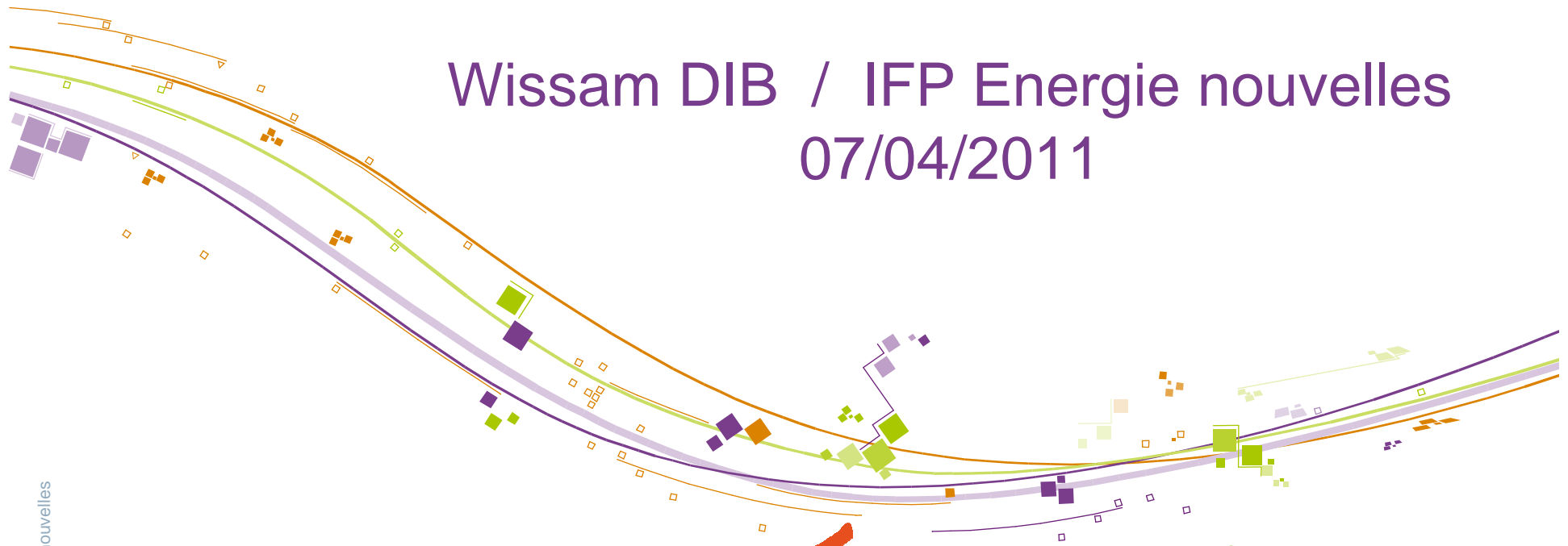


# Modèle 0D du Véhicule Électrique

Wissam DIB / IFP Energie nouvelles  
07/04/2011



© 2010 - IFP Energies nouvelles



VILLE - MOBILITÉ - ENERGIE





# Plan

---

- **Présentation du projet et intérêt d'utilisation du modèle du véhicule**
  - Objectif : Améliorer l'efficacité d'une flotte de véhicules électriques en libre service
  - Présentation du service + véhicule
- **Exploitation de la base de trajet**
- **Modèle du véhicule électrique**
  - Description des modèles utilisés
  - Description des modèles des différents composants
    - Machine asynchrone de 8 kW
    - Variateur de vitesse
    - Batterie Ni-Mh de 14.4 kWh
    - Transmission
  - Validation du modèle dynamique du véhicule



## Projet Ville Mobilité Energie

---

- Objectif : Améliorer l'efficacité d'une flotte de véhicules électriques en libre service
- Projet AMI2

VU LOG

ARTS  
ET MÉTIERS  
ParisTech



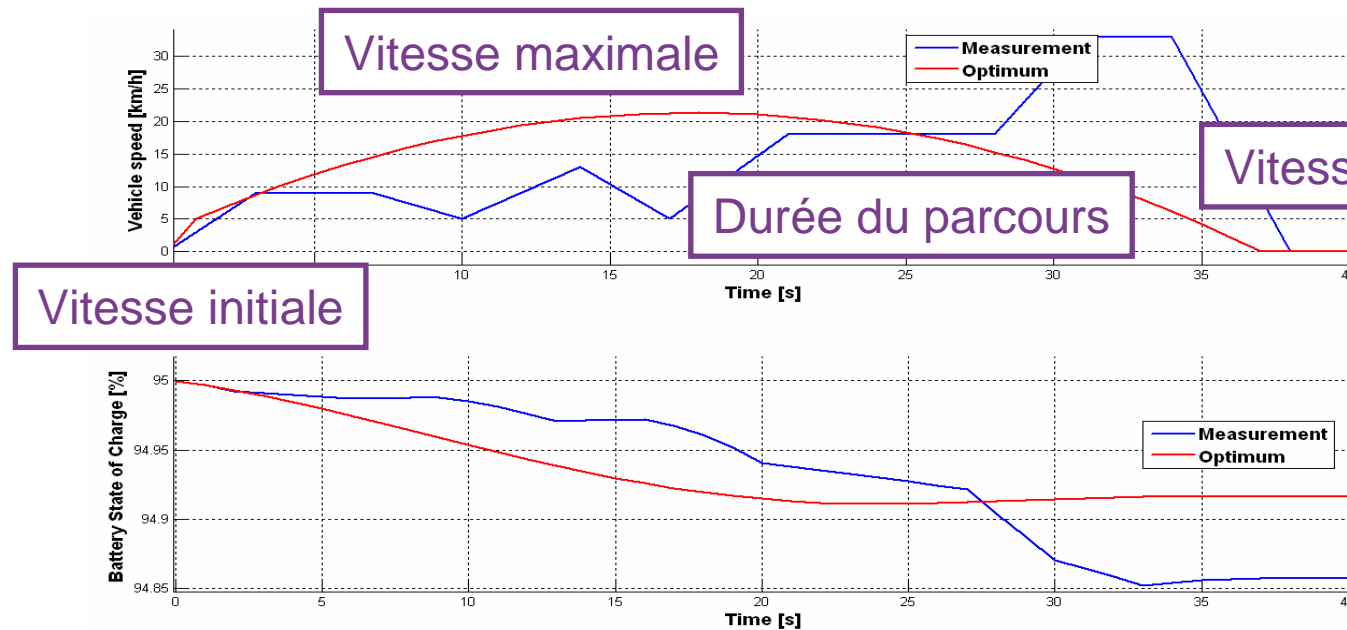
- Développement d'outils:
  - Superviseur d'énergie embarqué
  - Cartographie énergétique de la ville



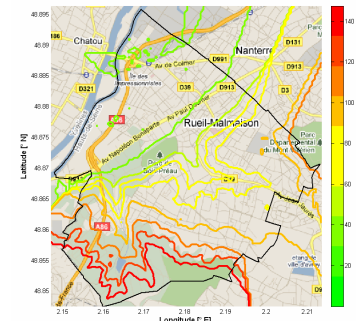
# Contexte du projet

## ■ Objectif

- Trouver la trajectoire de vitesse véhicule qui minimise l'énergie électrique sous certaines contraintes

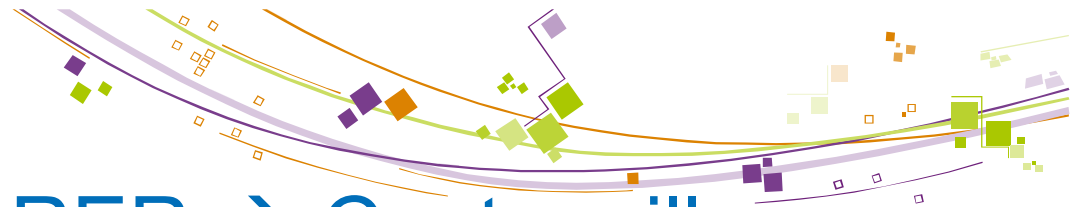


Réduction de l'utilisation de l'énergie stocké dans la batterie

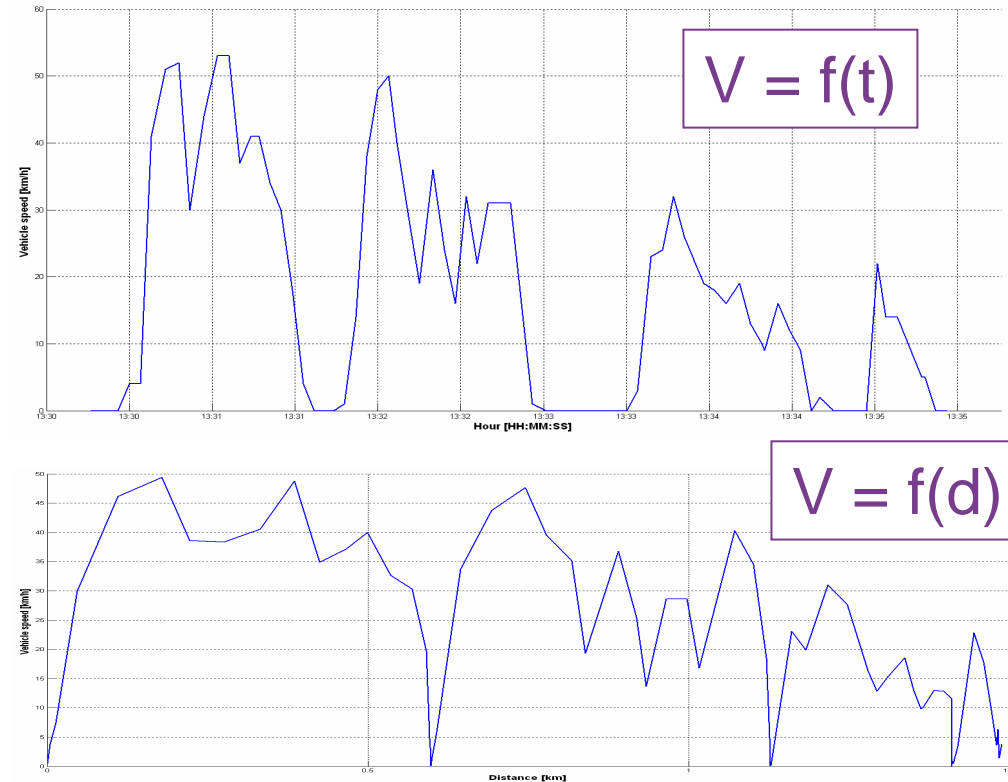
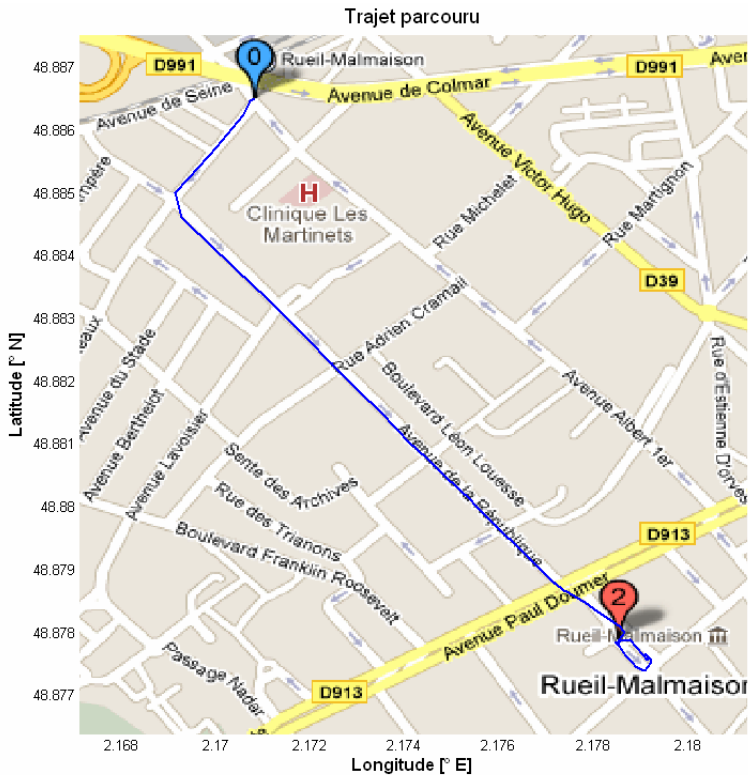


→ Utilisation de méthodes mathématiques (Programmation dynamique, résolution analytique,...), du modèle véhicule et des données altimétriques

Logiciels pour la modélisation et le calcul scientifique – LMCS – 07/04/2011



# Trajet client type – RER → Centre ville



SOC initial = 84 %  
SOC final = 81 %



Consommation  
électrique = 0.432 kWh  
0.28 kWh/km

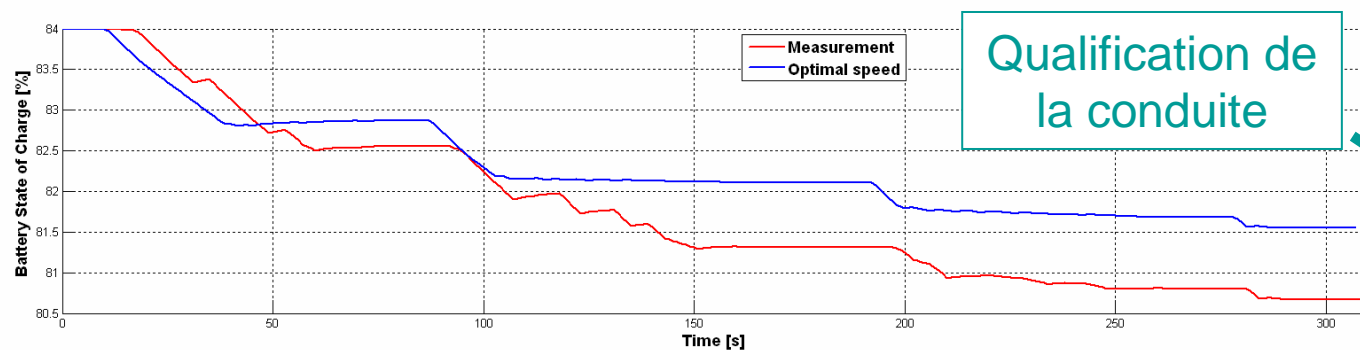
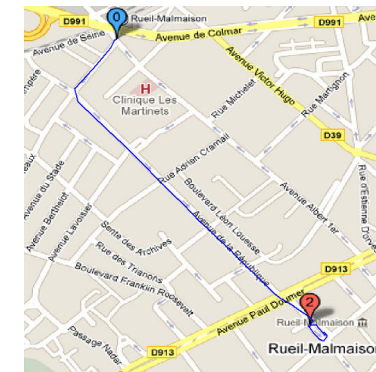
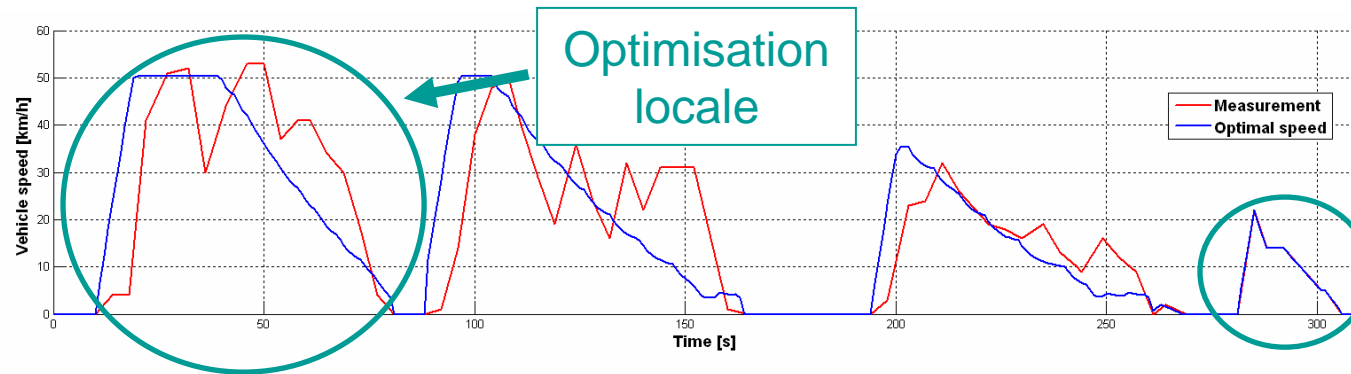
→ Possibilité de réduire la consommation énergétique sur ce trajet?

Logiciels pour la modélisation et le calcul scientifique – LMCS – 07/04/2011



# Utilisation de l'optimisation énergétique

## ■ Sur un parcours particuliers (client xxx)



Non optimisé car  
vitesse faible  
Bouchon ???

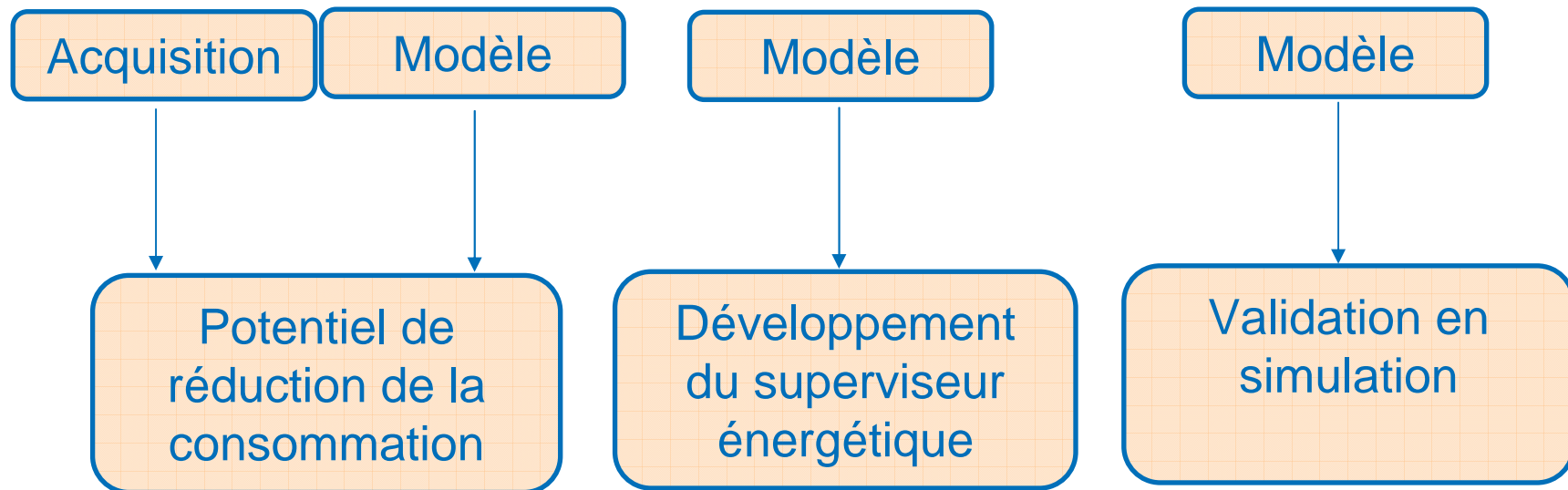
- 30%

→ Comparaison entre la trace de vitesse mesurée et l'évolution « optimale » dans des conditions de circulation identique  
→ Permet de qualifier la conduite d'un client



# Contexte du projet

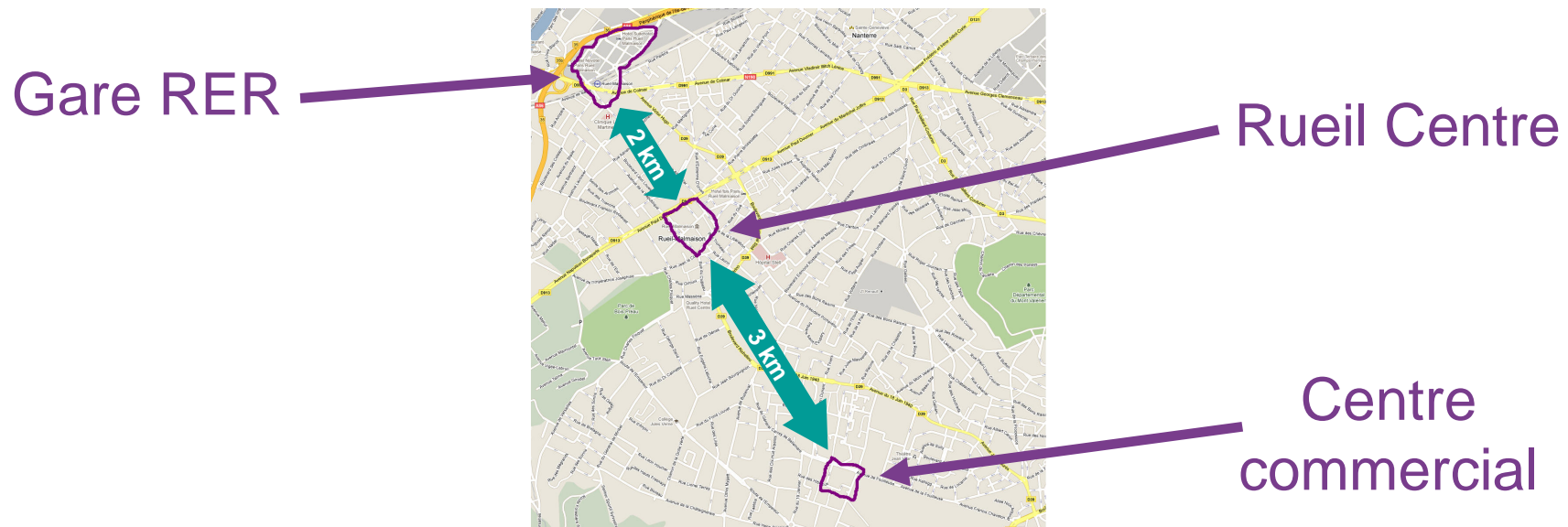
- Utilisation du modèle du véhicule





# Service MOEBIUS

- Service de véhicules électriques en libre accès
- 3 zones de retrait / restitution des véhicules



- 9 véhicules en libre-service
- Service opérationnel depuis juillet 2010
- Extension à d'autres villes





## Description du véhicule

### ■ Véhicule F-CITY (FAM)

- Masse : 840 kg
- Moteur électrique de 8 kW
- Freinage récupératif (40%)
- Batterie Ni-Mh de 14.4 kWh



### ■ Vitesse maximale : 65 km/h

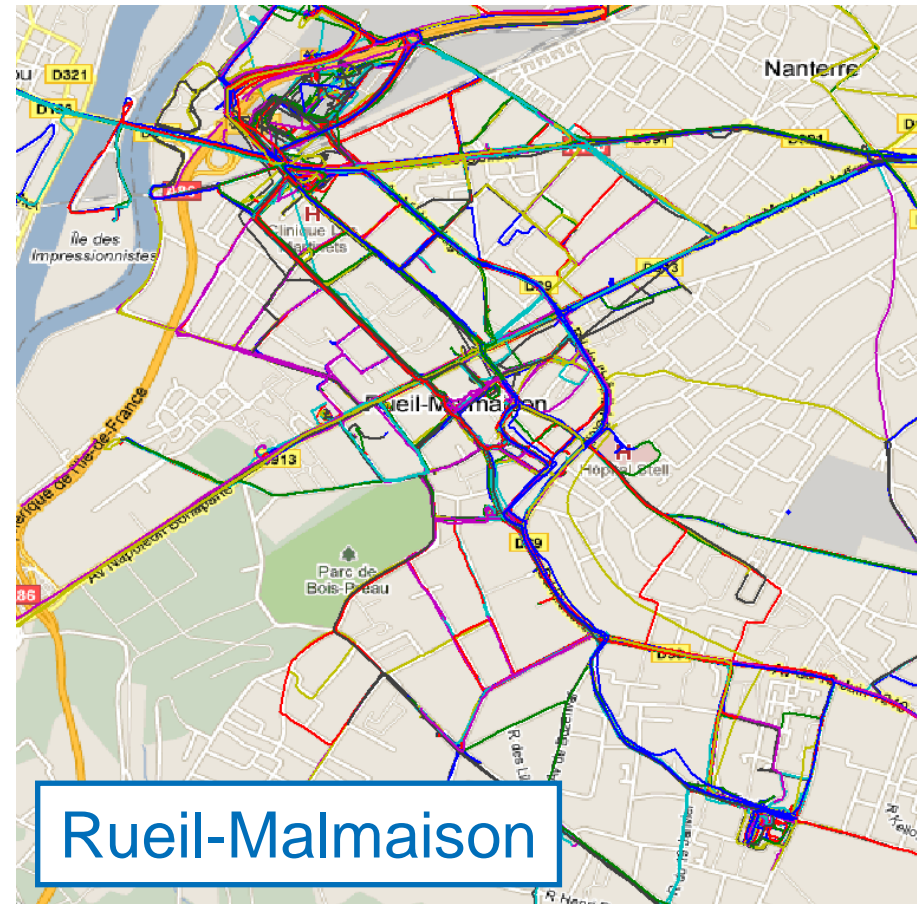
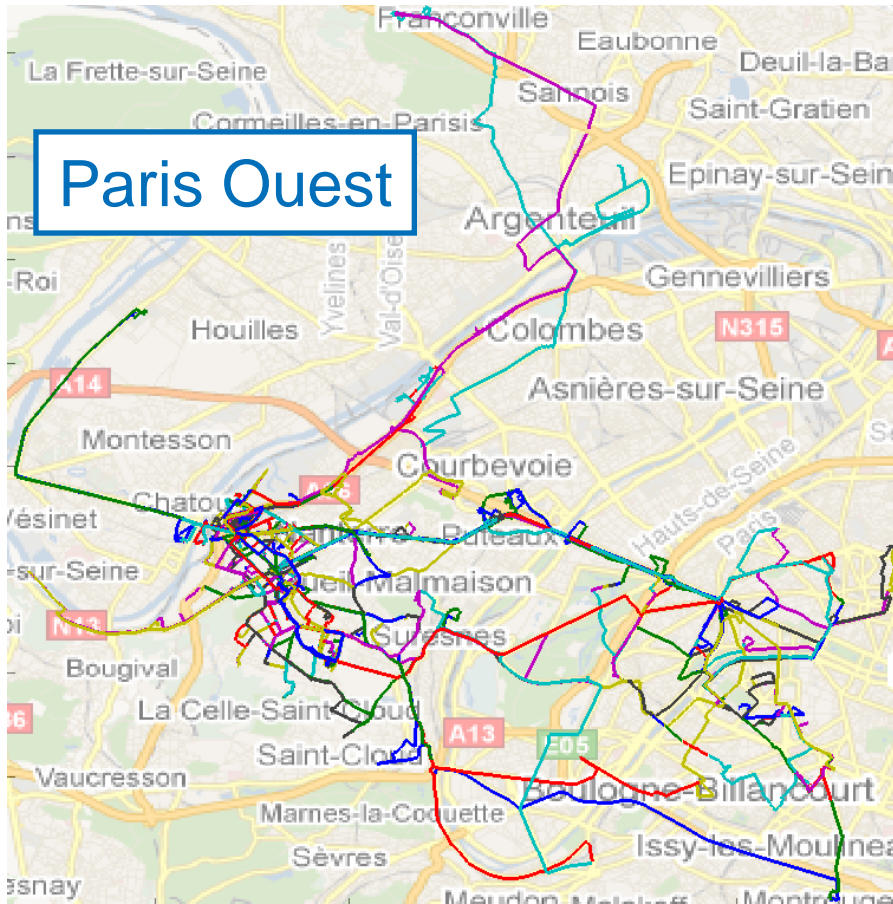
### ■ Autonomie: entre 80 et 100 km

- Récupération de signaux du calculateur véhicule et envoi via le réseau GSM: Géo localisation, mesures vitesse - état de charge – courants - ...



# Exploitation de la base de trajets

- 1544 trajets sur 6 mois et 5 véhicules

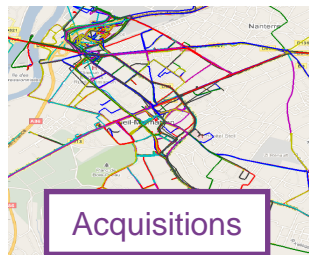




# Exploitation de la base de trajets

## Statistiques globales

- Nombre d'acquisitions : 1544
- Distance parcourue : 1994 km
- Trajet moyen : 2,56 km
- Vitesse moyenne : 19,2 km/h
- Énergie électrique dépensé : 406 kWh →  
Décharge totale de plus de 28 batteries – 0,2 kWh / km (mise à jour autonomie)
- Décharge moyenne par trajet : 3,4 %
- Émissions de CO<sub>2</sub> pour la production de l'énergie électrique en France : 37 kg de CO<sub>2</sub> (18,4 g de CO<sub>2</sub> par km)



→ Compréhension du comportement des utilisateurs  
→ Estimateur d'autonomie



# Exploitation de la base de trajets

## Mesures disponibles sur véhicule par le bus Can

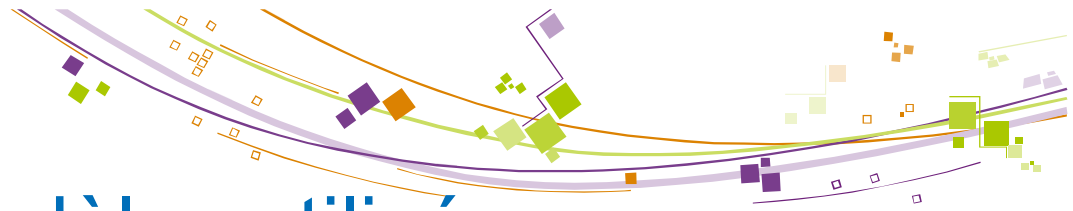
Mesures	Unité
Vitesse véhicule	Km/h
SOC (State Of Charge)	%
Rotation moteur	tours/min
Pédale accélérateur	%
Température moteur	°C
Température variateur	°C
Courant batterie	A
Tension module batterie	V



# Plan

---

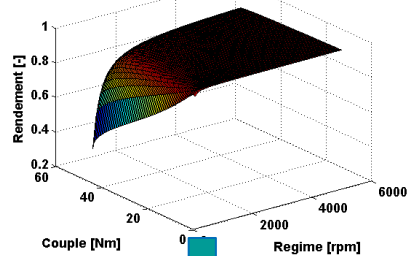
- Exploitation de la base de trajet
  - Objectif : Améliorer l'efficacité d'une flotte de véhicules électriques en libre service
  - Présentation du service + véhicule
- **Modèle du véhicule électrique**
  - Description des modèles utilisés
  - Description des modèles des différents composants
    - Machine asynchrone de 8 kW
    - Variateur de vitesse
    - Batterie Ni-Mh de 14.4 kWh
    - Transmission
  - Validation du modèle dynamique du véhicule



# Description des modèles utilisés

## Types de modèles

Modèles statiques



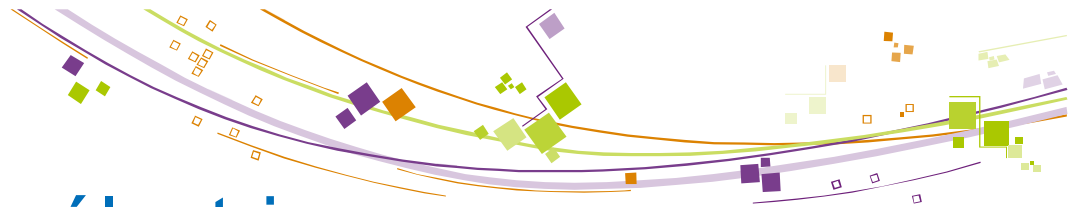
Utilisés dans les algorithmes de contrôle

Modèles dynamiques

$$V_{ds} = R_s I_{ds} - \omega_s \varphi_{qs} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt}$$

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \omega_s \varphi_{ds} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt}$$

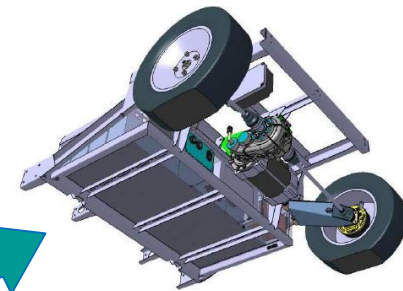
Utilisés pour simuler la dynamique du véhicule



# Modèle du véhicule électrique



**Chaine de Transmission**



**Batterie**



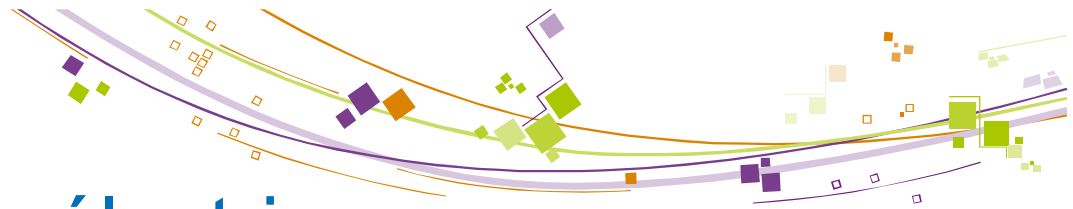
**Véhicule composé de différents composants - domaines**



**Variateur de vitesse**



**Moteur électrique**



# Modèle du véhicule électrique

## Moteur électrique asynchrone de 8 kW



Réalisation d'un modèle physique

$$\left\{ \begin{array}{l} P_e = V_{ds} I_{ds} + V_{qs} I_{qs} \\ C_e = pM (I_{qs} I_{dr} - I_{ds} I_{qr}) \end{array} \right.$$

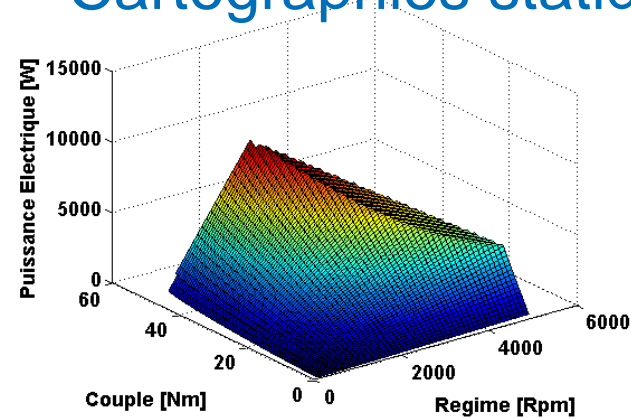
$$V_{ds} = R_s I_{ds} - \omega_s (L_s I_{qs} + M I_{qr})$$

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \omega_s (L_s I_{ds} + M I_{dr})$$

$$0 = R_r I_{dr} - \omega_r (L_r I_{qr} + M I_{qs})$$

$$0 = R_r I_{qr} + \omega_r (L_r I_{dr} + M I_{ds})$$

## Cartographies statiques



$P_e$  se décompose en 3 termes :

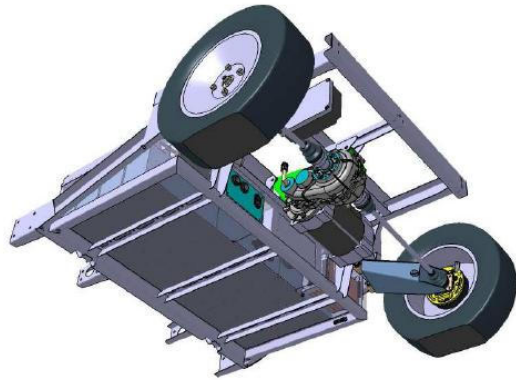
1. pertes joules
2. échanges électromagnétique
3. P mécanique sur l'arbre





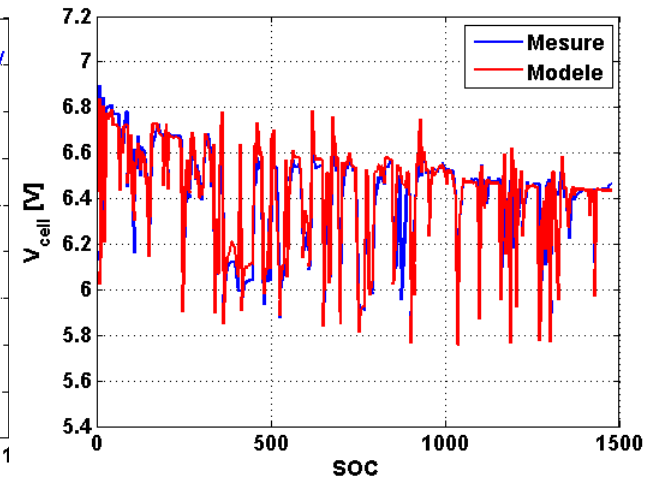
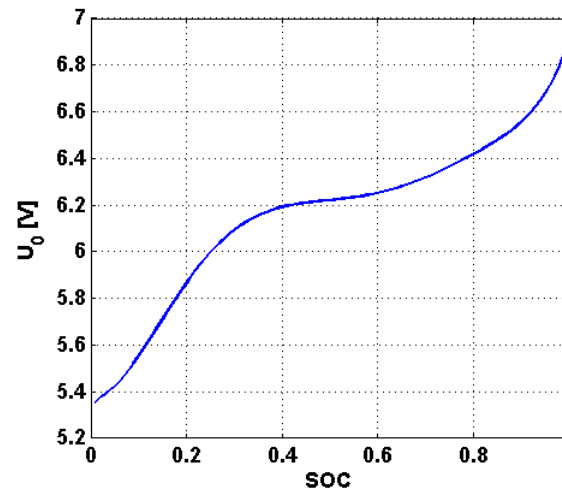
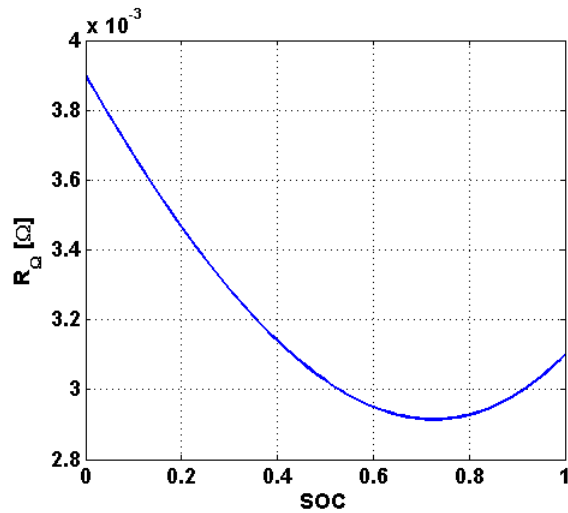
# Modèle du véhicule électrique

Batterie Ni-Mh de 14.4 kWh



Réalisation d'un modèle pile

$$\left\{ \begin{array}{l} SOC(t) = SOC_0 + \frac{1}{C_{nom}} \int_{t_0}^t I_{cell}(\tau) d\tau \\ V_{cell} = U_0(SOC) + R_{\Omega}(SOC) I_{cell} \end{array} \right.$$



Tension en sortie d'une cellule



# Modèle du véhicule électrique

## Dynamique véhicule



$$\begin{cases} M_v \dot{v} = F_{trac} - F_{slope} - F_{res} \\ F_{res} = F_{aer} + F_{roll} + F_d = a + bv + cv^2 \end{cases}$$

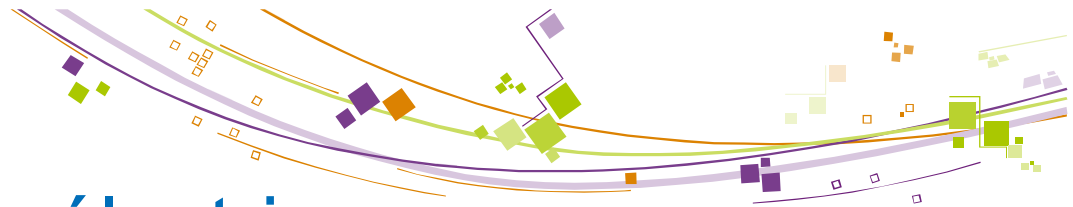
### Essais réalisés en levée de pied et avec pente nulle

$$F_{trac} = 0 \quad F_{slope} = 0$$

$$M_v \dot{v} = -F_{res}(v) = -a - bv - cv^2$$

$$v = \frac{R_{tire}}{\tau_{ratio}} \frac{2\pi}{60} n_{e\_mot}$$

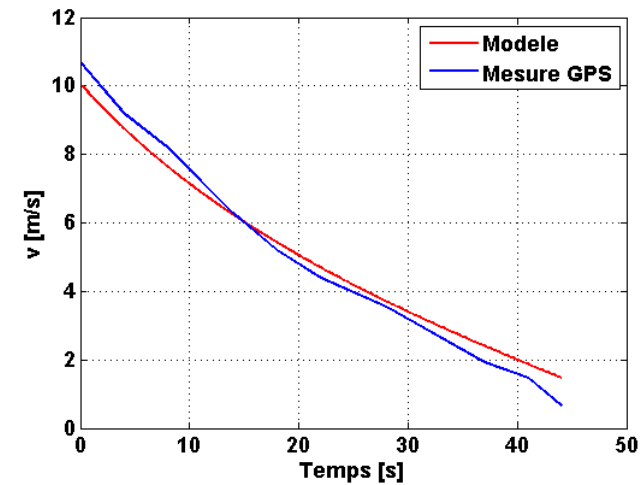
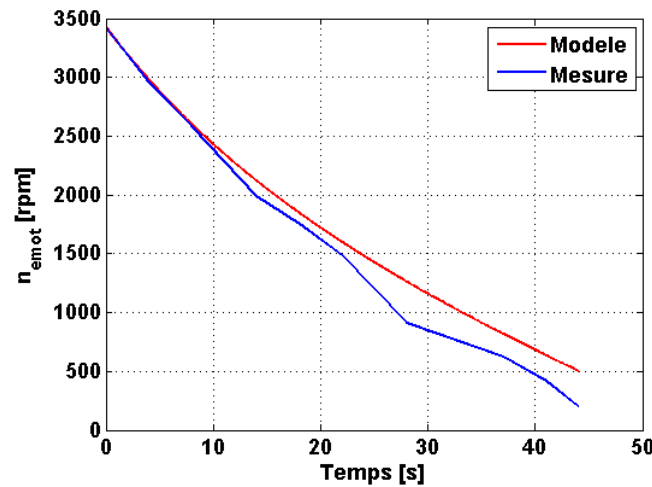
- a=120.5900
- b=0
- c=2.2660



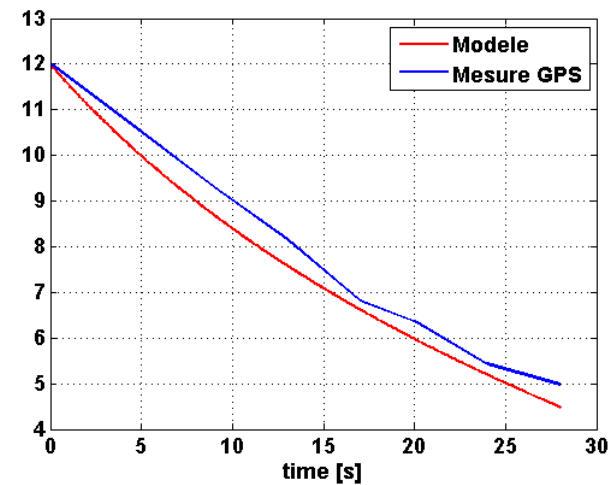
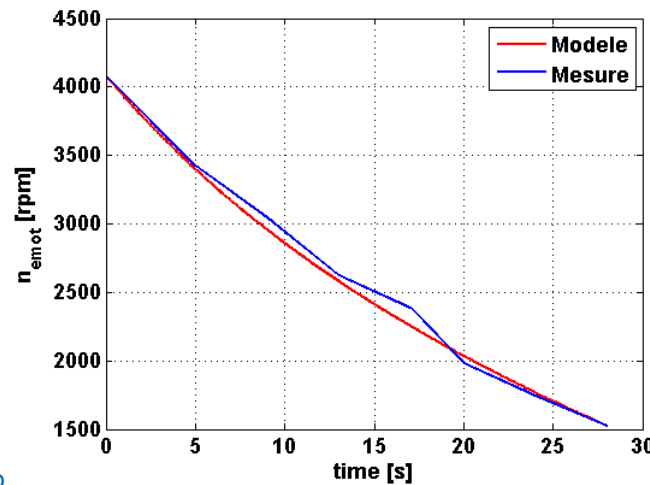
# Modèle du véhicule électrique

## Dynamique véhicule

1er essai :  
 Décélération à  
 partir de  
 40 km/h en  
 lâcher de pied



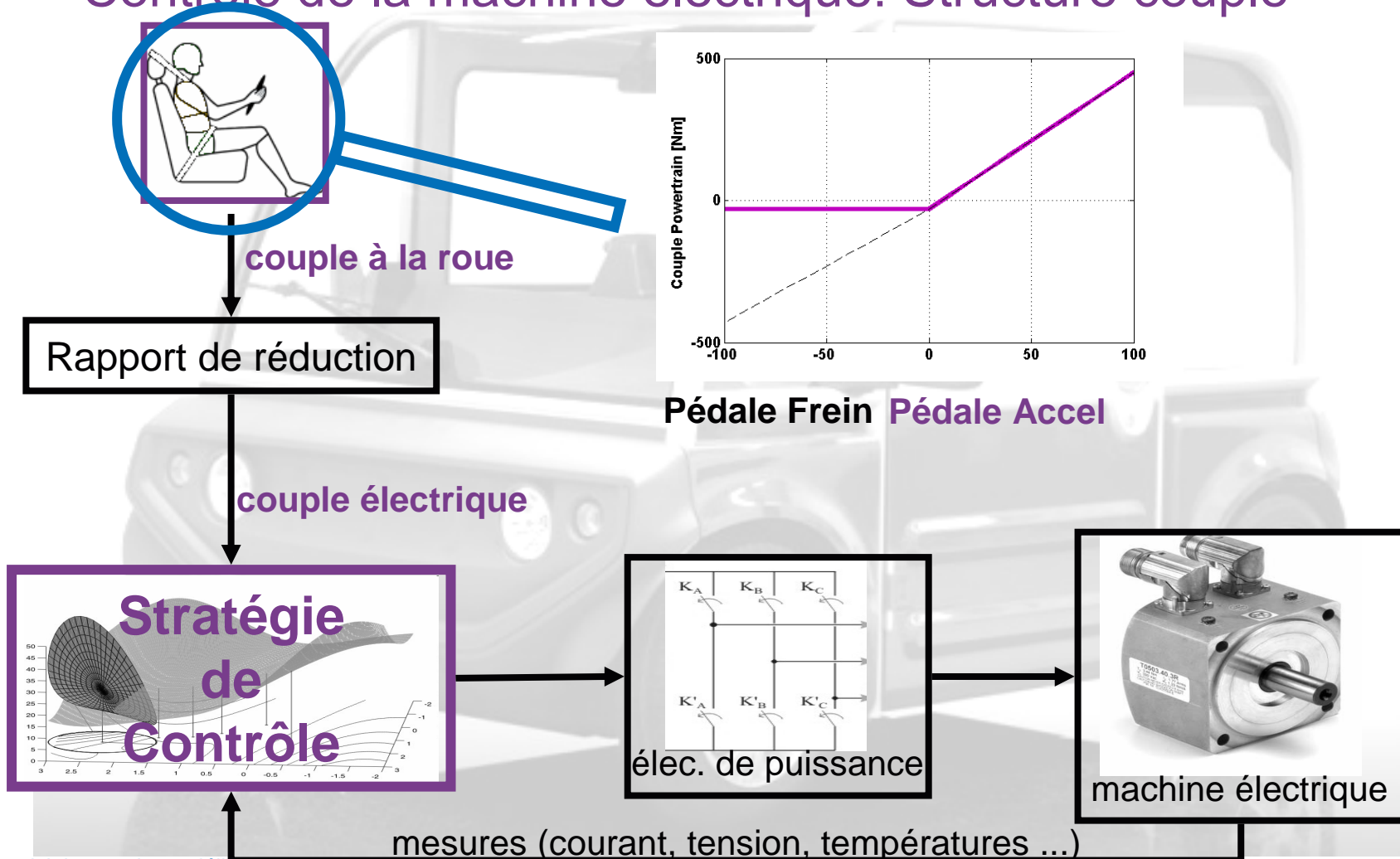
2eme essai :  
 Décélération à  
 partir de  
 44 km/h en  
 lâcher de pied





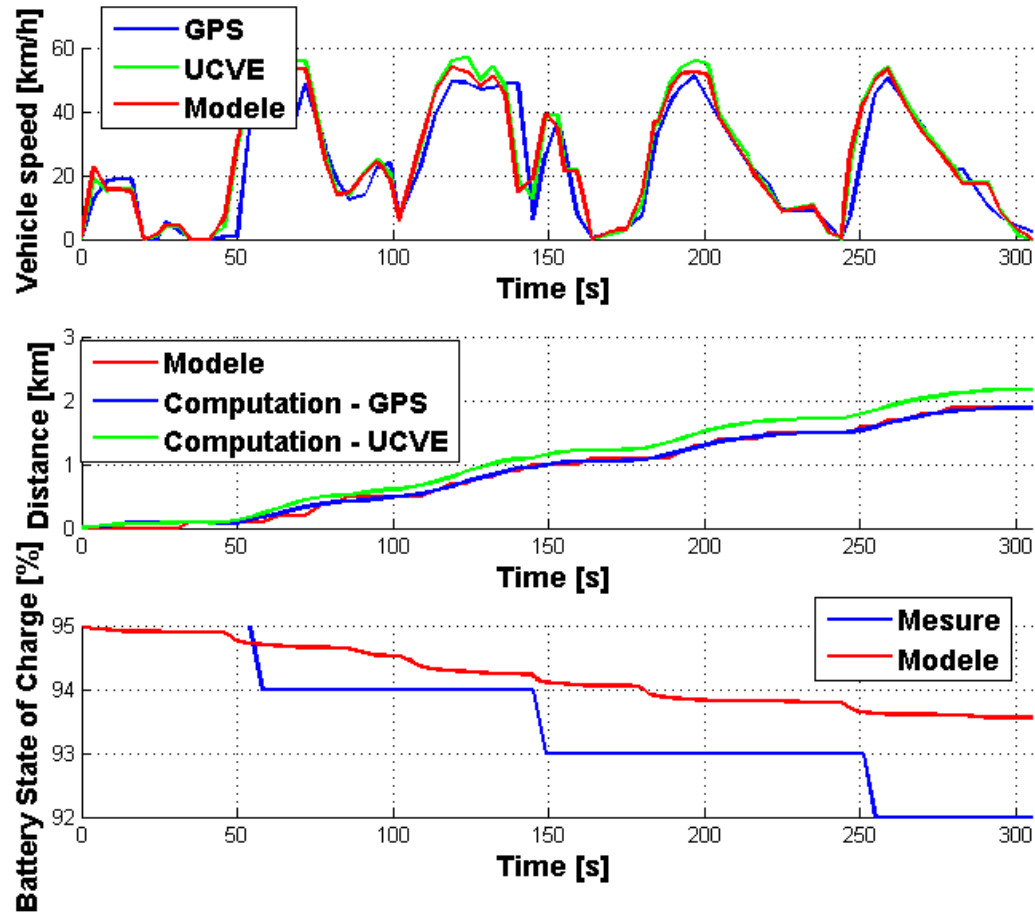
# Modèle du véhicule électrique

## Contrôle de la machine électrique: Structure couple





# Validation du modèle dynamique du véhicule





# Conclusions

---

- **Modèle du véhicule électrique**
  - Machine asynchrone
  - Batterie Ni-Mh de 14.4 kWh
  - Transmission
  - Loi de route
  
- **Modèle est utilisé**
  - la plateforme de simulation pour valider les développements et les algorithmes de contrôle
  - les développements du superviseur énergétique



---

**Merci**

**Questions**



*Innovater les énergies*

[www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)