

# 5<sup>e</sup> Forum Énergie

## Tramway et énergie

Jean-Marc Allenbach, professeur HES

Fabien Vannel, professeur HES



30.01.2018



L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

# Plan

- hepia, une école d'ingénieur au service de la mobilité
- EnergiTram, une recherche de réduction de l'énergie
- ... Le système de collecte de données
- ... La dynamique d'un tramway
- ... L'énergie de déplacement du tramway
- ... Le mode de conduite et la consommation
- ... L'énergie de freinage
- ... La climatisation et le chauffage
- Les potentielles économies sur des bus thermiques

# hepia, une haute école d'ingénierie

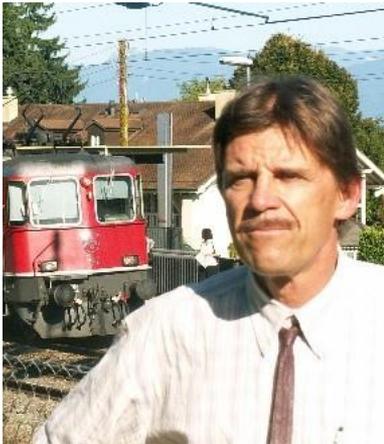
- hepia fait partie du réseau des hautes école de la HES-SO
- 9 filières
- 4 instituts de recherche
- 1000 étudiants



h e p i a  
Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

## hepia - Groupe de compétence en transports et éco-mobilité

- Groupe de plusieurs professeurs, chercheurs et ingénieurs à hepia
- Collaboration avec des groupes internationaux spécialisés dans les transports et mobilité



**Prof. J.-M. Allenbach**

- Traction électrique
- Dynamique véhicules



**Prof. Dr. F. Vannel**

- Electronique embarquée
- Informatique
- Eco-mobilité



**Ing. C. Abegg**

- Electronique embarquée
- Informatique
- Confort passagers



**Ing. J. Antezana**

- Modélisation mathématique
- Analyses énergétiques

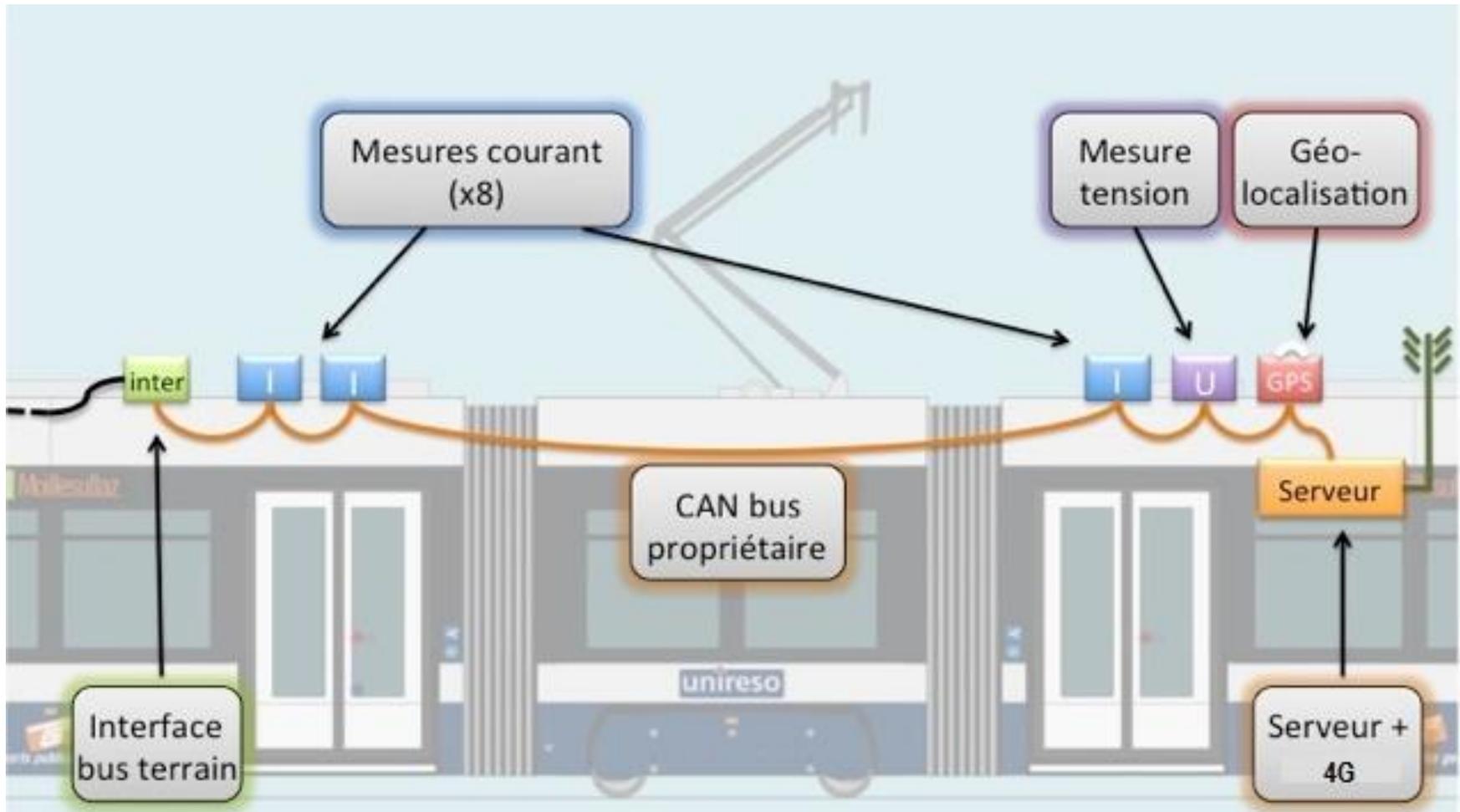
# hepia, centre de recherche académique

- Différentes méthodes de collaboration:
  - Mandats
    - Exemples:
      - Outil pour la formation à l'écoconduite des chauffeurs
      - Analyse des flux de puissance dans un tramways
      - Analyse du potentiel d'économie de carburant et des consommables par une sensibilisation à l'éco-conduite
  - Projets de recherches (OFT, CTI, projets européens, ...)
  - Groupes de compétences : MOVI+

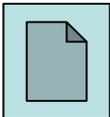
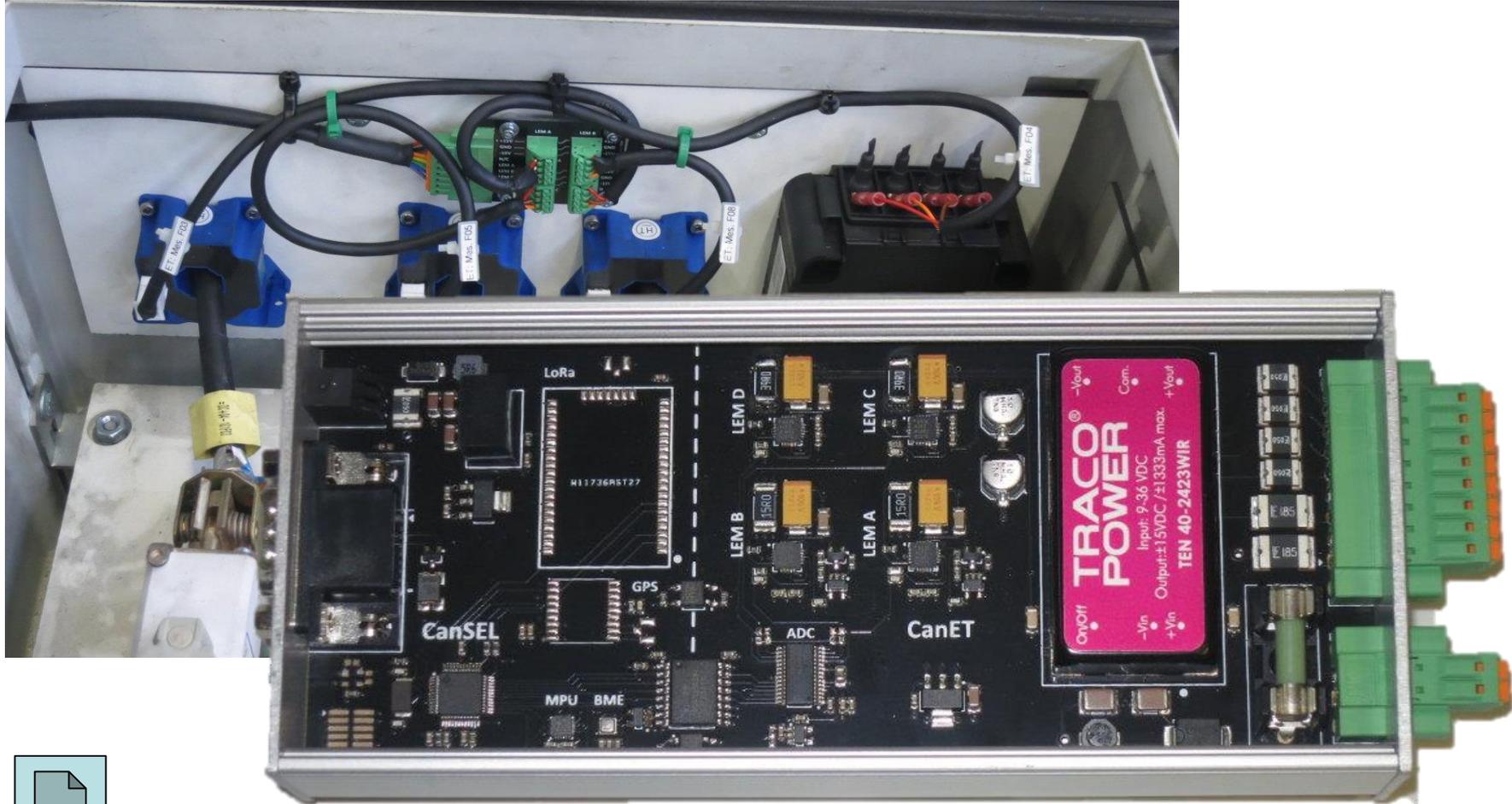
# Analyse énergétique de consommation d'un tramway - TPG

- Système permettant de relever les diverses consommations d'un tramway en service commercial
- Système permettant également d'identifier des potentiels d'économie
  
- Points forts:
  - Enregistrement des paramètres de consommation sur un parcours
  - Géolocalisation
  - Interaction avec les conditions rencontrées par le tram
  - Analyse comparative de plusieurs parcours
  - Système modulaire et démontable

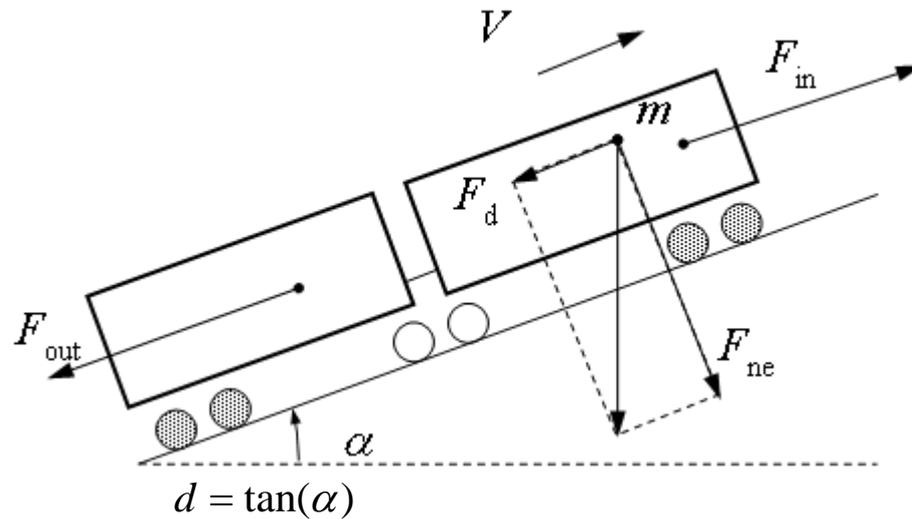
# Un tram instrumenté



# Un tram instrumenté

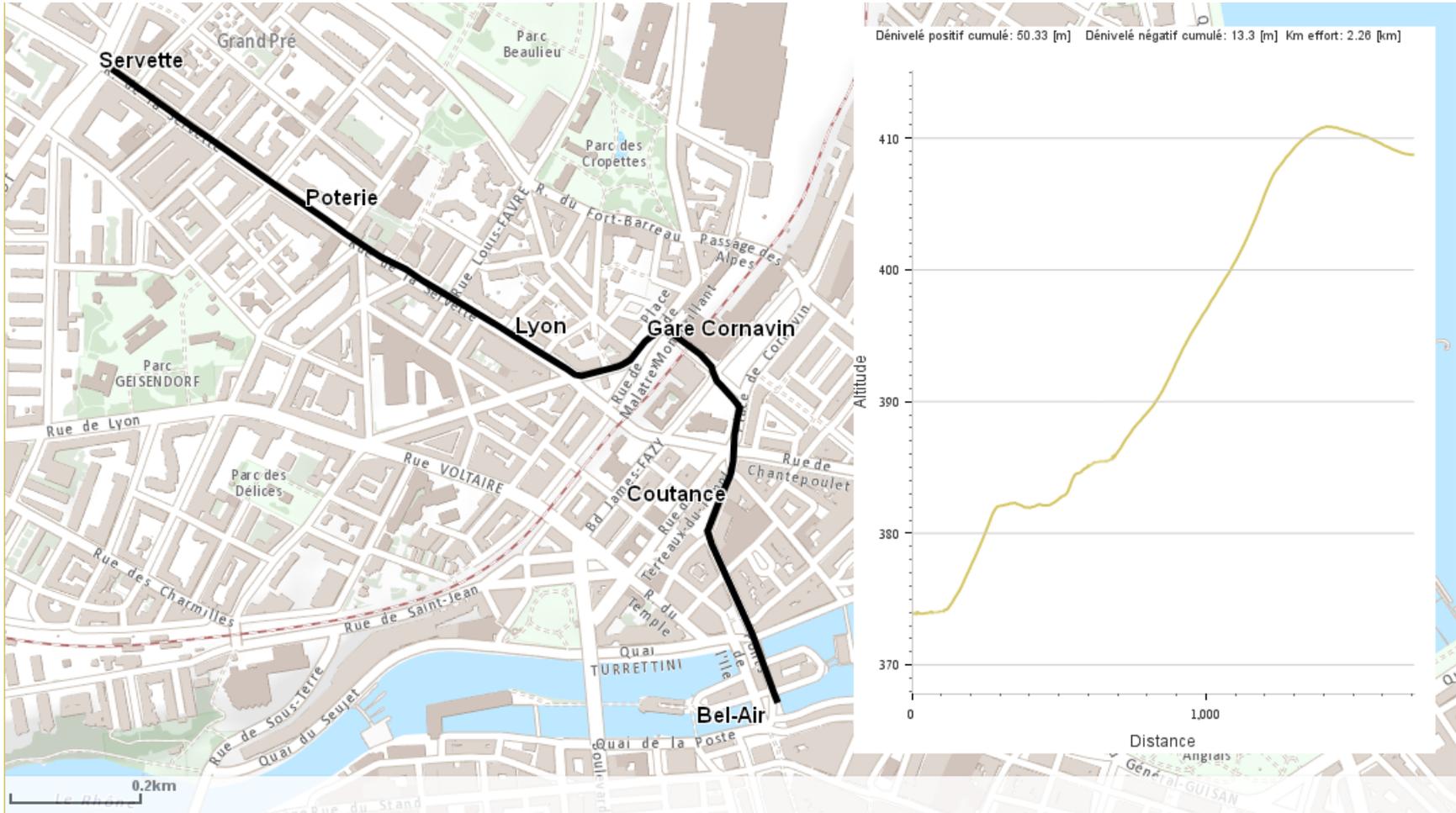


## La dynamique d'un tramway

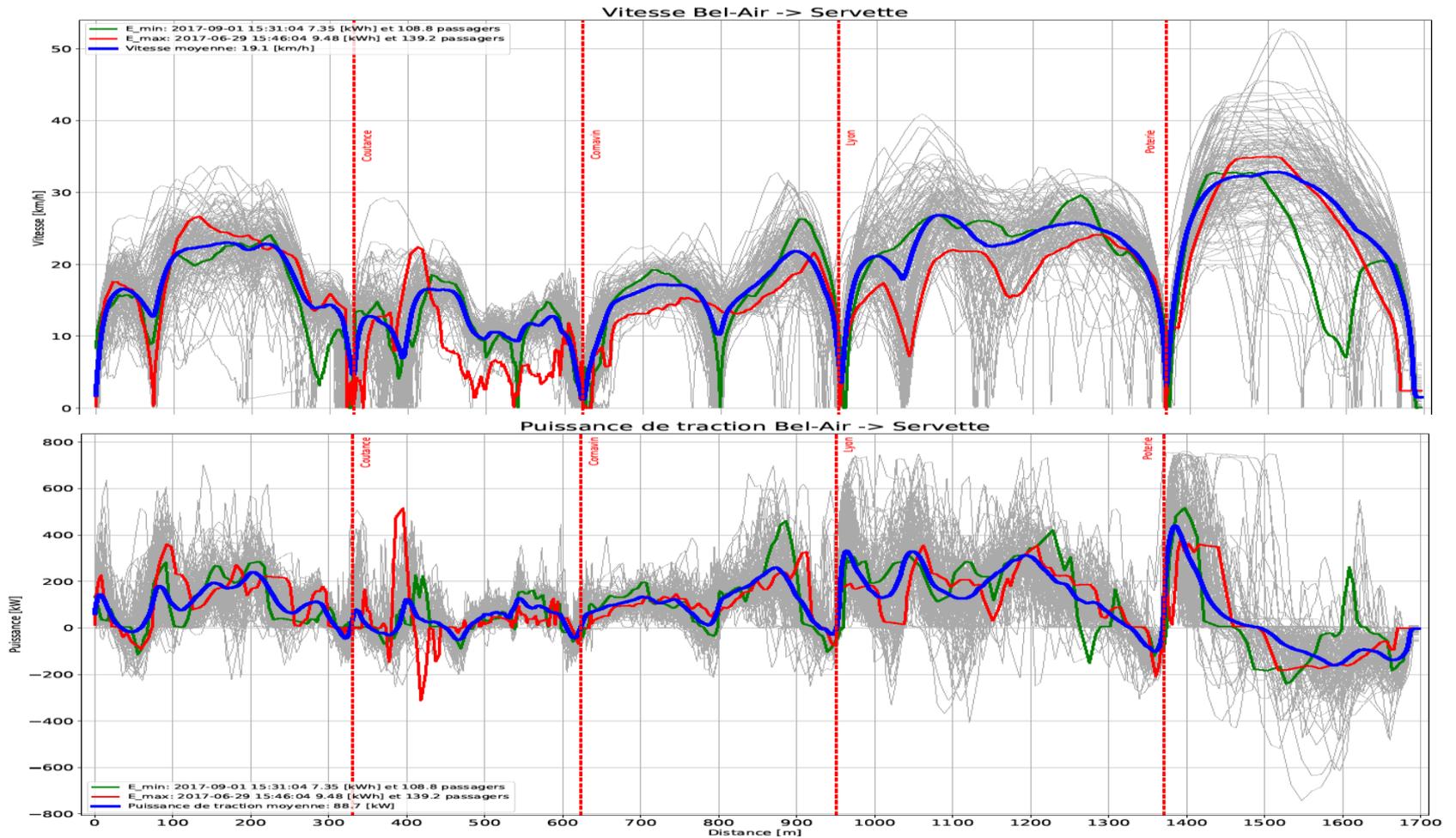


$$m^* \cdot a = Z - B - m \cdot g \cdot d - F_f$$

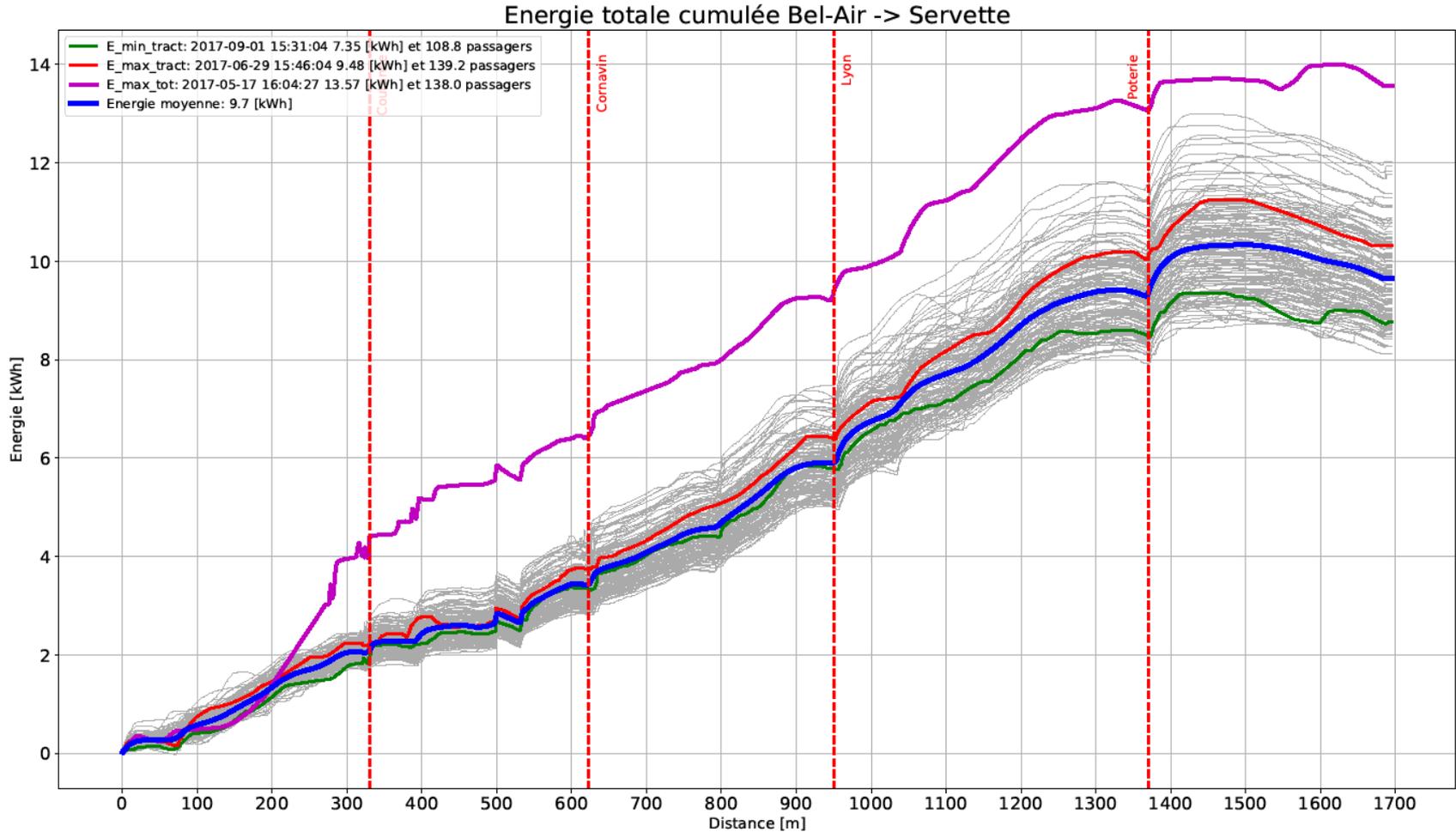
# Consommations variables pour le même parcours Bel-Air – Servette



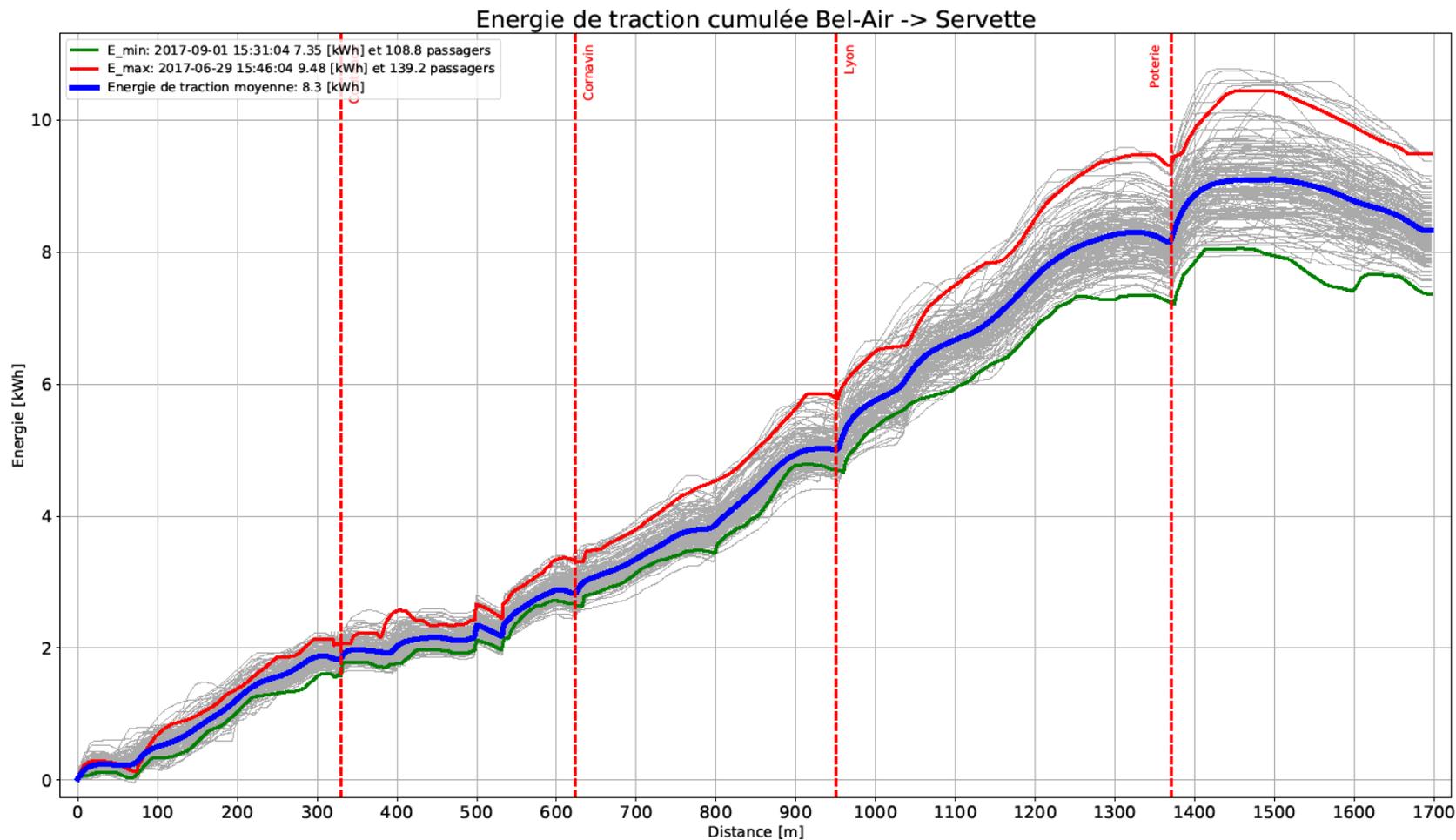
# Consommations variables pour le même parcours Bel-Air – Servette



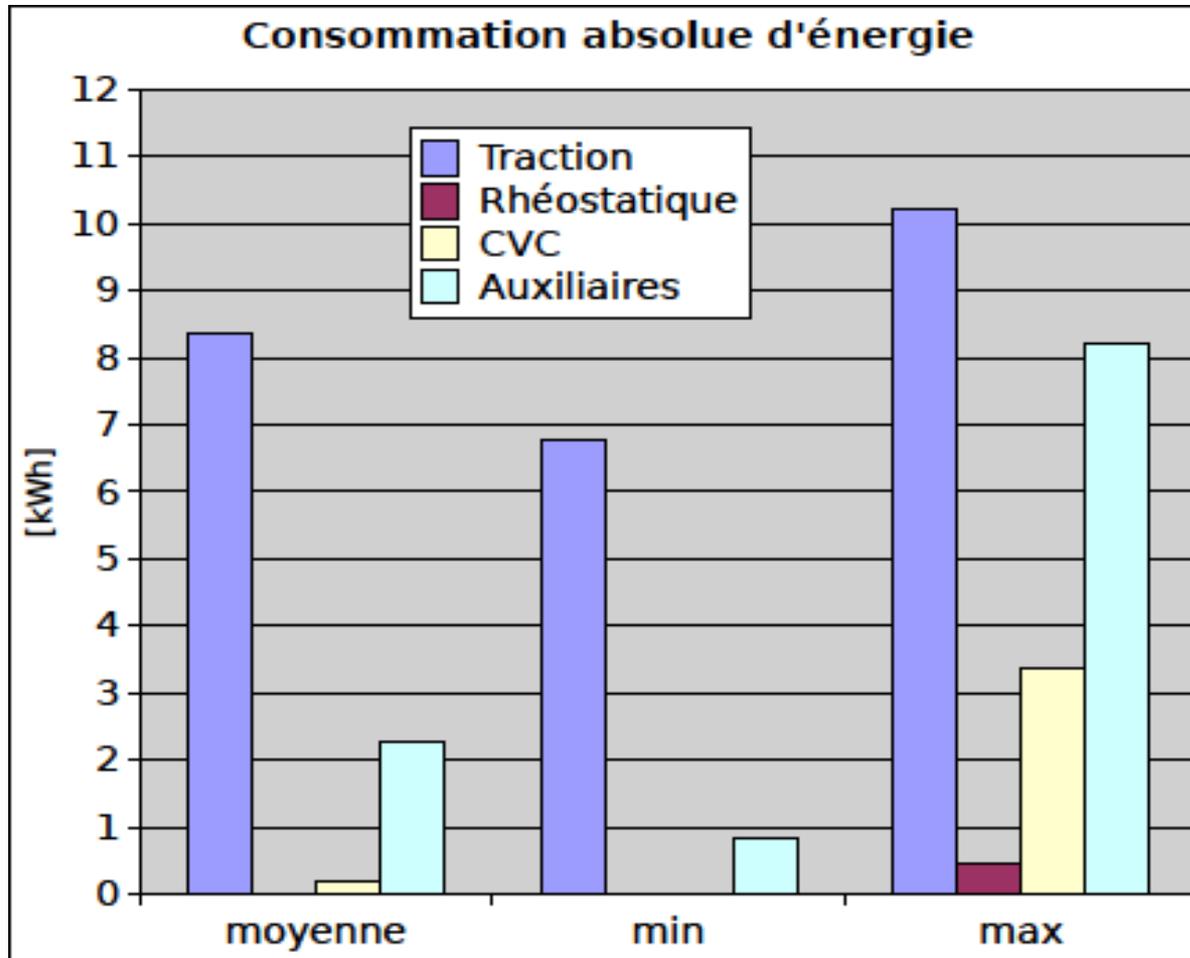
# Consommations variables pour le même parcours Bel-Air – Servette



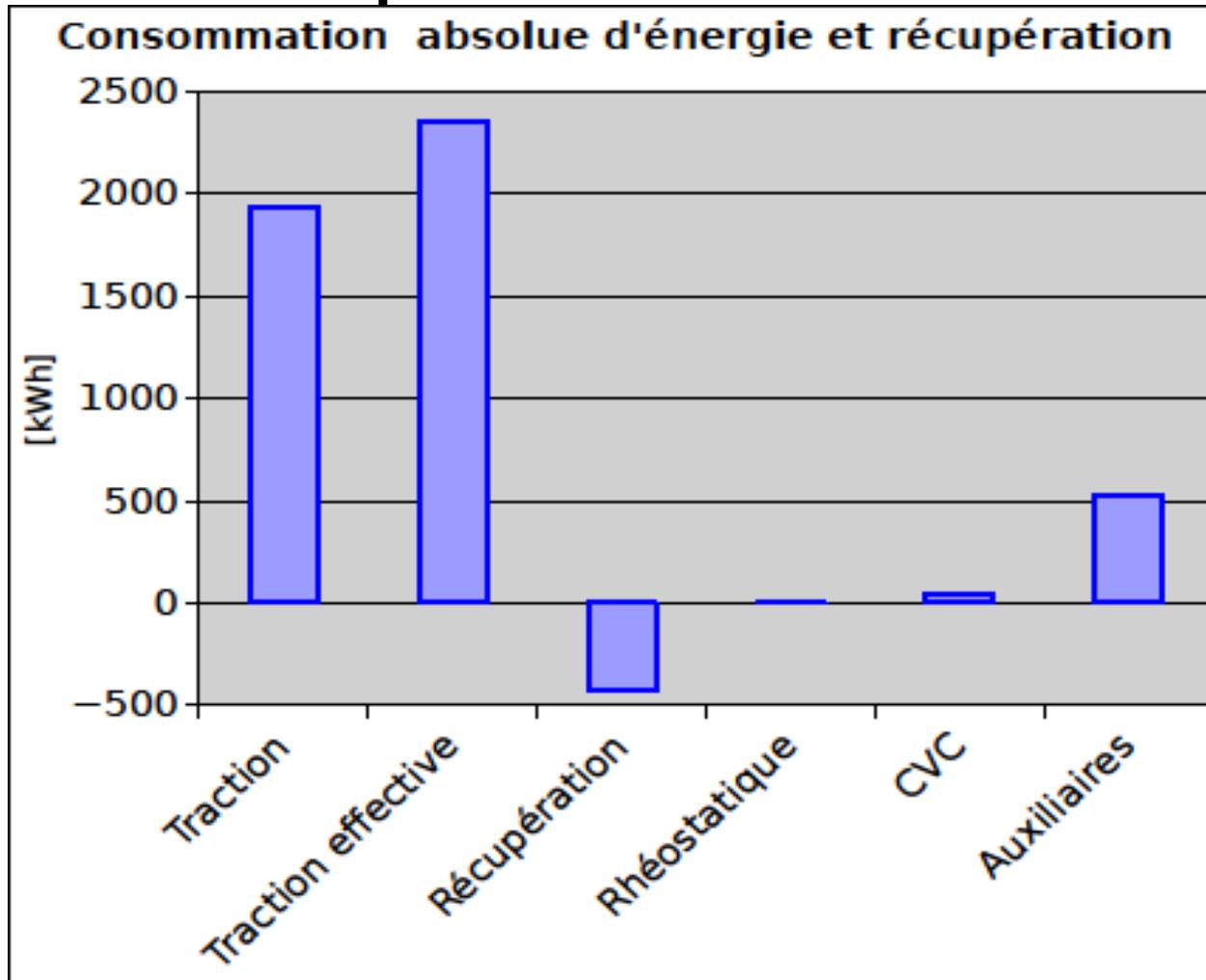
# Consommations variables pour le même parcours Bel-Air – Servette



## Consommations variables pour le même parcours Bel-Air – Servette



## Consommations variables pour le même parcours Bel-Air – Servette

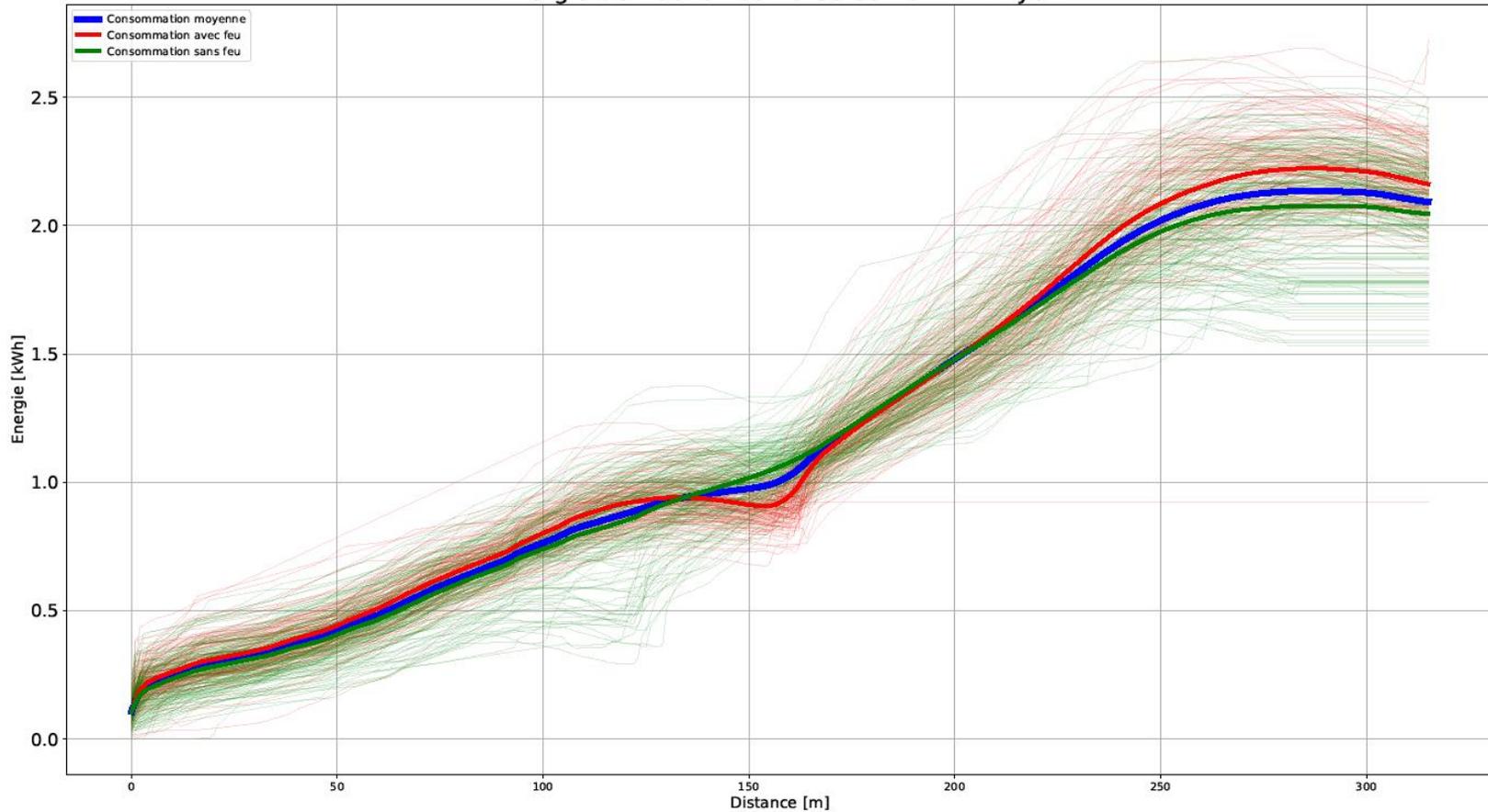


# Consommations variables pour un même parcours: Cornavin - Lyon

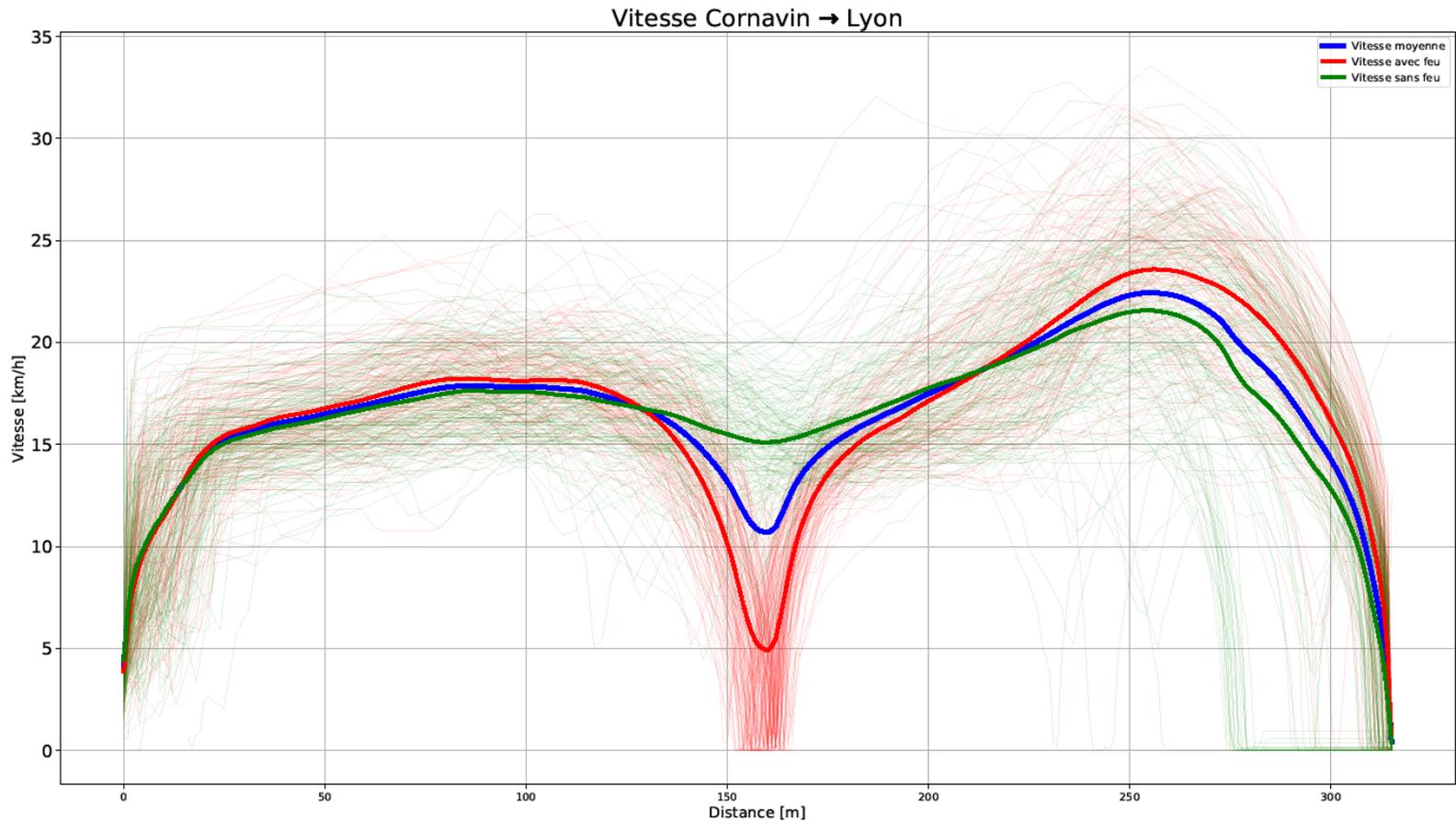


# Consommations variables pour un même parcours: Cornavin - Lyon

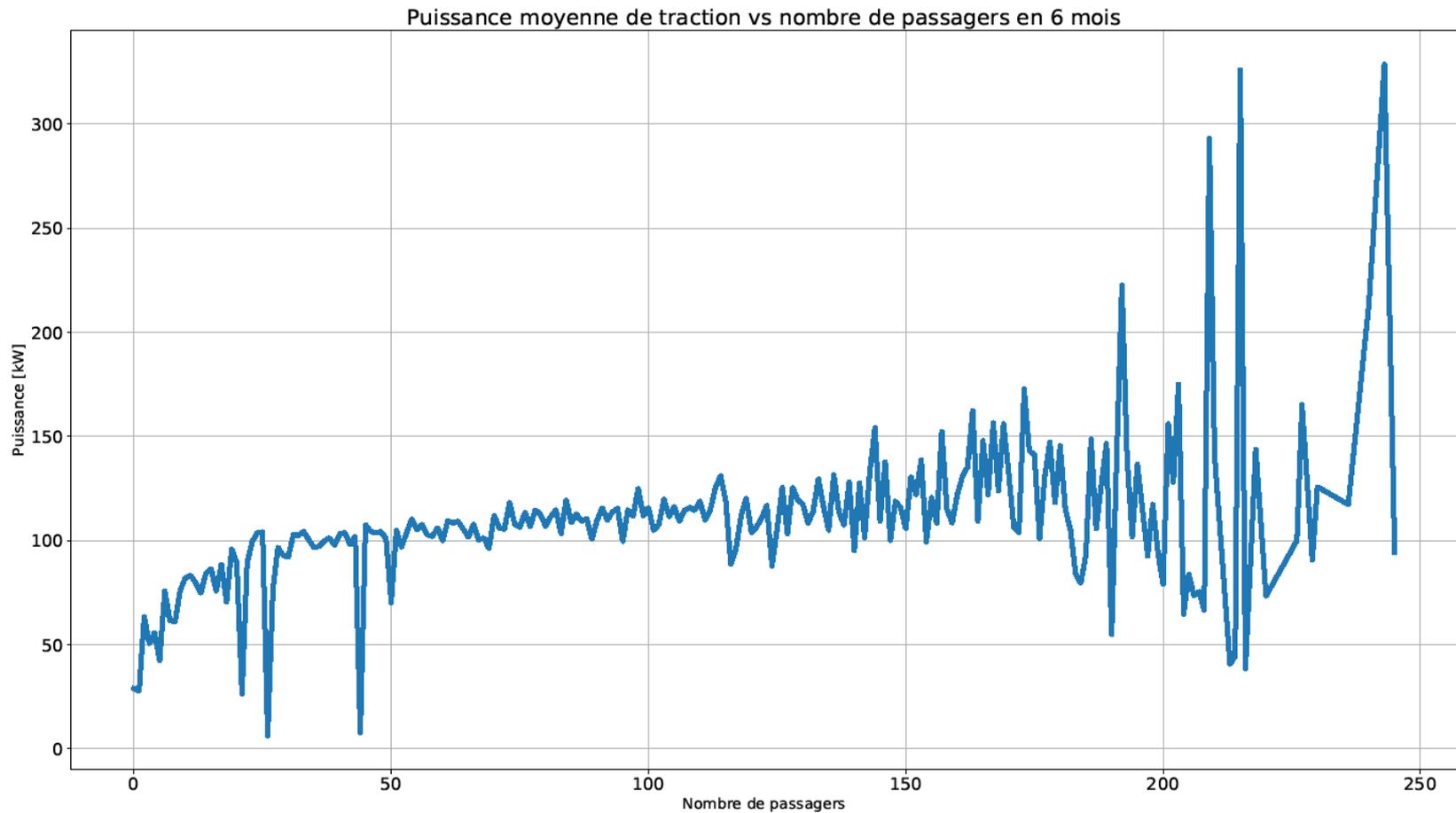
Energie de traction cumulée Cornavin -> Lyon



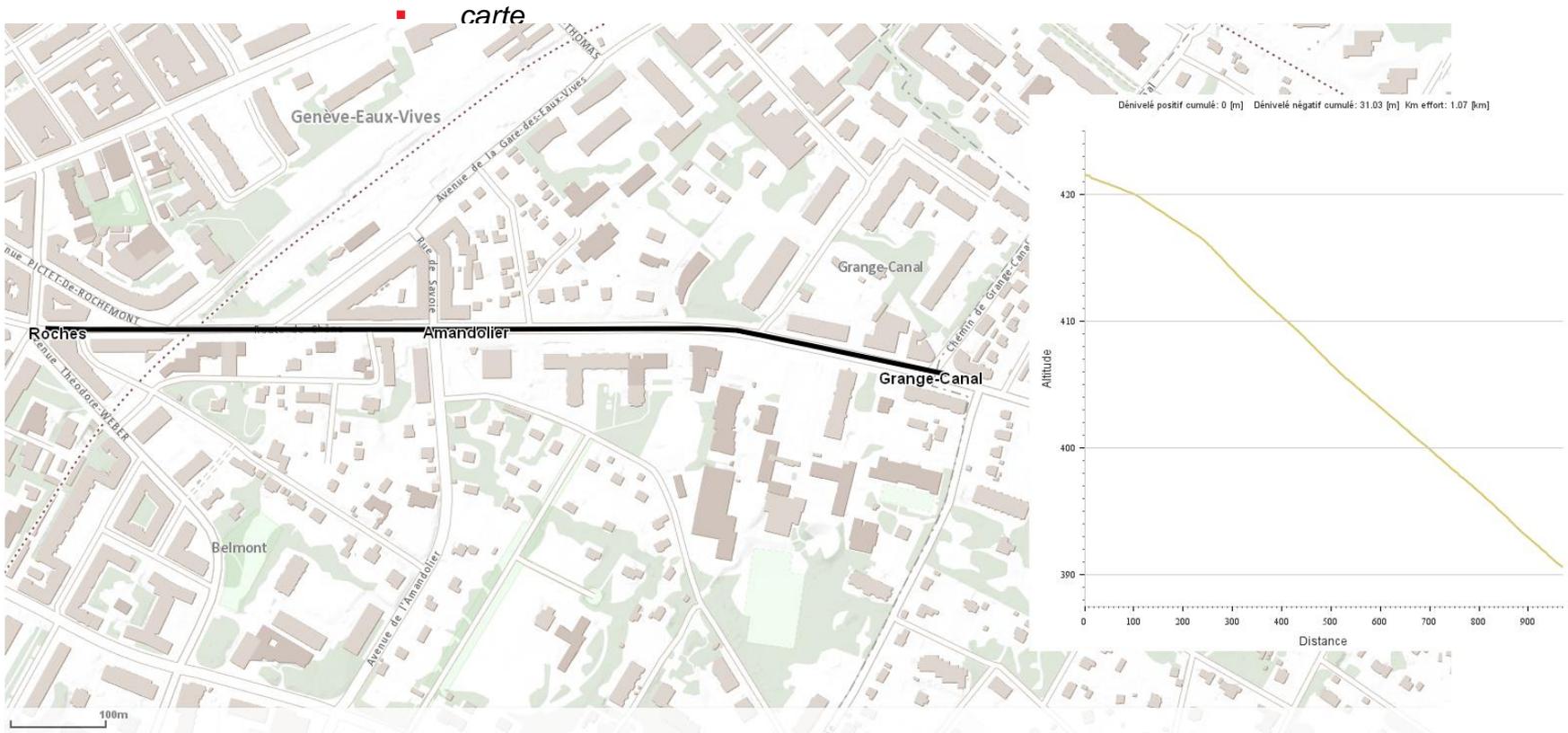
# Consommations variables pour un même parcours: Cornavin - Lyon



# Consommations variables selon la charge d'utilisateurs, tout le réseau

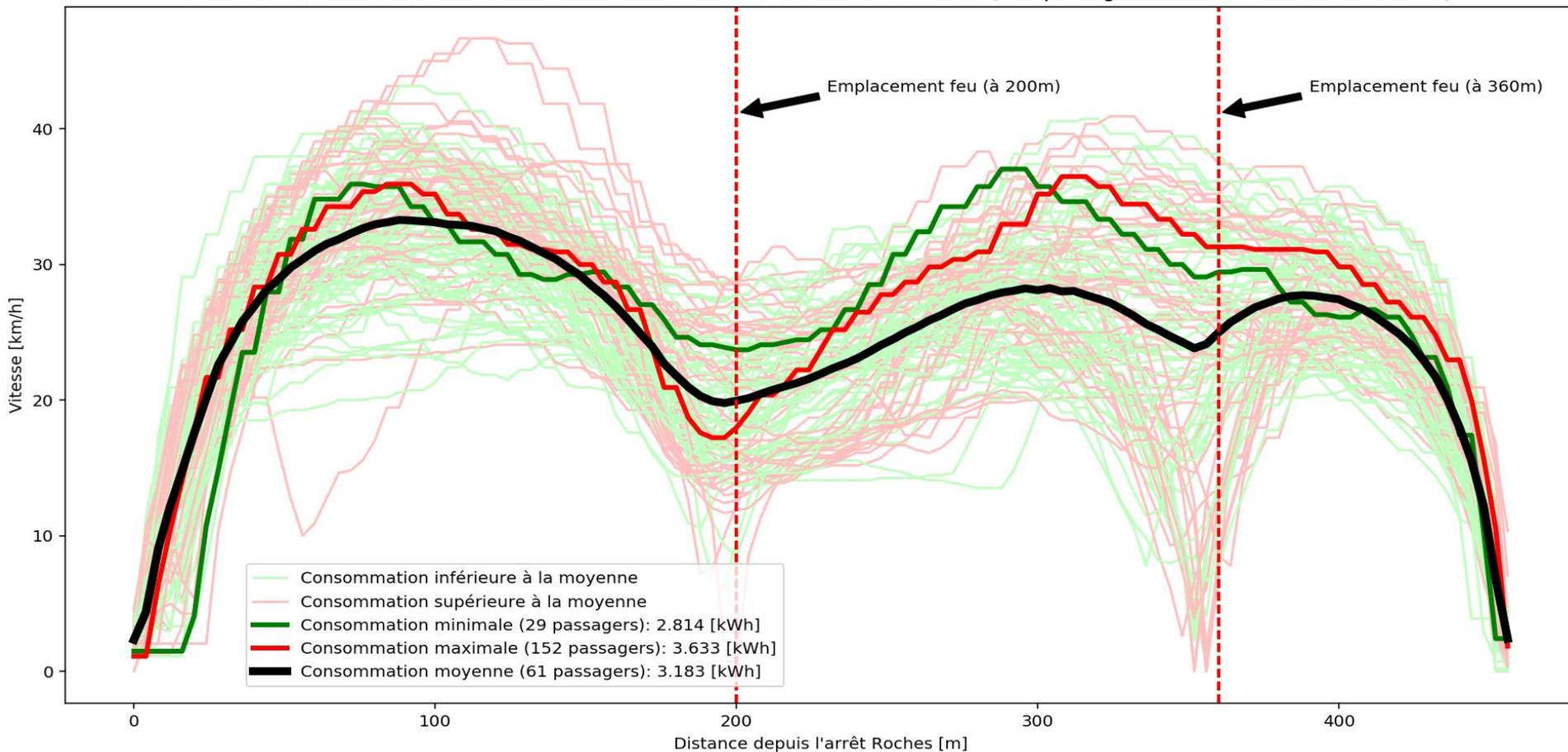


# Consommations variables pour le même parcours Roches - Amandolier



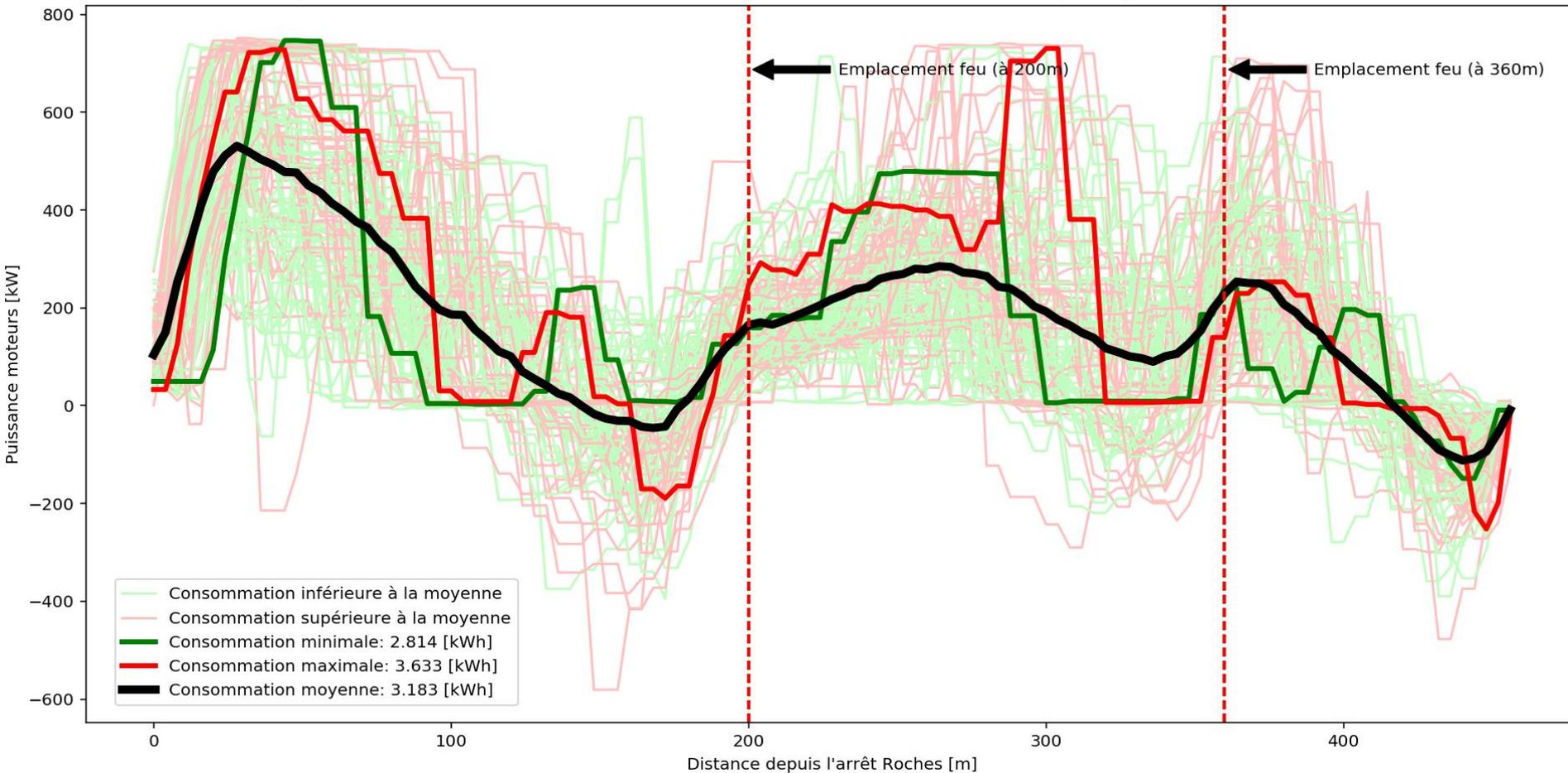
# Consommations variables pour le même parcours Roches - Amandolier

Profils de vitesses entre les arrêts Roches et Amandolier, direction Moillesulaz (110 passages entre avril et novembre 2017)



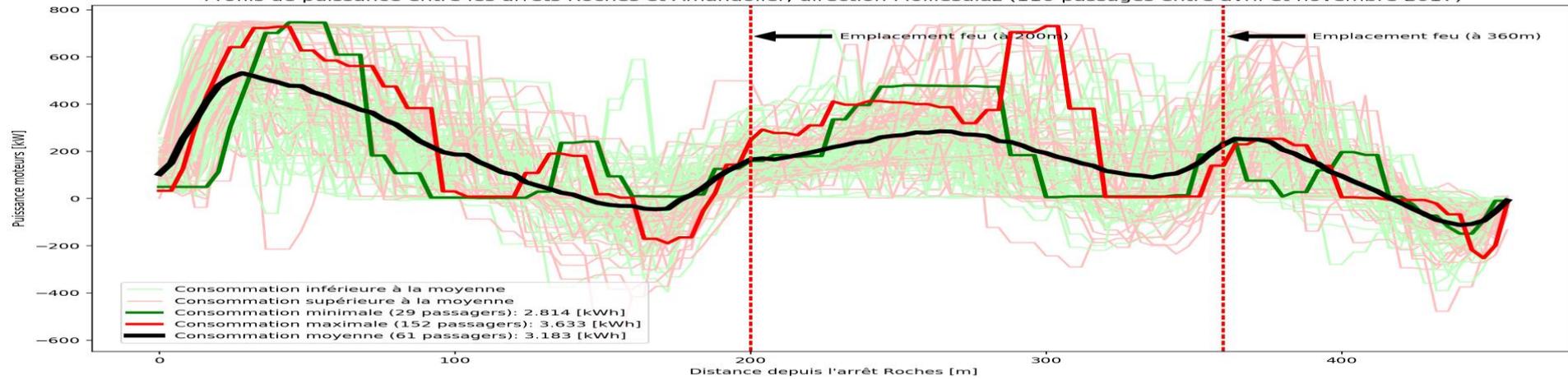
# Consommations variables pour le même parcours Roches - Amandolier

Profils de puissance entre les arrêts Roches et Amandolier, direction Moillesulaz (110 passages entre avril et novembre 2017)

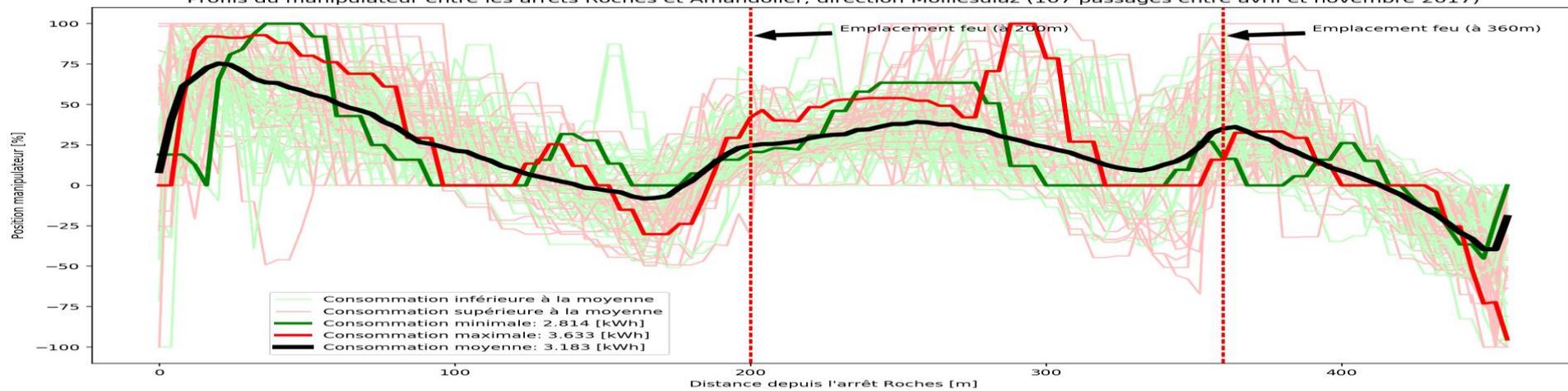


# Consommations variables pour le même parcours Roches - Amandolier

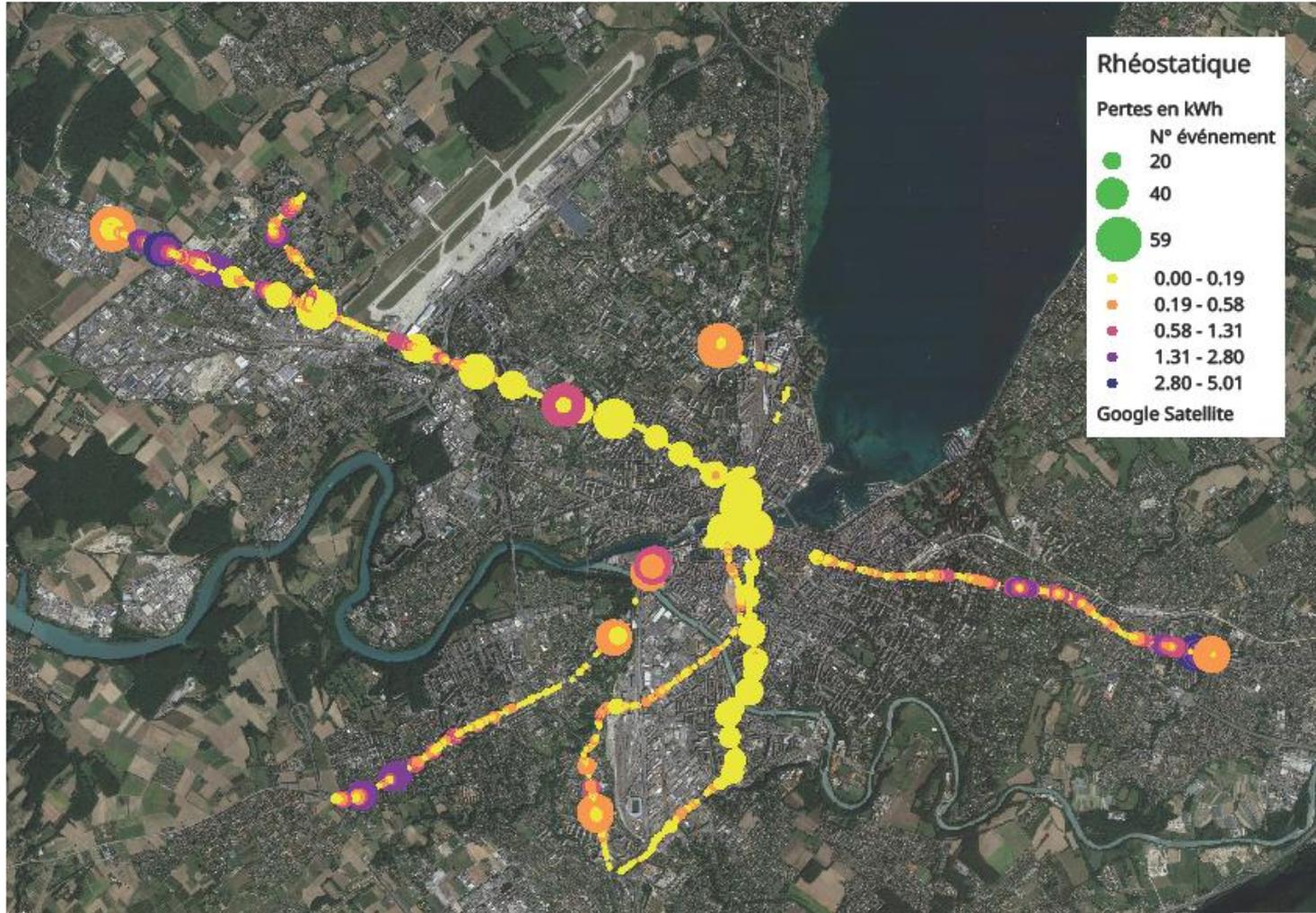
Profils de puissance entre les arrêts Roches et Amandolier, direction Moillesulaz (110 passages entre avril et novembre 2017)



Profils du manipulateur entre les arrêts Roches et Amandolier, direction Moillesulaz (107 passages entre avril et novembre 2017)



# Frein rhéostatique



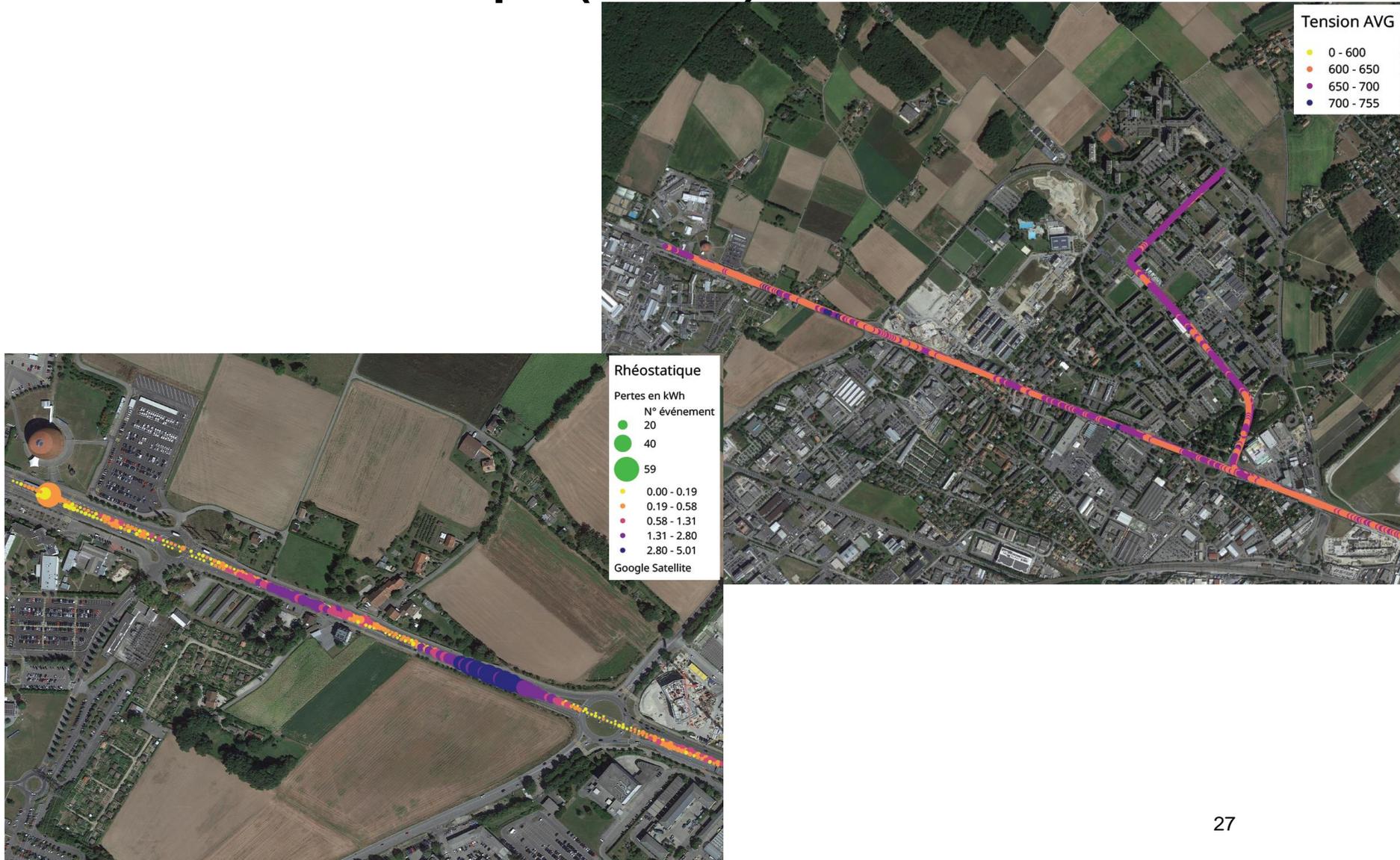
# Frein rhéostatique



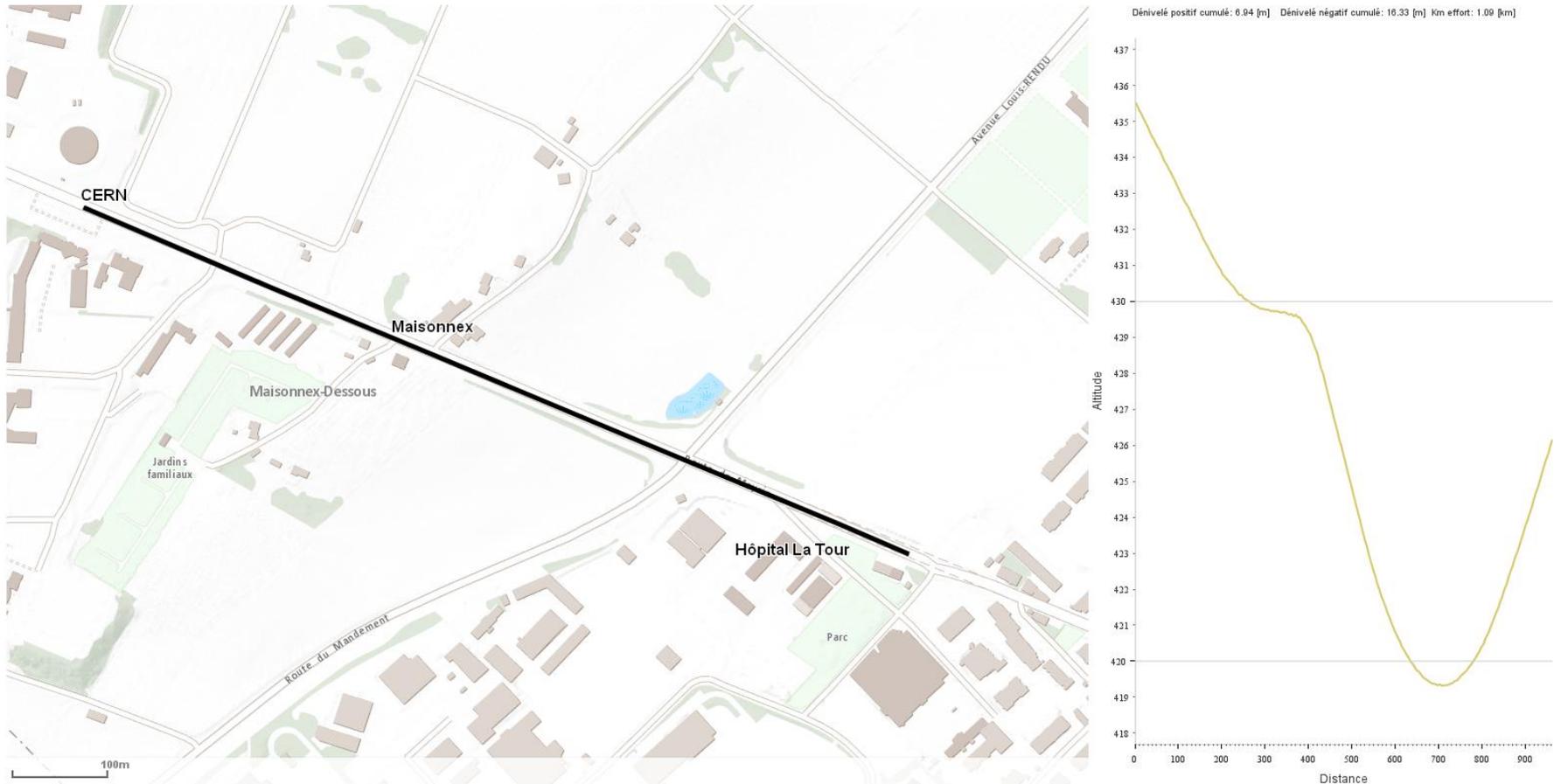
# Frein rhéostatique référé à la tension du réseau



# Frein rhéostatique (détails)

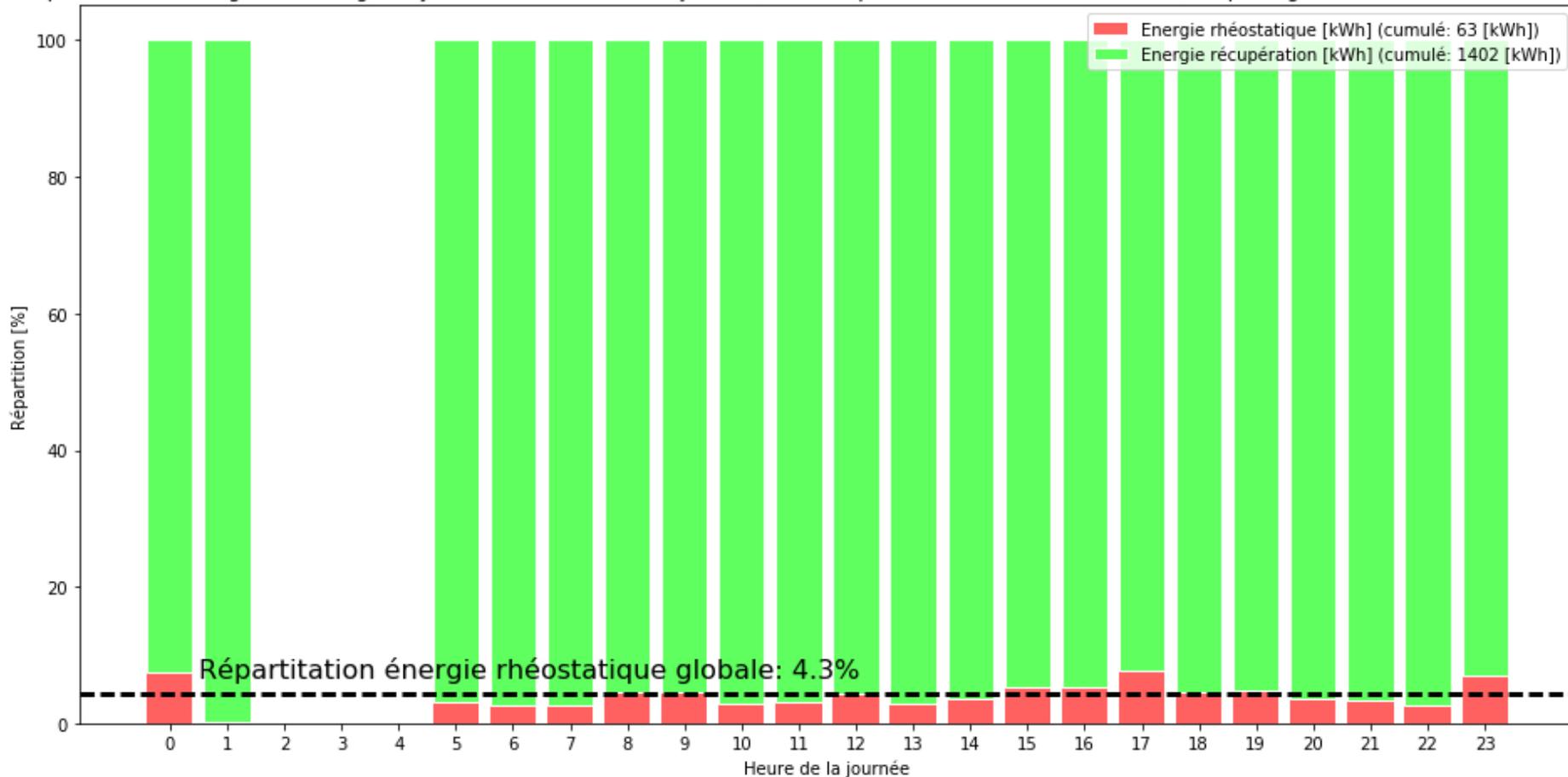


# Consommations variables pour un même parcours: CERN - La Tour



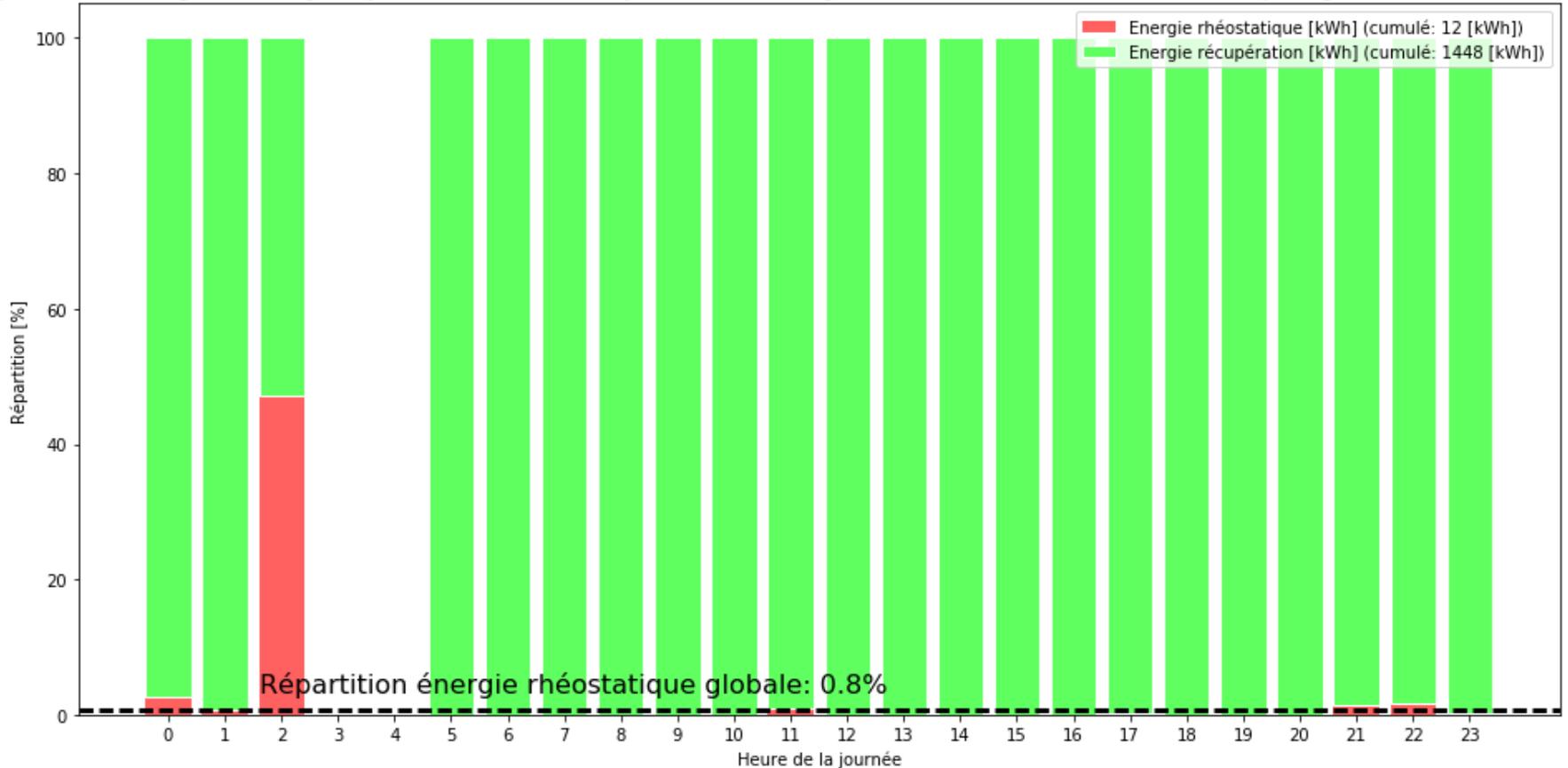
# Consommations variables pour un même parcours: CERN - La Tour

Répartition de l'énergie de freinage moyenne selon l'heure de la journée, entre Hôpital La Tour et CERN et retour (407 passages entre avril et décembre 2017)

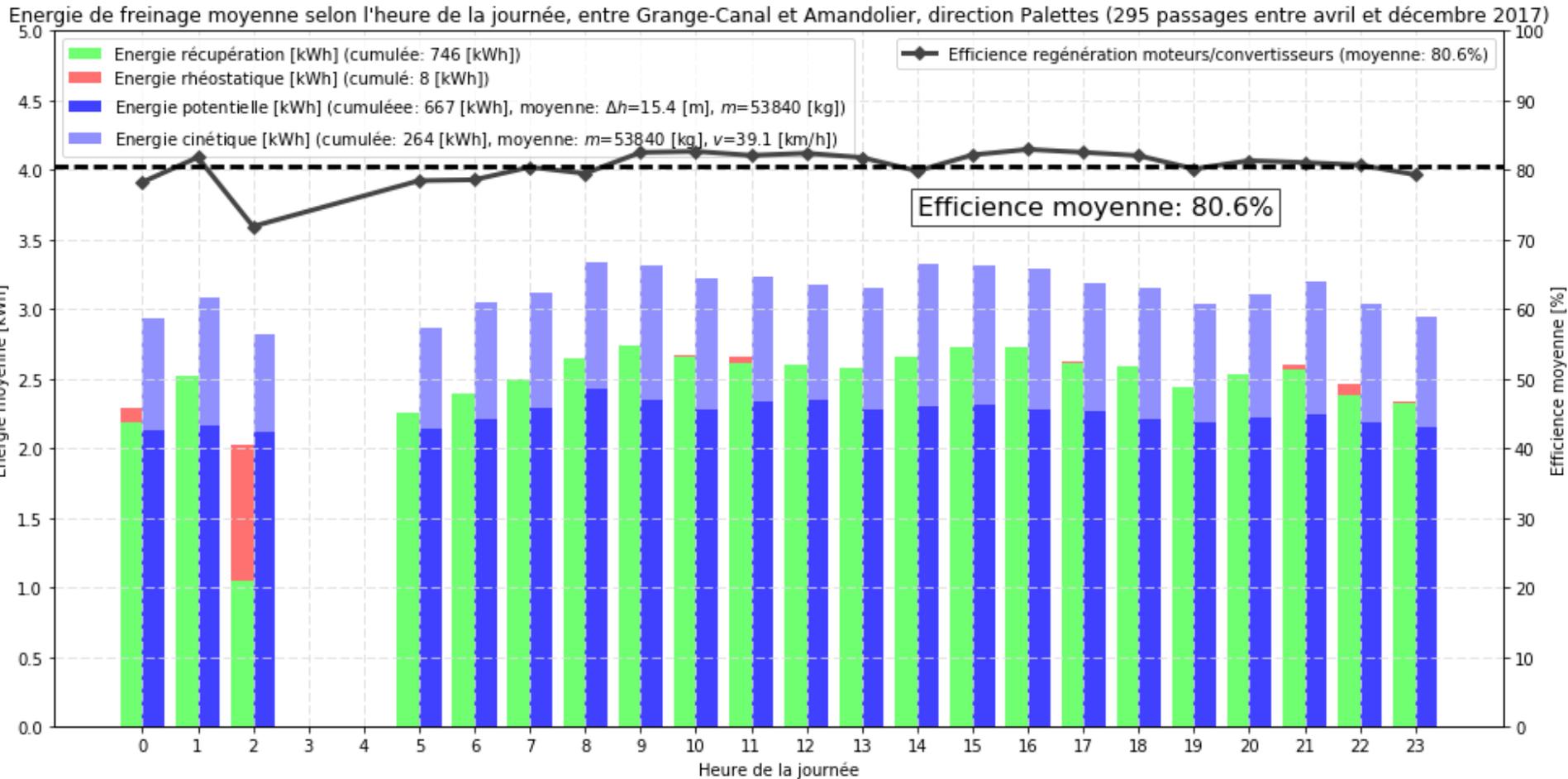


# Consommations variables pour un même parcours: Grange-Canal - Roches

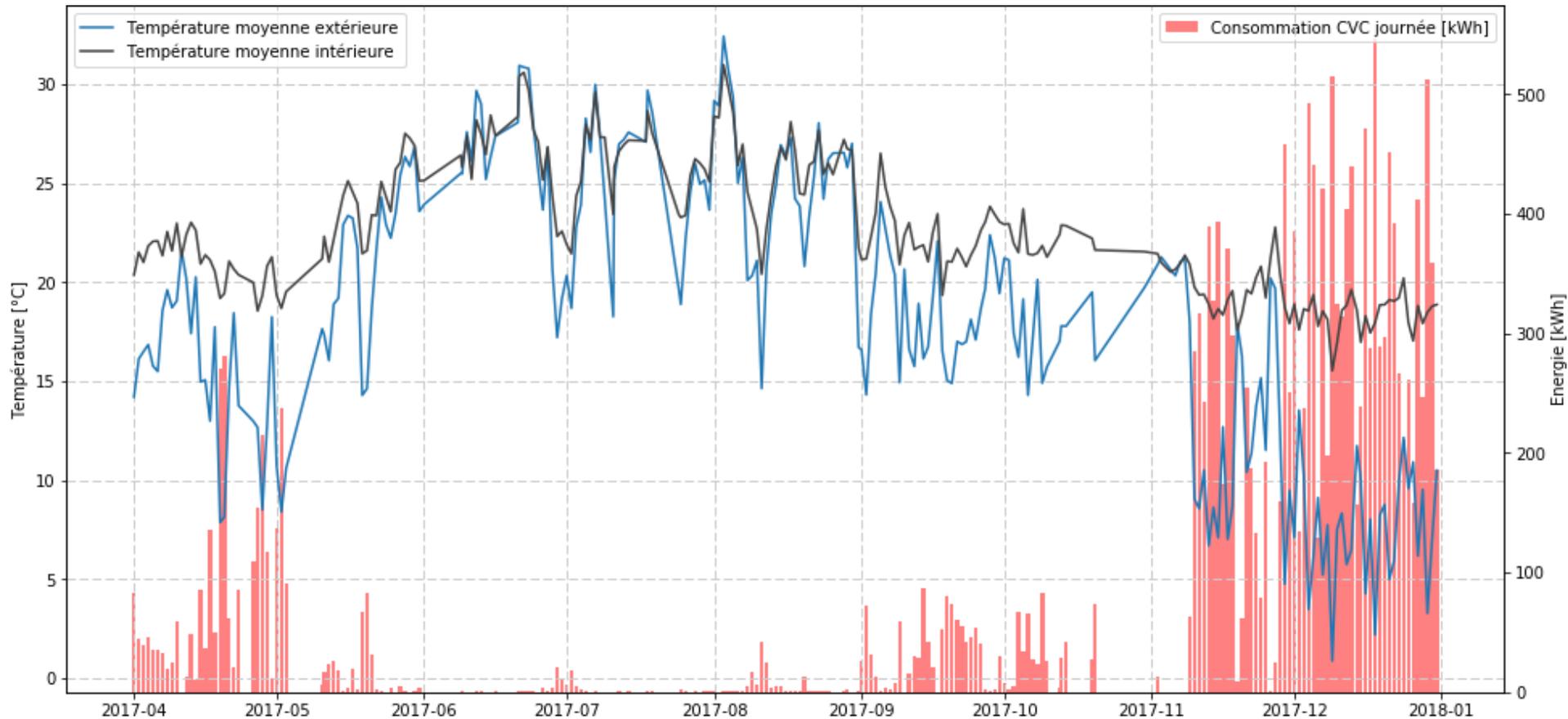
Répartition de l'énergie de freinage moyenne selon l'heure de la journée, entre Grange-Canal et Roches, direction Palettes (306 passages entre avril et décembre 2017)



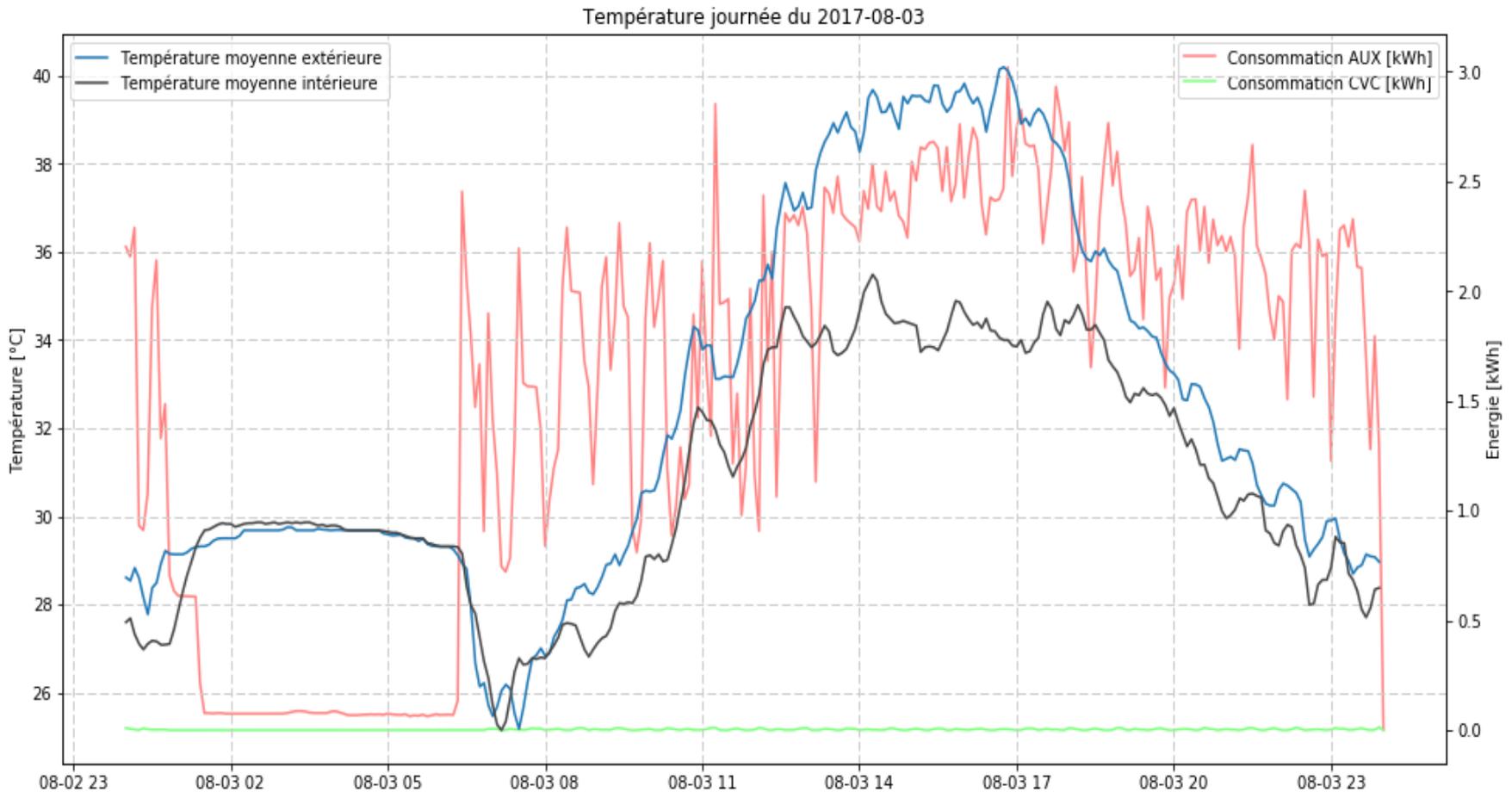
# Effacité de la récupération: Grange-Canal - Amandolier



# Consommations variables selon la température extérieure

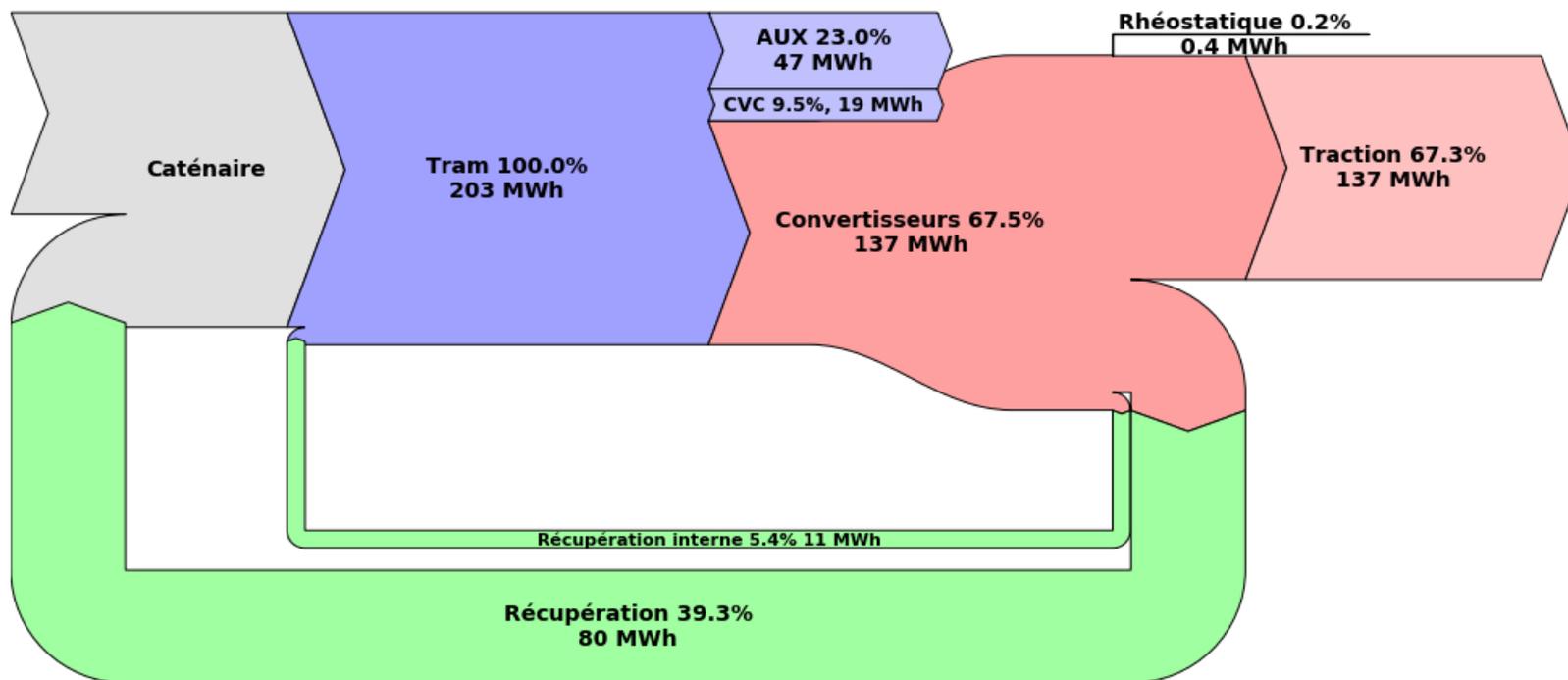


# Consommations variables selon la température extérieure, détail du 3 août



# Conclusion

Répartition globale de l'énergie entre mars et décembre 2017

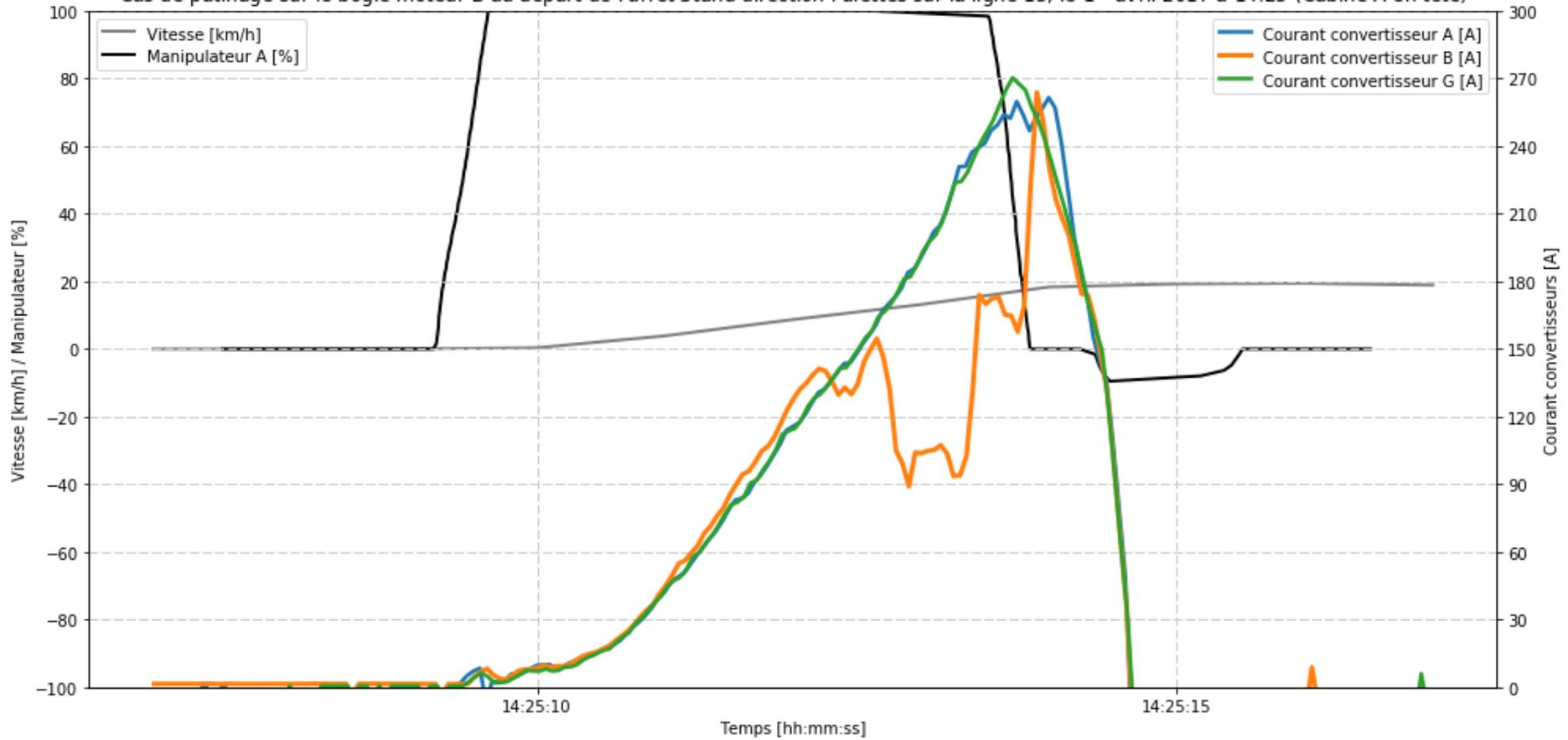


# Conclusion

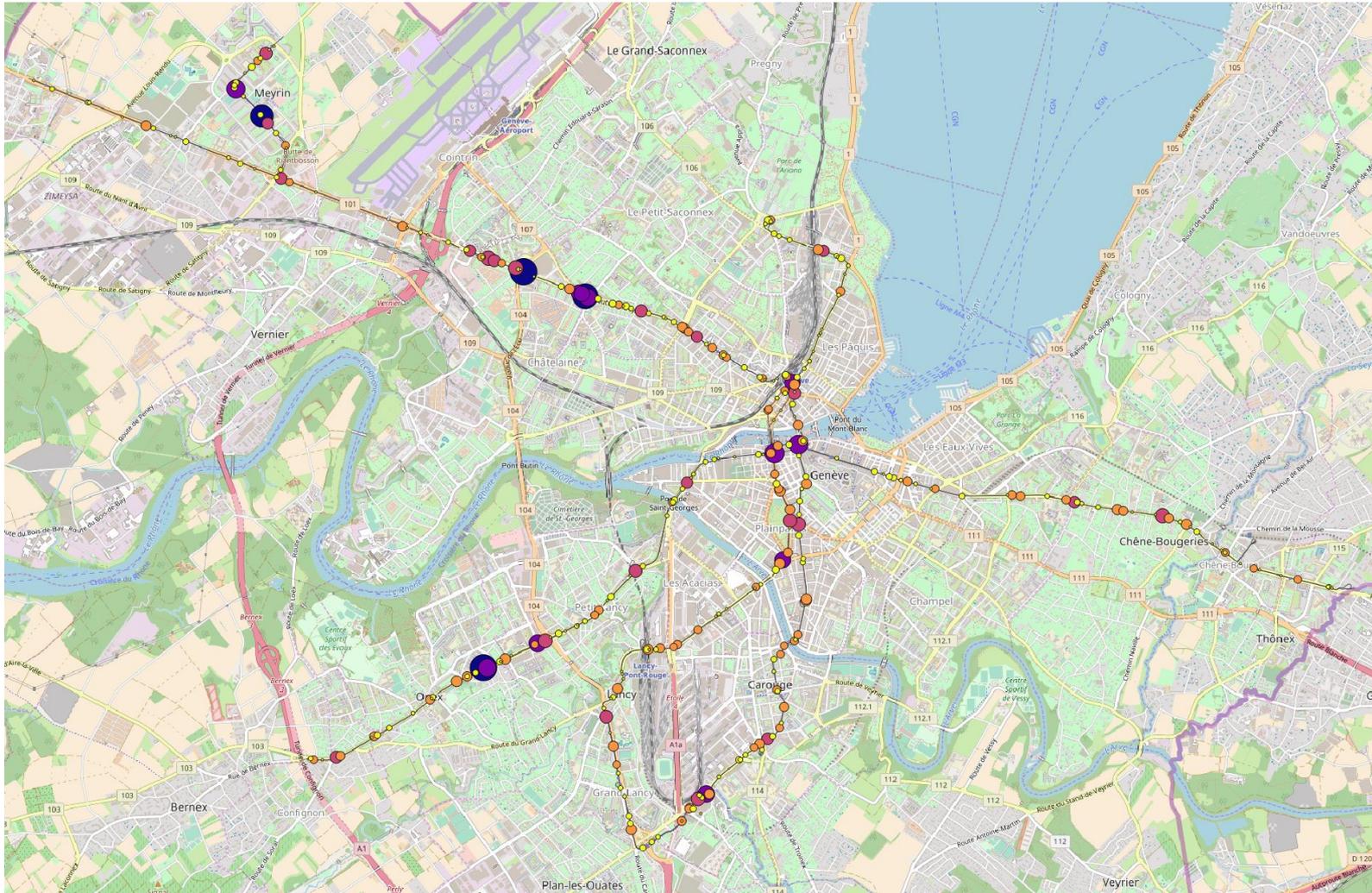
- **Quelques pistes de réflexion**
- Potentiel d'amélioration des **extrémités** de réseau pour mieux récupérer  
Sous-station: abaissement de tension, onduleur ou stockeur  
Réseau: meilleur maillage des secteurs
- Directives pour réduire la «conduite sportive»
- Meilleure gestion des carrefours
- Optimisation du chauffage et de la climatisation

# Patinage

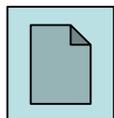
Cas de patinage sur le bogie moteur B au départ de l'arrêt Stand direction Palettes sur la ligne 15, le 1<sup>er</sup> avril 2017 à 14:25 (Cabine A en tête)



# Patinage

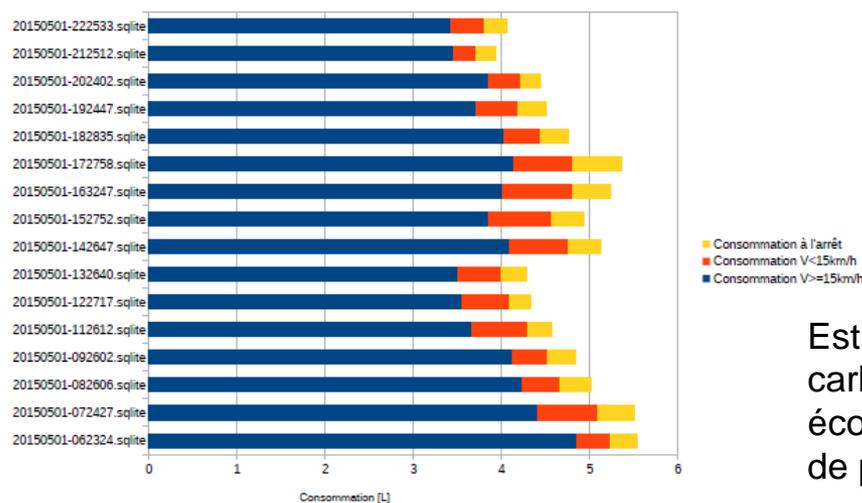


# Le cas du thermique



# Analyses bus thermique menées par hepia

- Parcours Vuadens-Morlon: consommation



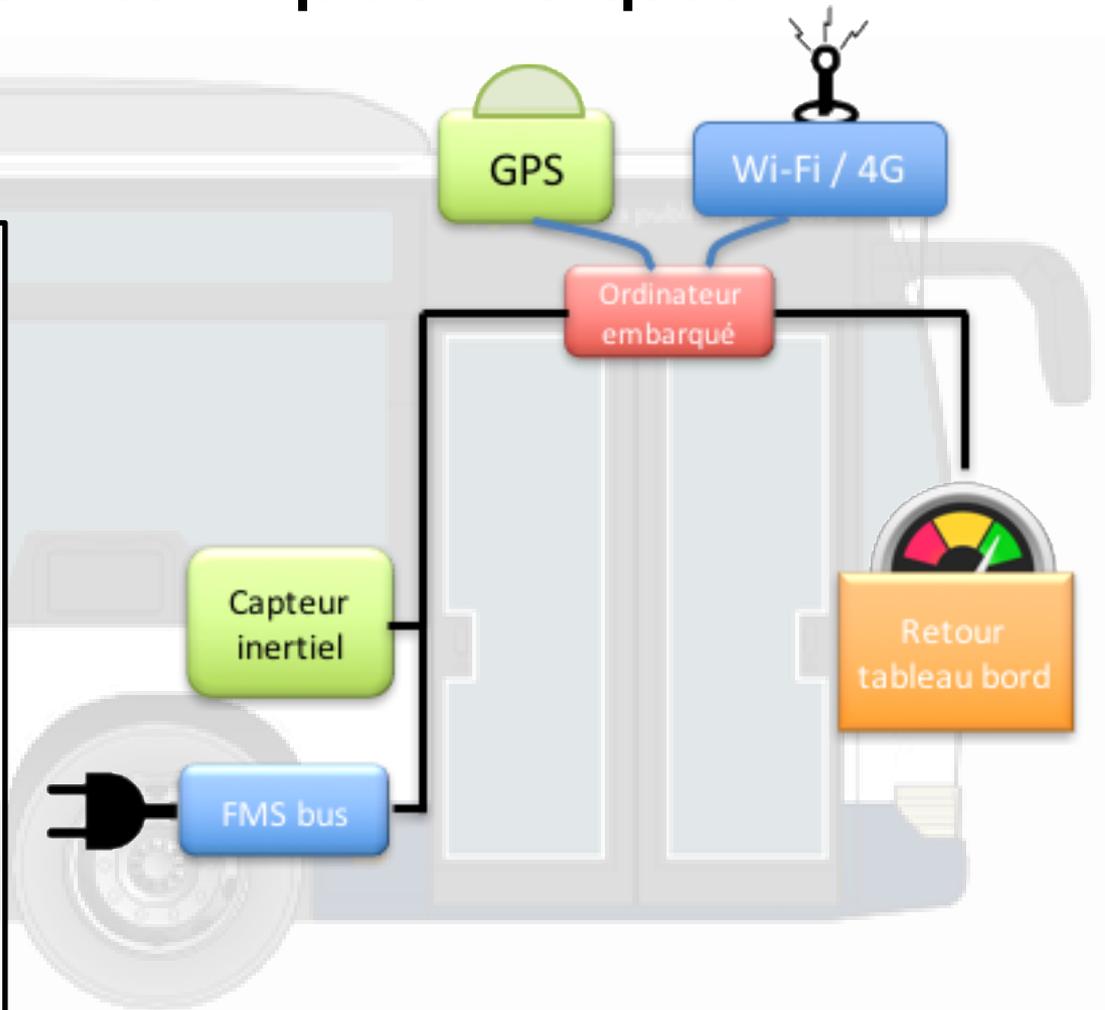
Estimation: 8,8 % de carburant pourrait être économisé sur ce type de parcours

FIGURE 6.2 – Séparation de la consommation selon un seuil de vitesse fixé à 15 km/h

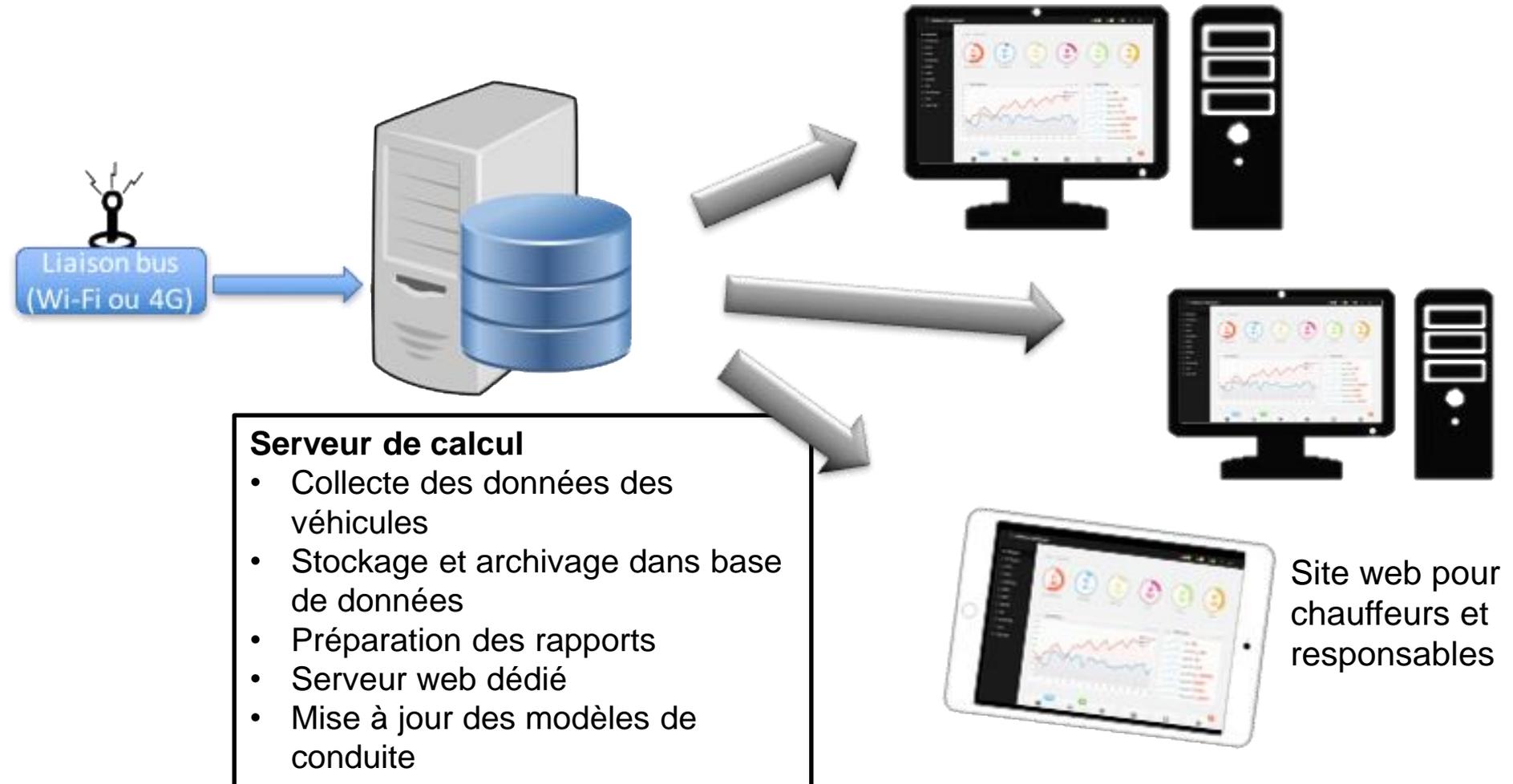
80 % de la consommation s'effectue en déplacement à une vitesse supérieure à 15 km/h  
 → Comparer la consommation à des vitesses supérieures à 15 km/h  
 (comparaison en l/km, car distances non identiques)

## Solution technique embarquée

- Ordinateur embarqué
- Capteurs (accéléromètres, gyroscopes, magnétomètres)
- GPS
- Données du véhicule et moteur (FMS)
- Système de retour d'information conducteur sur tableau de bord
- Interface avec centre informatique en direct par 4G ou en différé par Wi-Fi
- Méthode d'identification du conducteur



# Solution logicielle



## NAVIG



Géraldine Chollet  
Conductrice

Direction

Formateur

Chef de groupe

Chauffeur

### NAVIGATION

Ma journée >

Tous mes parcours >

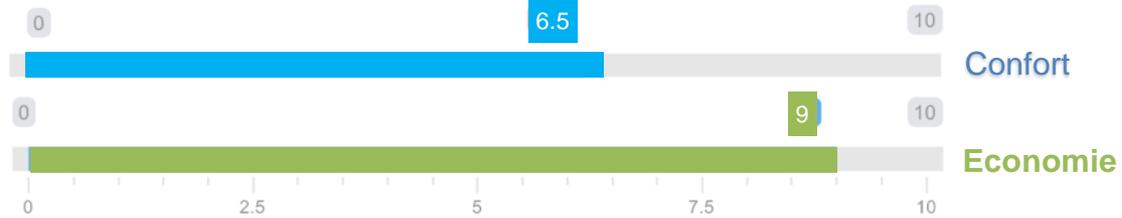
Progression >

Comparaison 14

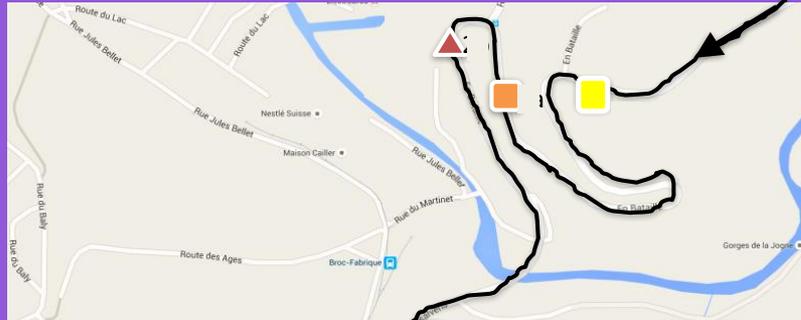
### MORE

Préférences >

## Ma journée



>Vuadens - Morlon // 12h52-13h15 **8** **7.3**



Utilisation insuffisante du ralentisseur  
Par comparaison des temps d'utilisation du frein et du ralentisseur, le système peut détecter si le ralentisseur n'est pas suffisamment utilisé



Délai trop court entre accélérateur et frein

Inconfort dans les courbes

>Morlon - Vuadens // 12h13-12h41 **6.5** **9.5**

>Rulle dépôt - Morlon // 11h58-12h10 **6.5** **6.9**

## NAVIG



Géraldine Chollet  
Conductrice

### NAVIGATION

Ma journée >

Tous mes parcours >

Progression >

Comparaison 14

### MORE

Préférences >

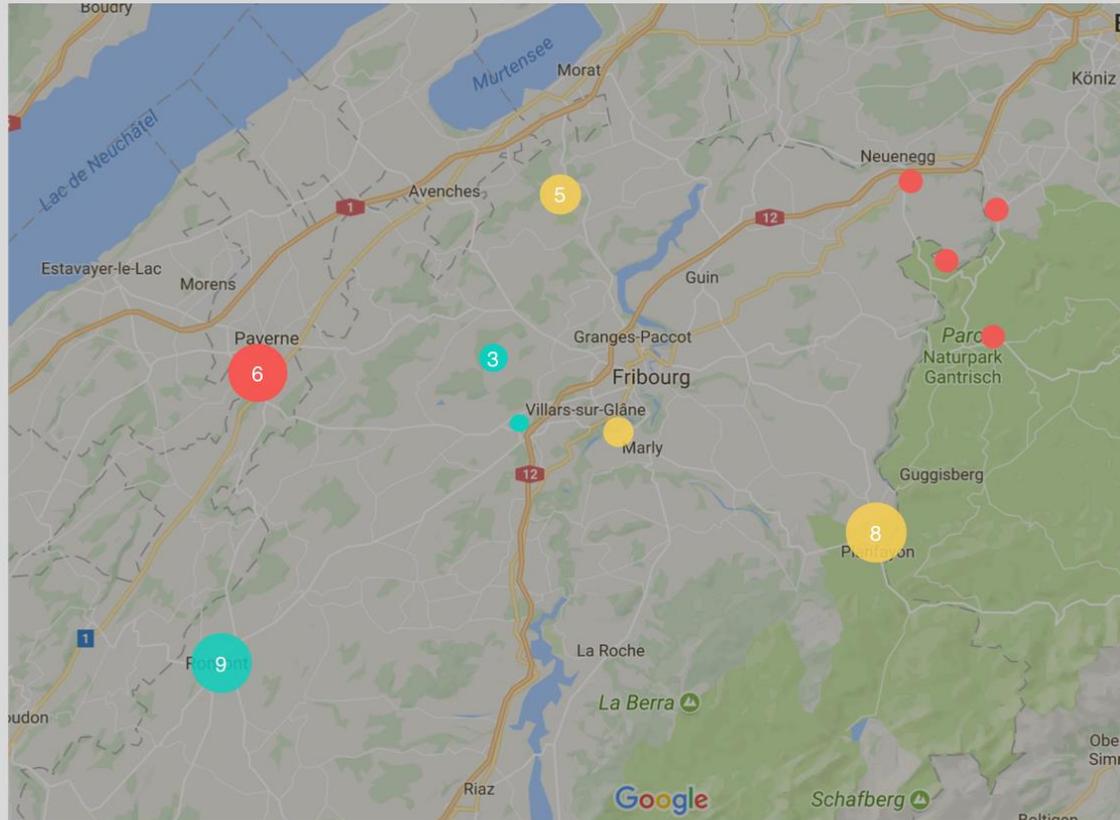
Direction

Formateur

Chef de groupe

Chauffeur

## Tous mes parcours



### Sélection des événements

- Freinage d'urgence
- Arrêt moteur (13)
- Anticipation
- Ralentisseur
- Freinage virage (15)
- Ouverture des portes(9)

### Sélection période

Du : 16/10/2017  
 Au : 15/01/2018

## NAVIG



Géraldine Chollet  
Conductrice

### NAVIGATION

Ma journée >

Tous mes parcours >

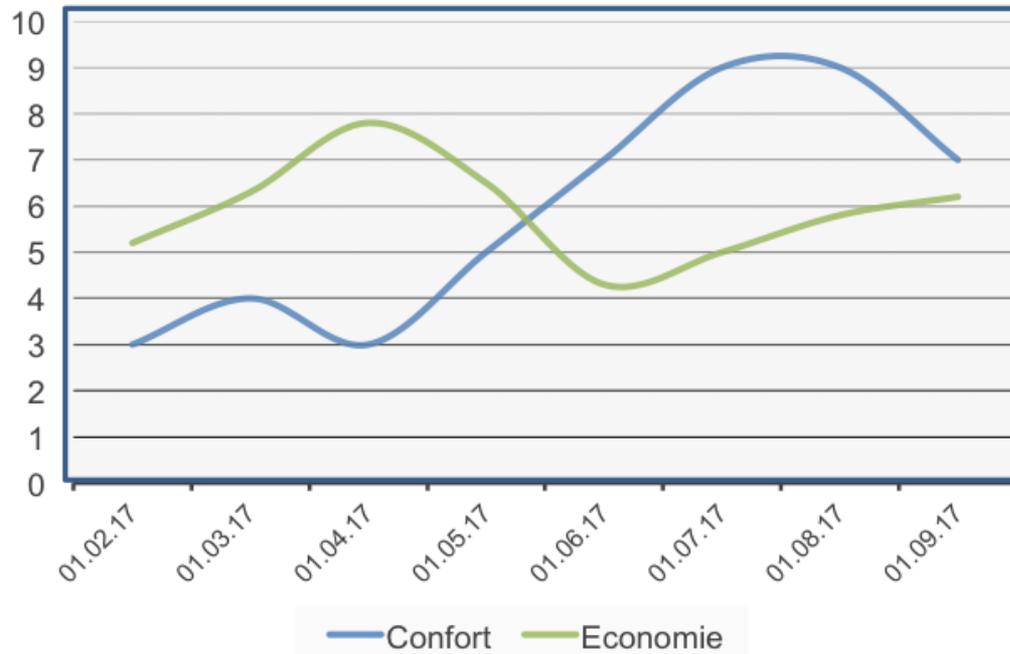
Progression >

Comparaison 14

### MORE

Préférences >

## Progression



Sélection période

Du :  
16/10/2017

Au  
15/01/2018

- Confort
- Economie

- Freinage d'urgence
- Arrêt moteur
- Anticipation
- Ralentisseur
- Freinage virage
- Ouverture des portes

**Merci de votre attention**

**Questions?**