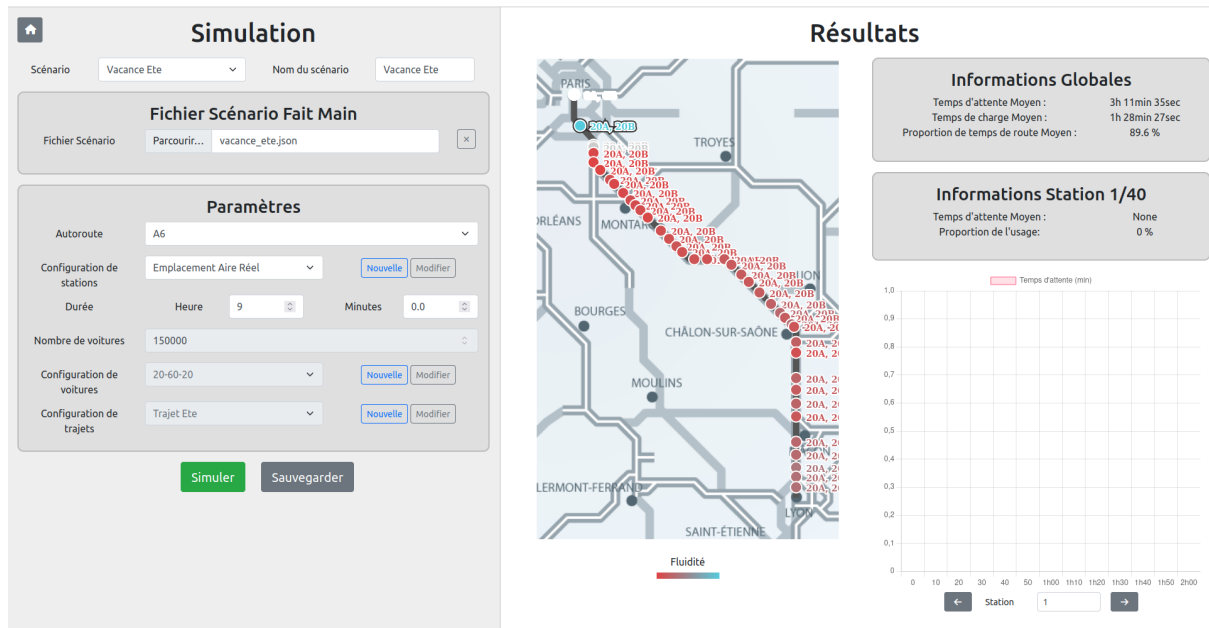
Pour les résultats, nous utilisons une disposition des bornes telle que les stations se trouvent là où il y a actuellement de l'essence. Une deuxième disposition est testée, les stations de recharge sont là où sont les aires d'autoroute.

a. Scénario 1 - Jour de Semaine

Ce scénario cherche à simuler le trafic un jour de semaine normal. Il y a donc beaucoup de courts trajets pour aller du domicile au travail et inversement. La simulation dure 14 heures, de 6h à 20h car on estime que c'est la période où il y a le plus de trafic (voir le [trafic en Loire-Atlantique](#))



{'t_wait_mean_v': '3:20:25.292439', 't_use_mean_v': '1:23:34.377449',
'proportion_route_mean_v': '0.950', 't_wait_mean_b': [0, '4:35:56.664140', '4:37:15.881354',
'4:23:43.620809', '4:13:35.016077', '4:01:10.328415', '3:48:35.795537', '4:00:36.191786',
'4:15:27.283195', '4:09:20.387030', '3:58:15.460274', '3:49:33.489496', '3:02:16.640400'],
'proportion_usage_b': ['0.000', '0.959', '0.945', '0.903', '0.866', '0.826', '0.870', '0.954', '0.932',
'0.906', '0.877', '0.906', '0.920'], 'repartitions': [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], [131, 93, 97,
94, 82, 115, 106, 100, 104, 102, 94, 96, 4332], [341, 303, 276, 308, 294, 295, 298, 294, 324,
308, 315, 295, 13683], [315, 280, 296, 287, 267, 278, 227, 246, 258, 243, 281, 279, 11157],
[310, 253, 284, 260, 288, 287, 269, 277, 301, 288, 273, 276, 11207], [283, 266, 254, 245,
279, 255, 260, 258, 264, 256, 255, 263, 9762], [181, 164, 156, 155, 125, 151, 160, 148, 150,
179, 154, 141, 5224], [206, 129, 150, 164, 158, 141, 129, 147, 157, 143, 145, 155, 5720],
[100, 83, 71, 65, 65, 81, 60, 62, 77, 66, 68, 60, 2674], [107, 69, 69, 66, 71, 71, 59, 61, 55,
75, 72, 70, 2678], [112, 59, 66, 76, 73, 69, 73, 67, 76, 77, 84, 72, 2600], [110, 60, 64, 69, 63,
76, 50, 59, 60, 46, 60, 75, 2272], [70, 27, 28, 21, 26, 38, 17, 23, 29, 26, 32, 39, 731]]}



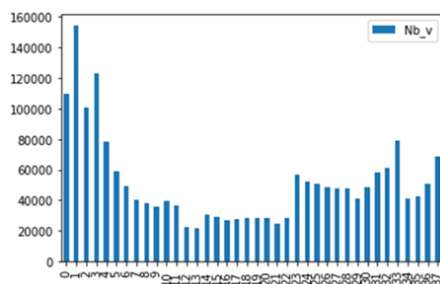
{'t_wait_mean_v': '3:11:35.822345', 't_use_mean_v': '1:28:27.871819',
'proportion_route_mean_v': '0.896', 't_wait_mean_b': [0, 0, 0, '4:18:35.848693',
'4:28:14.072874', '4:28:35.381396', '4:04:03.386684', '4:20:21.127976', '4:17:04.159870',
'4:05:59.459839', '4:10:53.222482', '4:06:48.587843', '4:18:13.670575', '4:04:16.093032',
'4:03:19.153783', '3:55:53.789964', '4:03:15.161702', '3:58:01.657642', '3:58:12.948089',
'3:45:13.831702', '3:46:13.737868', '3:43:09.079829', '3:48:39.304472', '3:41:50.658854',
'3:30:52.019271', '3:16:46.567151', '3:40:50.048553', '2:58:20.205355', '3:54:45.912164',
'3:34:04.841204', '4:06:06.893721', '3:25:23.449977', '3:40:40.866194', '3:23:11.165508',
'3:48:15.249479', '3:16:54.949990', '3:14:24.702402', '2:49:53.087574', '3:01:42.419688',
'3:02:16.640400'], 'proportion_usage_b': ['0.000', '0.000', '0.000', '0.955', '0.951', '0.943',
'0.928', '0.929', '0.919', '0.910', '0.906', '0.900', '0.895', '0.881', '0.871', '0.862', '0.859', '0.847',
'0.838', '0.824', '0.818', '0.806', '0.801', '0.788', '0.776', '0.848', '0.944', '0.912', '0.943', '0.924',
'0.923', '0.899', '0.892', '0.882', '0.876', '0.853', '0.846', '0.832', '0.890', '0.920'], 'repartitions':
[[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0], [78, 27, 38, 34, 38, 43, 28, 40, 50, 41, 32, 41, 1533], [95, 65, 57, 54, 59, 85, 59,
67, 62, 60, 64, 62, 2710], [118, 62, 78, 90, 72, 75, 86, 77, 106, 83, 73, 85, 3582], [67, 29, 27,
45, 28, 38, 28, 33, 38, 30, 38, 30, 1264], [115, 69, 60, 74, 64, 70, 60, 66, 74, 81, 61, 64,
2804], [103, 49, 51, 45, 48, 55, 59, 46, 80, 71, 42, 50, 2335], [76, 33, 33, 47, 32, 26, 36, 33,
46, 33, 52, 50, 1540], [68, 30, 29, 37, 34, 39, 41, 40, 45, 35, 40, 34, 1570], [96, 56, 65, 52,
71, 62, 52, 53, 61, 48, 55, 67, 2227], [112, 104, 108, 94, 90, 98, 95, 98, 98, 92, 95, 95,
3949], [118, 53, 67, 62, 63, 47, 58, 54, 74, 79, 66, 56, 2386], [106, 59, 56, 64, 40, 39, 55, 52,
60, 60, 50, 71, 2212], [80, 38, 39, 48, 45, 39, 40, 51, 54, 53, 53, 46, 1669], [126, 80, 80, 69,
83, 75, 85, 85, 94, 76, 74, 75, 3073], [96, 74, 66, 63, 77, 59, 59, 82, 66, 82, 67, 63, 2558],
[119, 79, 90, 104, 88, 85, 95, 80, 103, 83, 116, 98, 3488], [83, 55, 43, 52, 56, 55, 48, 51, 61,
54, 42, 49, 1791], [116, 81, 82, 70, 82, 74, 68, 70, 82, 73, 78, 94, 2658], [102, 50, 68, 59, 60,
65, 63, 58, 56, 49, 61, 68, 2026], [107, 83, 64, 83, 88, 69, 83, 76, 90, 97, 83, 83, 2864], [116,
89, 73, 83, 74, 69, 93, 86, 79, 95, 76, 80, 2655], [80, 55, 47, 30, 41, 48, 48, 46, 56, 54, 47,
40, 1522], [82, 31, 26, 26, 27, 27, 26, 39, 32, 31, 27, 27, 864], [98, 39, 54, 64, 51, 53, 36, 57,
48, 49, 45, 58, 1798], [55, 21, 18, 26, 25, 29, 22, 17, 24, 25, 24, 17, 599], [111, 82, 73, 84,
87, 77, 79, 91, 90, 80, 95, 79, 3100], [56, 24, 27, 19, 24, 26, 17, 17, 29, 25, 24, 27, 720], [95,

52, 52, 37, 49, 54, 43, 66, 44, 44, 42, 54, 1849], [65, 21, 23, 20, 27, 25, 15, 20, 24, 24, 30, 10, 710], [65, 25, 26, 31, 23, 26, 20, 24, 34, 24, 26, 30, 915], [65, 26, 25, 21, 27, 25, 24, 19, 37, 33, 31, 38, 844], [87, 40, 42, 49, 57, 48, 35, 51, 60, 60, 57, 45, 1747], [62, 26, 27, 20, 30, 35, 29, 23, 24, 26, 30, 21, 748], [60, 20, 24, 27, 30, 29, 22, 32, 28, 18, 26, 33, 762], [55, 23, 18, 22, 23, 19, 20, 27, 24, 16, 26, 23, 536], [75, 27, 31, 22, 33, 22, 24, 26, 16, 30, 34, 37, 717], [70, 27, 28, 21, 26, 38, 17, 23, 29, 26, 32, 39, 731]]}

Conclusion: Les longs temps d'attente obtenus montrent le défi que représente le passage à la voiture électrique. On pourrait penser à augmenter les aires de service ou bien promouvoir davantage les transports en commun et le covoiturage.

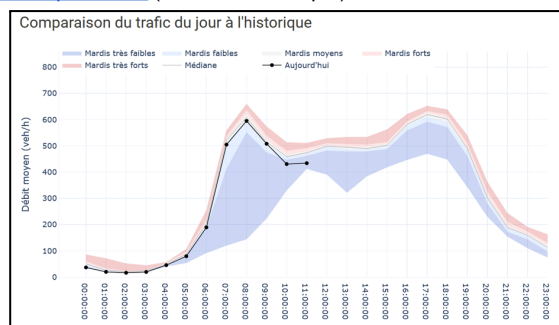
Sources

- [Ministère de la Transition écologique \(trafic journalier sur l'A6\)](#)



Ci-dessus est un histogramme obtenu à partir du jeu de données. En abscisse, ce sont les numéros des sections de Paris vers Lyon. Nb_v est le nombre de voitures comptées sur la section (le ratio voitures/poids lourds a été pris en compte).

- Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement :
 - o [trafic heure par heure](#) (en Loire-Atlantique)



- o [sur l'année](#)
- Statista :
 - o [longueur moyenne du trajet sur l'autoroute](#)
 - o [distance parcourue pour se rendre sur le lieu de vacances](#)
- EDF ([types de bornes de recharge](#))
- Avere-France - Association nationale pour le développement de la mobilité électrique ([types de voitures électriques](#))
- aireservices.fr ([emplacements des aires de repos et des aires de services](#))
- automobile-propre.com ([autonomie des voitures](#))

