

Séminaire de Recherche EcoSD n°53  
23 juin 2021

# PRC 20.1 : Éco-conception des véhicules électriques et des infrastructures de recharge dans une logique territoriale d'usages de mobilité

Présentation finale du PRC

Julien Baltazar

Laboratoire de Génie Industriel CentraleSupélec

[Julien.baltazar@centralesupelec.fr](mailto:Julien.baltazar@centralesupelec.fr)

Flore Vallet (Laboratoire de Génie Industriel CentraleSupélec, IRT SystemX)

Julien Garcia (Stellantis)



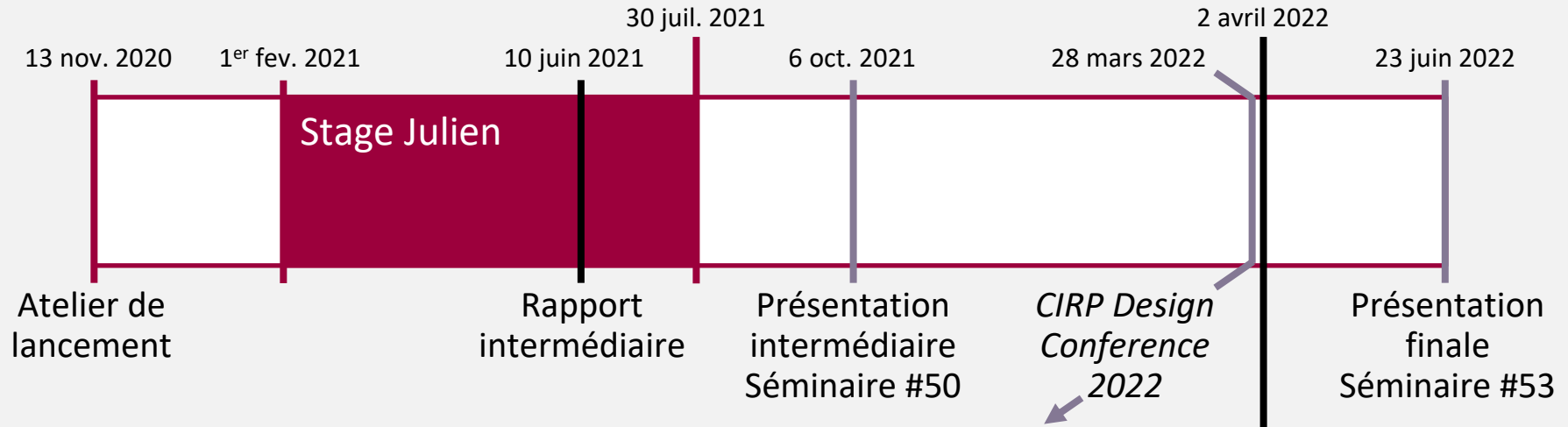
# Planning

1. Introduction
2. Présentation avec démonstration du simulateur
3. Rappel des résultats principaux
4. Perspectives pour ma thèse

Première partie :

Synthèse des travaux réalisés pour le PRC 20.1

# Chronologie du projet



A model for long-distance mobility with battery electric vehicles: a multi-perspective analysis

Julien Baltazar<sup>a,\*</sup>, Flore Vallet<sup>a,b</sup>, Julien Garcia<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, Laboratoire Génie Industriel, 3 rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France

<sup>b</sup>IRT SystemX, Paris-Saclay, Avenue de la Vauve, 91127 Palaiseau, France

<sup>c</sup>Stellantis, Centre technique Vélizy, route de Gisy, 78140 Vélizy-Villacoublay, France

\* Corresponding author: julien.baltazar@centralesupelec.fr



En attente pour publication sur HAL



<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.259>

# Synthèse atelier de lancement

Atelier du 13 novembre 2020 avec 19 personnes en ligne



Quels enjeux, verrous et idées identifiez-vous au regard des sujets suivants ?



Batteries et recharge de VE

Utilisateurs de mobilité électrique et territoires

1. La technologie et la conception des batteries

2. La technologie et la conception des infrastructures de recharge (IRVE)

3. Les contextes d'usages des batteries

4. L'usage des IRVE

5. Le développement de la mobilité électrique sur un territoire et les perspectives d'évolution et de transformation

# Problématique du PRC 20.1

Territoire avec mobilité  
longue distance

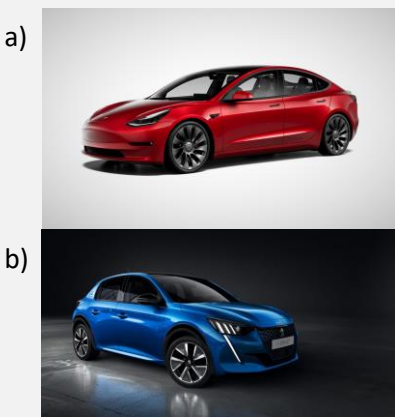


Fig. 1 : Exemples de véhicules électriques à batterie (BEV) a) Tesla model 3 et b) e208

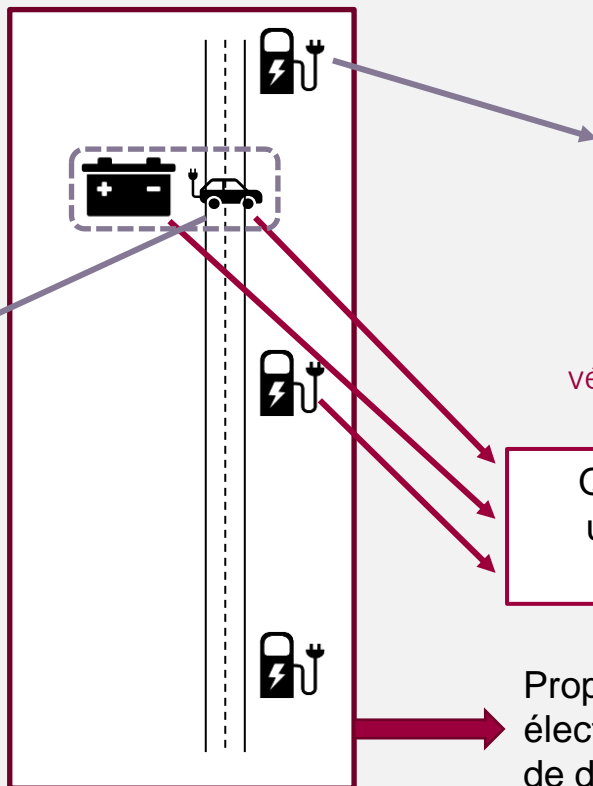


Fig. 2 : Exemple d'infrastructure de recharge pour véhicules électriques (IRVE) sur l'aire des Portes d'Angers (IONITY)

Quels dimensionnements pour satisfaire les usagers des BEV et des infrastructures en limitant les impacts environnementaux?

Proposition : Créer un simulateur de mobilité électrique pour étudier différentes stratégies de développement.

# Cas d'étude

Cas d'étude : une partie de l'A6 (412 km modélisés sur les 456)

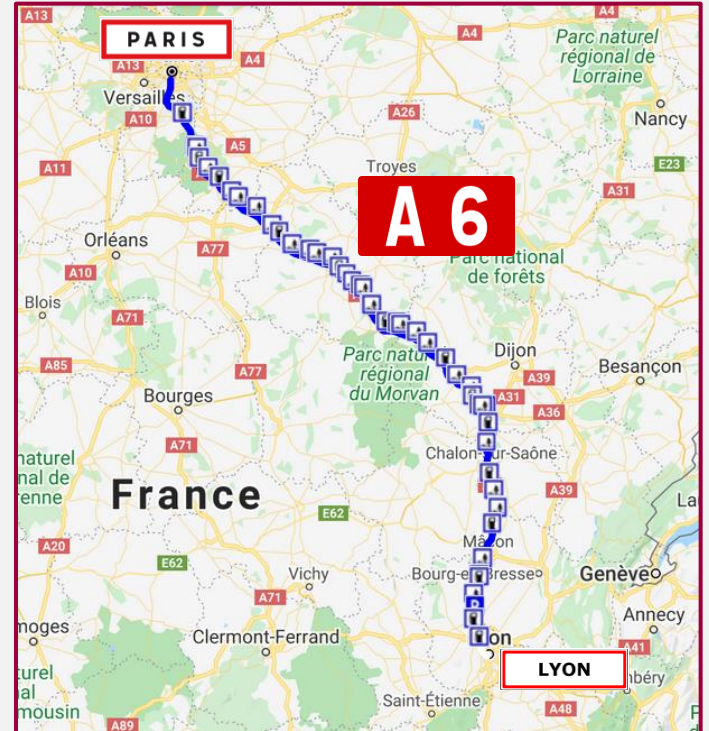


Fig. 3 : Carte décrivant l'A6 et ses aires

# Structure du simulateur





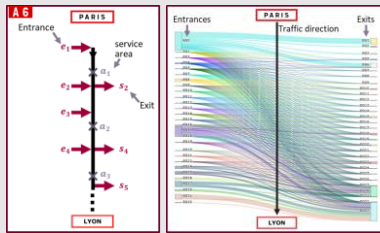
# Structure du simulateur

**ENTRÉES**

**MODÈLE**

**SORTIES**

## 1. Caractérisation de la route



## 2. Différents modèles de véhicules

BEV category	Share in the fleet	Battery capacity	Maximal charging power	Consumption at 120 km/h
Lower-end	11 %	41 kWh	70 kW	0,26 kWh/km
Mid-range	69 %	54 kWh	100 kW	
Higher-end	20 %	77 kWh	180 kW	

## 3. Diversité des comportements d'utilisateurs

Proportion	Distance parcourue avant d'entrer sur l'A6	Autonomie minimale acceptable	État de charge maximal
25 %	41,3 km	$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 20,6 \text{ km})$	80 %
25 %		$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 30,9 \text{ km})$	
15 %	82,5 km	$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 20,6 \text{ km})$	
15 %		$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 30,9 \text{ km})$	
10 %	124 km	$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 20,6 \text{ km})$	
10 %		$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 30,9 \text{ km})$	

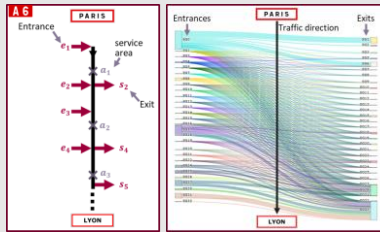
**Simulation du trafic autoroutier**

Résultats d'une évaluation multicritère

# Structure du simulateur

## ENTRÉES

### 1. Caractérisation de la route



### 2. Différents modèles de véhicules

BEV category	Share in the fleet	Battery capacity	Maximal charging power	Consumption at 120 km/h
Lower-end	11 %	41 kWh	70 kW	0,26 kWh/km
Mid-range	69 %	54 kWh	100 kW	
Higher-end	20 %	77 kWh	180 kW	

### 3. Diversité des comportements d'usagers

Proportion	Distance parcourue avant d'entrer sur l'A6	Autonomie minimale acceptable	État de charge maximal
25 %	41,3 km	$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 20,6 \text{ km})$	80 %
25 %		$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 30,9 \text{ km})$	
15 %	82,5 km	$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 20,6 \text{ km})$	
15 %		$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 30,9 \text{ km})$	
10 %	124 km	$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 20,6 \text{ km})$	
10 %		$\max(\frac{1}{10}D_{max} ; 30,9 \text{ km})$	

## MODÈLE

Simulation du trafic pour chaque trajet origine-destination, modèle de véhicule et comportement d'utilisateur

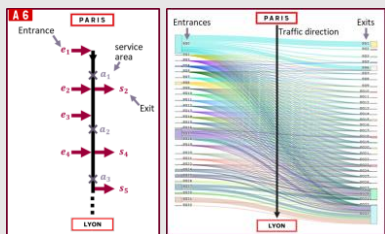
## SORTIES

Résultats d'une évaluation multicritère

# Structure du simulateur

## ENTRÉES

### 1. Caractérisation de la route



### 2. Différents modèles de véhicules

BEV category	Share in the fleet	Battery capacity	Maximal charging power	Consumption at 120 km/h
Lower-end	11 %	41 kWh	70 kW	0,26 kWh/km
Mid-range	69 %	54 kWh	100 kW	
Higher-end	20 %	77 kWh	180 kW	

### 3. Diversité des comportements d'utilisateurs

Proportion	Distance parcourue avant d'entrer sur l'A6	Autonomie minimale acceptable	État de charge maximal
25 %	41,3 km	$\max(\frac{1}{10}D_{\max} ; 20,6 \text{ km})$	80 %
25 %		$\max(\frac{1}{10}D_{\max} ; 30,9 \text{ km})$	
15 %	82,5 km	$\max(\frac{1}{10}D_{\max} ; 20,6 \text{ km})$	
15 %		$\max(\frac{1}{10}D_{\max} ; 30,9 \text{ km})$	
10 %	124 km	$\max(\frac{1}{10}D_{\max} ; 20,6 \text{ km})$	
10 %		$\max(\frac{1}{10}D_{\max} ; 30,9 \text{ km})$	

## MODÈLE

Simulation du trafic pour chaque trajet origine-destination, modèle de véhicule et comportement d'utilisateur

Un script à lancer depuis Python

## SORTIES

Résultats d'une évaluation multicritère

Indicateurs évalués à l'échelle de la route

1. Temps de trajet moyen, consommation électrique, nb. de points de charge, etc.

2. Impacts environnementaux

Génération des résultats dans la console et export dans un fichier excel

Deux fichiers Excel sont importés :

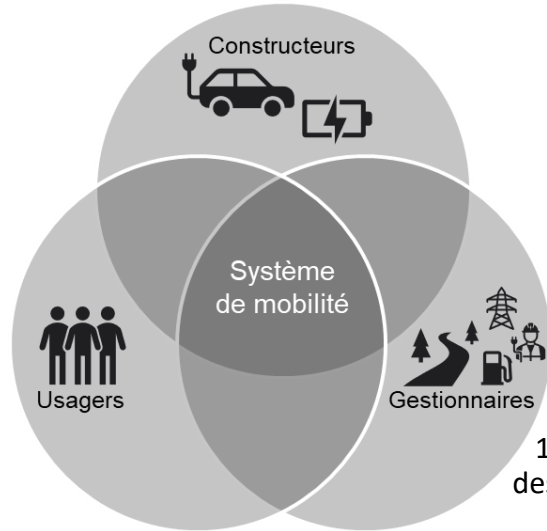
1. Pour la définition de la route, de la flotte et des paramètres de simulation
2. Pour les données ACV

Démonstration.....

# Présentation des résultats



2. Comparaison des performances entre véhicules thermiques et des différentes catégories de BEV




3. Étude de l'influence du comportement des usagers

1. Dimensionnement des stations de recharge

4. Évaluation environnementale pour la mobilité des BEV sur l'autoroute

Hyp. pour les résultats suivants :

- Puissances max. des bornes : 175 kW
- Localisation possible des bornes : toute station de service 
- Part de BEV au sein du parc auto estimé à partir du scénario *Stated policies scenario* de l'IAE (2020)

# 1. Dimensionnement des stations

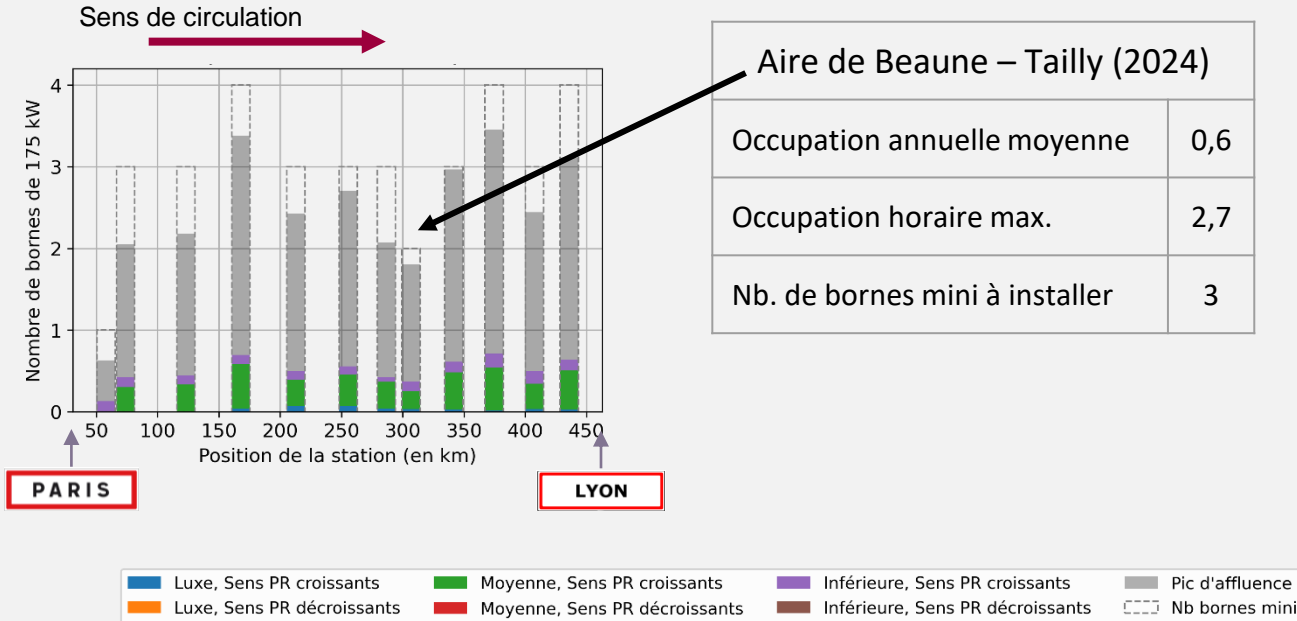


Fig. 4 : Nb. de bornes et taux d'occupation moyens et maximaux par aire de service

# 1. Dimensionnement des stations

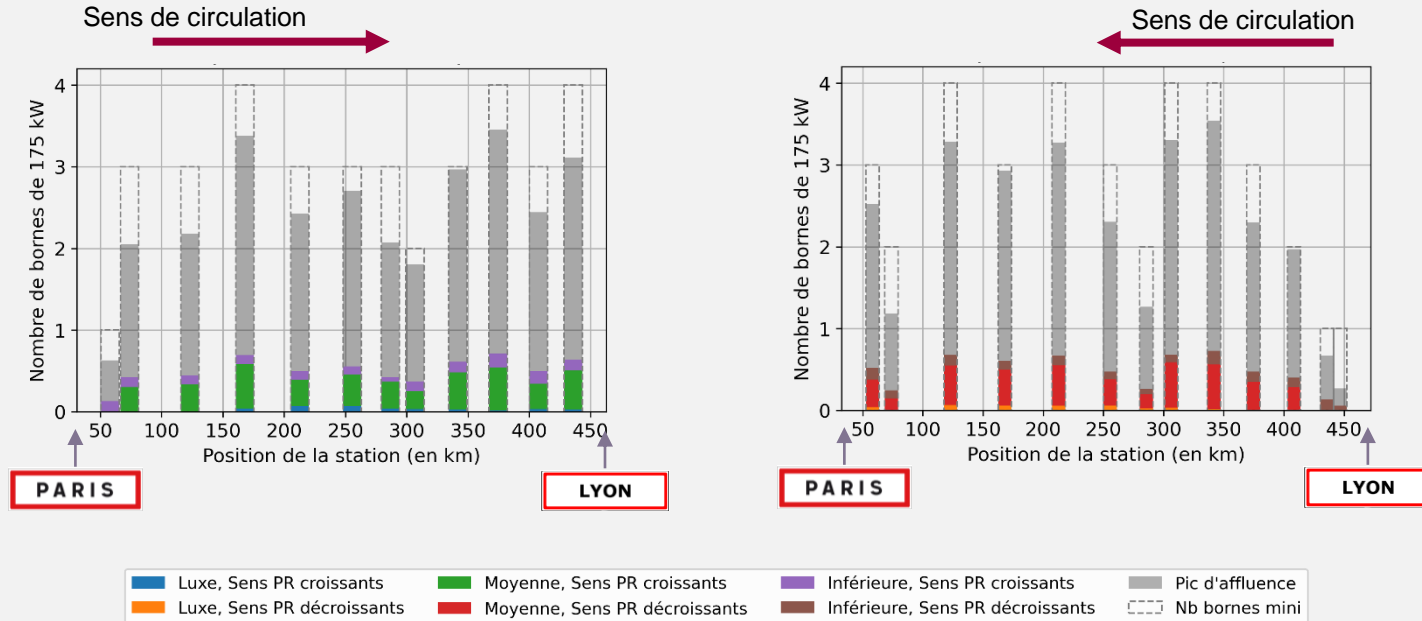
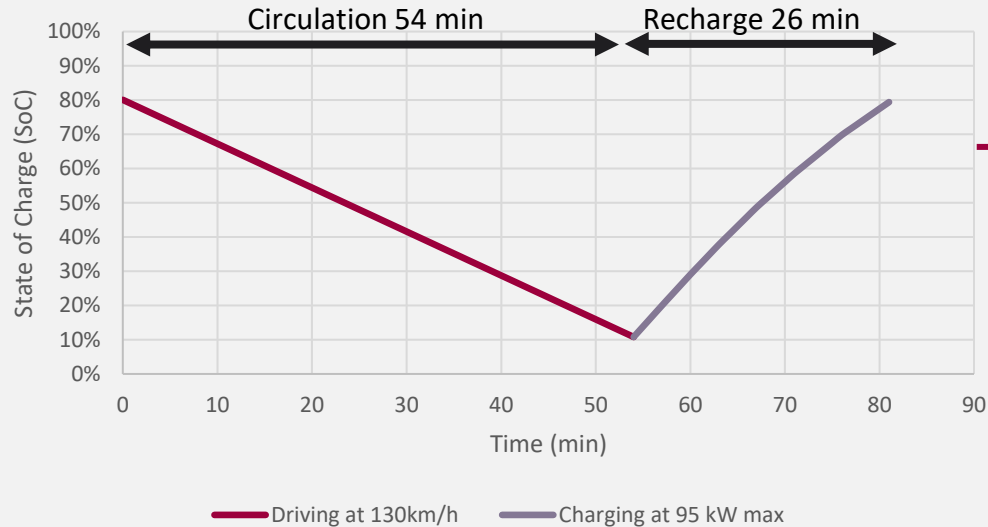


Fig. 4 : Nb. de bornes et taux d'occupation moyens et maximaux par aire de service

## 2. Comparaison des temps de trajets

Ordre de grandeur pour un BEV moyen roulant à 130 km/h :

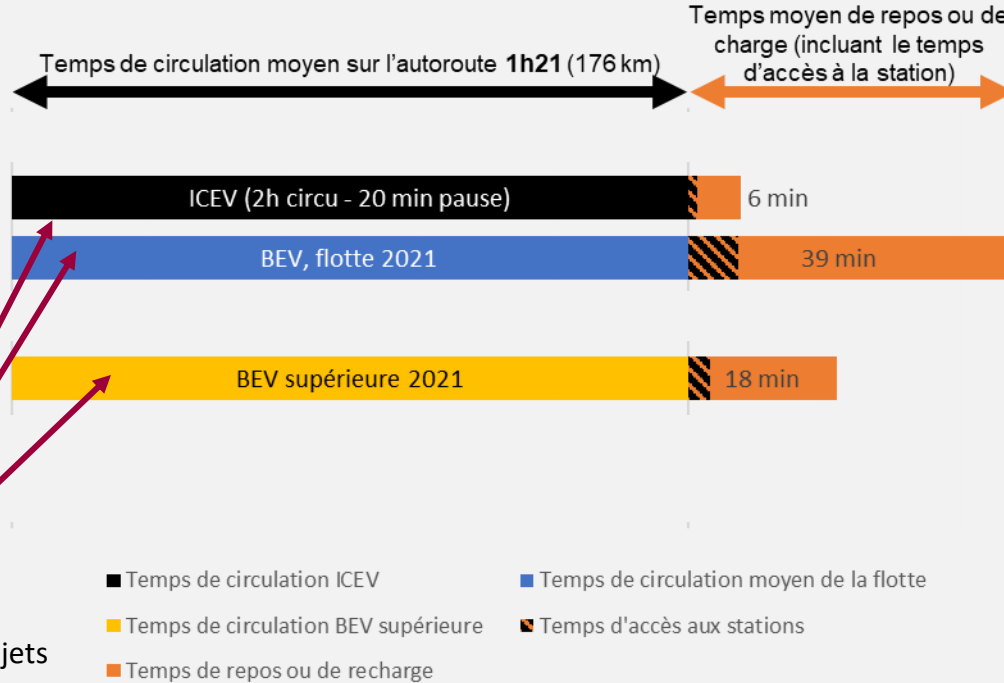


Les BEV réalisent les longs trajets à grande vitesse significativement plus lentement que les ICEV à cause des besoin de recharge

Fig. 5 : Caractéristique de charge/décharge pour un BEV moyen (50 kWh ; 95 kWpeak) roulant à 130 km/h



## 2. Comparaison des temps de trajets : 2021



Des inégalités de temps de trajets

Fig. 6 : Comparaison des temps de trajet pour différents types de véhicules de 2020 en décomposant le temps de circulation à 130 km/h et le temps de pauses ou des recharges

## 2. Comparaison des temps de trajets : 2030 (est.)

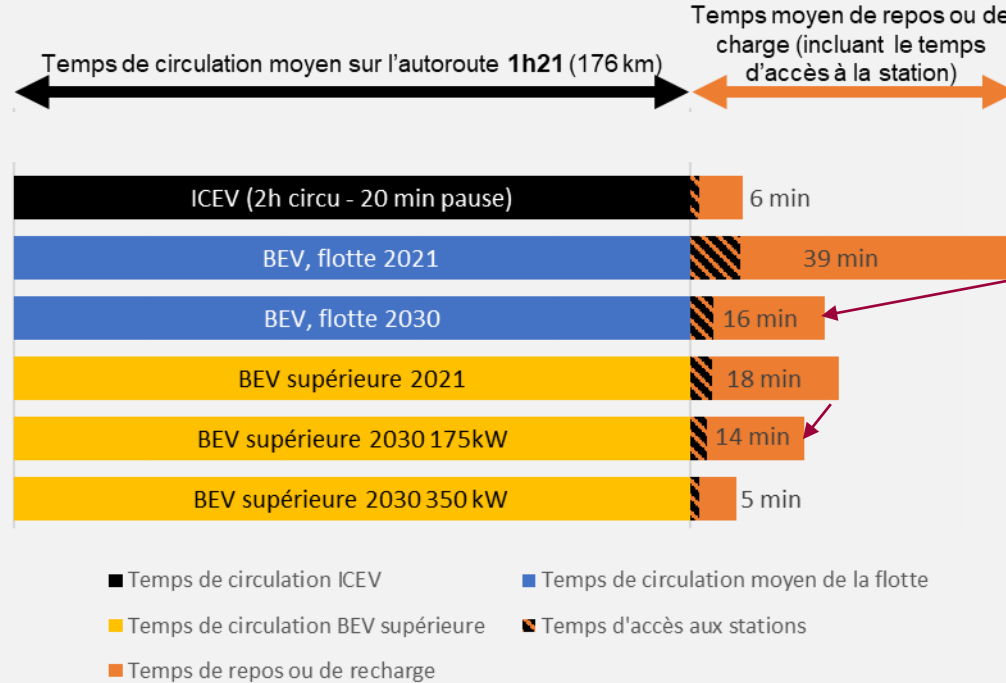
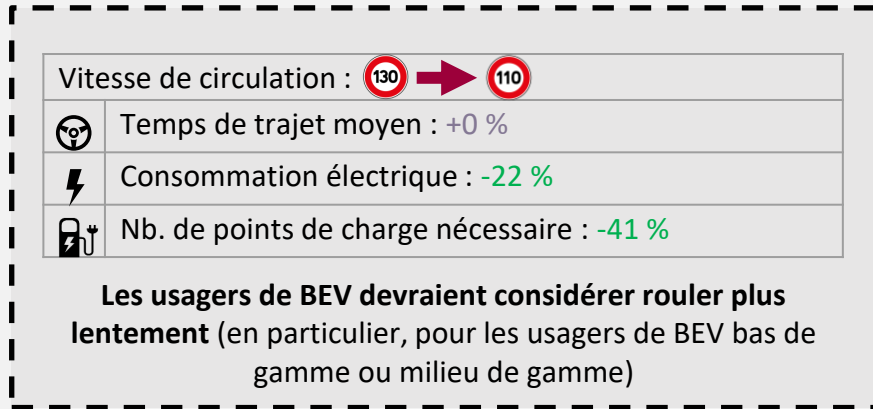


Fig. 6 : Comparaison des temps de trajet pour différents types de véhicules de 2020 en décomposant le temps de circulation à 130 km/h et le temps de pauses ou des recharges

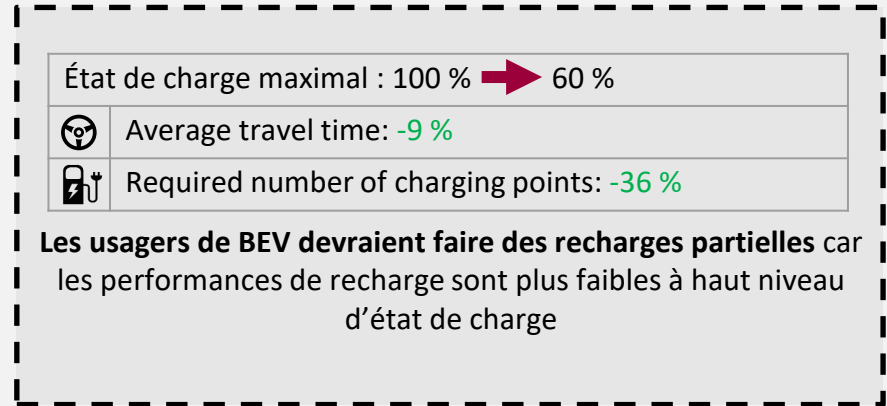
# 3. Comportement et satisfaction des usagers

Résultats moyens pour une flotte de BEV de 2021

## a) Influence de la vitesse de circulation



## b) Influence du comportement de recharge






# 4. Évaluation environnementale sur autoroute

Unité fonctionnelle :

« Permettre la mobilité des BEV sur la route A6 pendant 1 an »

Hypothèses :

	Mix électrique français de 2017
	Impacts sur cycle de vie de l'usage des BEV
	Impacts liés à l'approvisionnement en matériaux uniquement [adapté de Lucas (2012)]

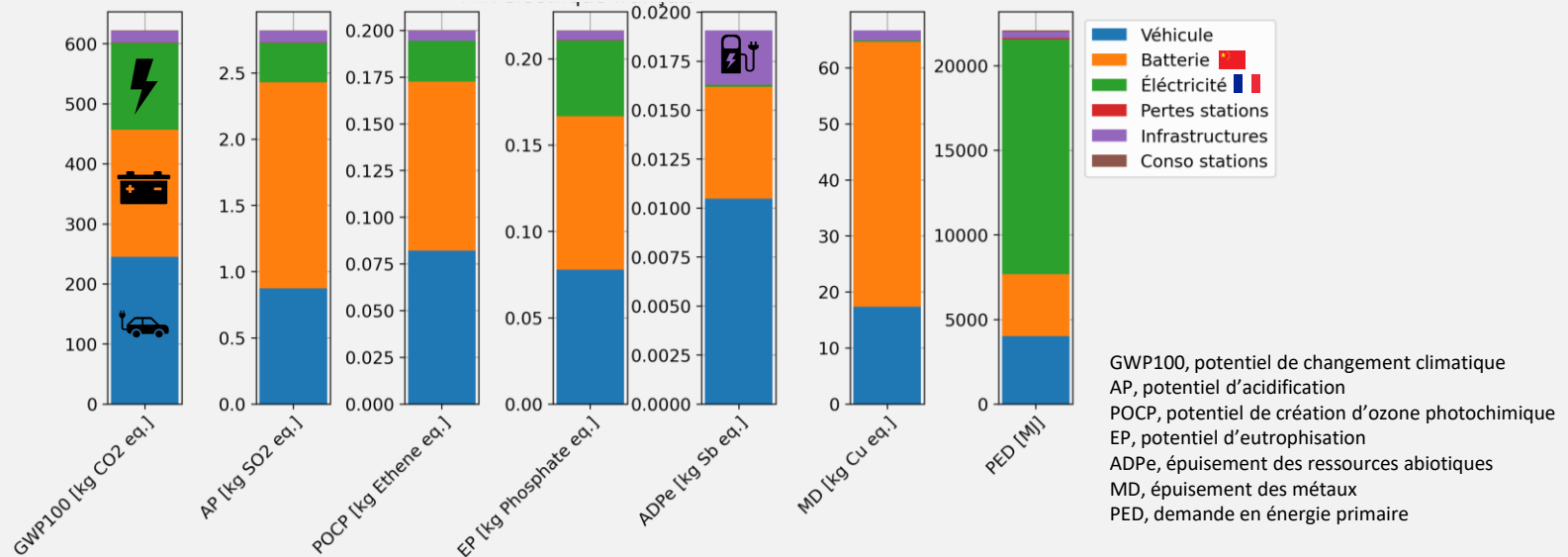


Fig. 7 : Impacts environnementaux générés par les BEV sur l'A6 en une heure moyenne de circulation à l'horizon 2024 (mix électrique français)

# Conclusion

- Autonomie
- Vitesse de recharge
- Disponibilité des bornes

Verrous de la  
longue  
distance

Déploiement  
des BEV

Manque de  
vision globale

- dimensionnement des stations de recharge
- évaluation environnementale
- influence du comportement de l'utilisateur

## Méthodologie pour proposer des recommandations multi- perspectives

Utilisation de données  
réelles

- pour estimer les flux origines-destinations
- pour analyser les pics d'affluence
- pour souligner la difficulté de disposer de données pour une technologie en plein essor

Diversité des véhicules  
et des comportement  
d'usages

- pour les comparer
- pour obtenir une répartition réaliste des besoins de recharge

## Exemples de résultats

Des écarts importants de temps de trajet entre véhicules

Un besoin de développer les  
performances des BEV pour  
augmenter leur adoption

Un besoin de sensibiliser  
les usagers aux effets de  
leurs comportements  
(vitesse, gestion de la  
charge) et besoin d'outils  
pour prévoir la  
disponibilité des IRVE

La maîtrise des impacts liés  
aux batteries est essentielle

Des écarts importants de  
temps de trajets entre  
véhicules

La consommation  
d'électricité est une  
source importante  
d'impacts, surtout si le  
mix est carboné

La réduction de la vitesse de circulation permet de  
réduire les inégalités entre ICEV et BEV et de réduire  
les impacts liés à la consommation et aux IRVE




Fin de la première partie

Merci pour votre attention

Julien Baltazar

✉ [Julien.baltazar@centralesupelec.fr](mailto:Julien.baltazar@centralesupelec.fr)

 [@julien-baltazar](#)

Deuxième partie :  
Présentation de mon sujet de thèse

# Méthode d'éco-conception d'un système de mobilité électrique couplant le véhicule, les infrastructures et les usages sur un territoire

Julien Baltazar (Laboratoire de Génie Industriel (LGI) CentraleSupélec)

Direction :

Jakob Puchinger (LGI CentraleSupélec, IRT SystemX)

Encadrement :

Flore Vallet (LGI CentraleSupélec, IRT SystemX)

Nicolas Perry (I2M Arts et Métiers Bordeaux)



# Contexte environnemental de la mobilité

## B- Comment réduire les impacts ?

Différents leviers :

- Le **report modal** (ex. de l'avion au train) ;
- La **sobriété** dans les usages (ex. moins de trajets, voyages plus lents) ;
- L'**efficacité** des modes de transport (ex. optimisation des véhicules, augmentation des taux de remplissage) ;
- Les **sources d'énergie** utilisées (ex. de l'essence à l'électricité non fossile).

Mais, il y a deux principales barrières sociologiques et techniques...

# Contexte environnemental de la mobilité

## C- Les barrières à la transition

### 1. La mobilité a fortement augmenté entre 2008 et 2019

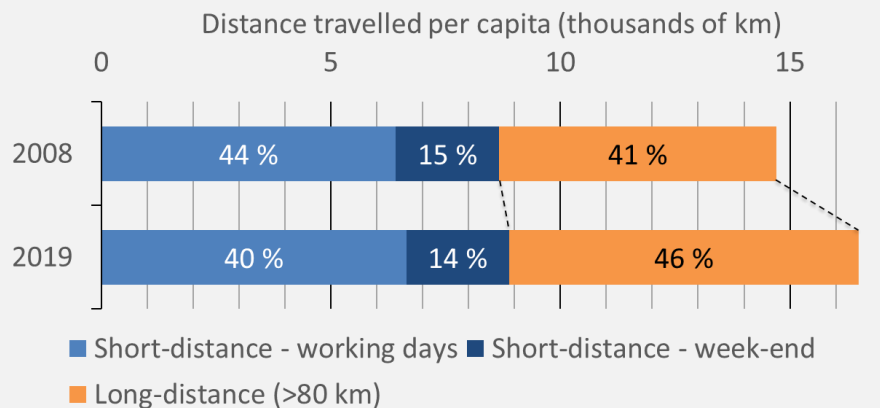
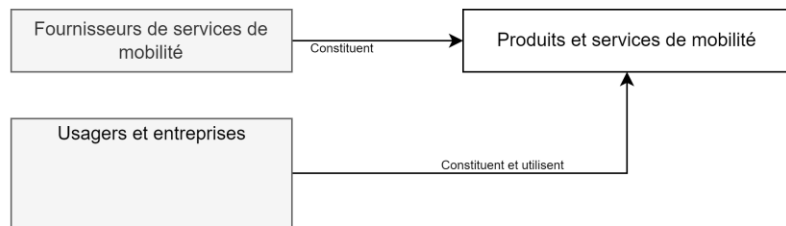


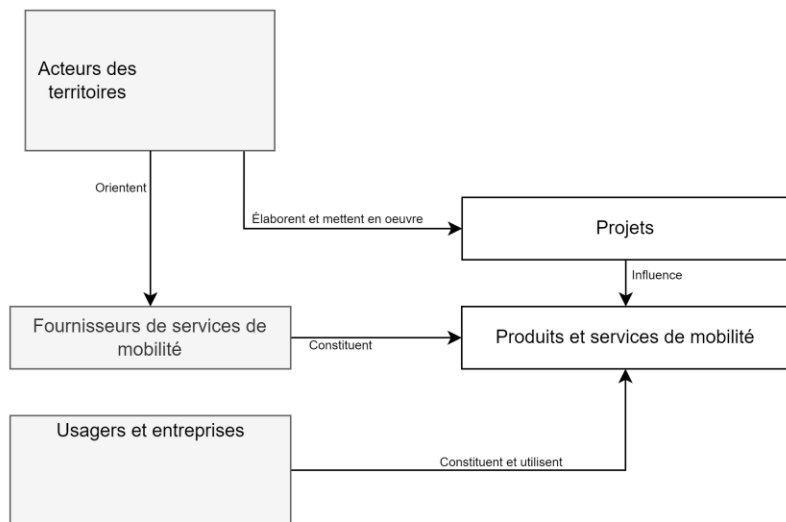
Fig. 3 : Comparaison de la distance moyenne parcourue par habitant en 2008 et en 2019, marche exclue, France (SDES, 2018 ; SDES, 2021)

### 2. L'électrification ne peut pas résoudre tous les problèmes (cf. précédemment).

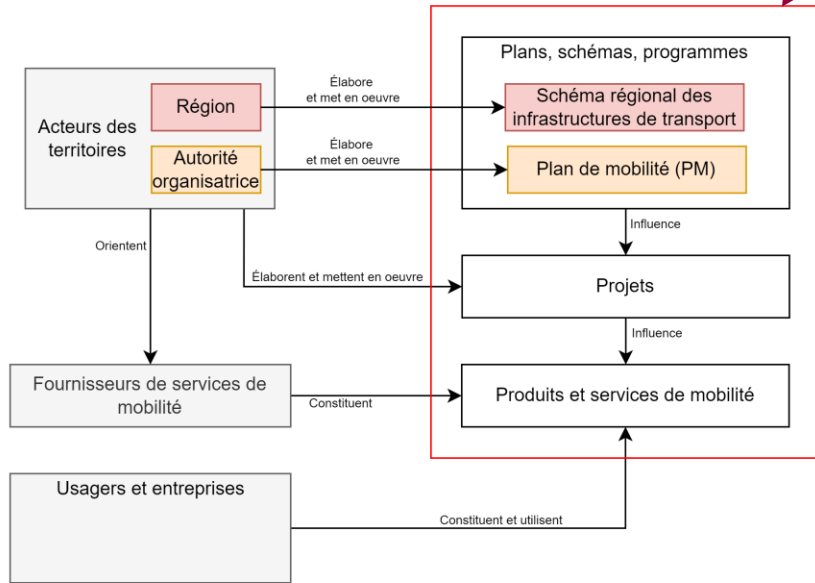
Alors, comment peut-on mieux intégrer les enjeux environnementaux à différents niveaux de prise de décision ?

# L'intégration de l'environnement dans les processus de conception en mobilité

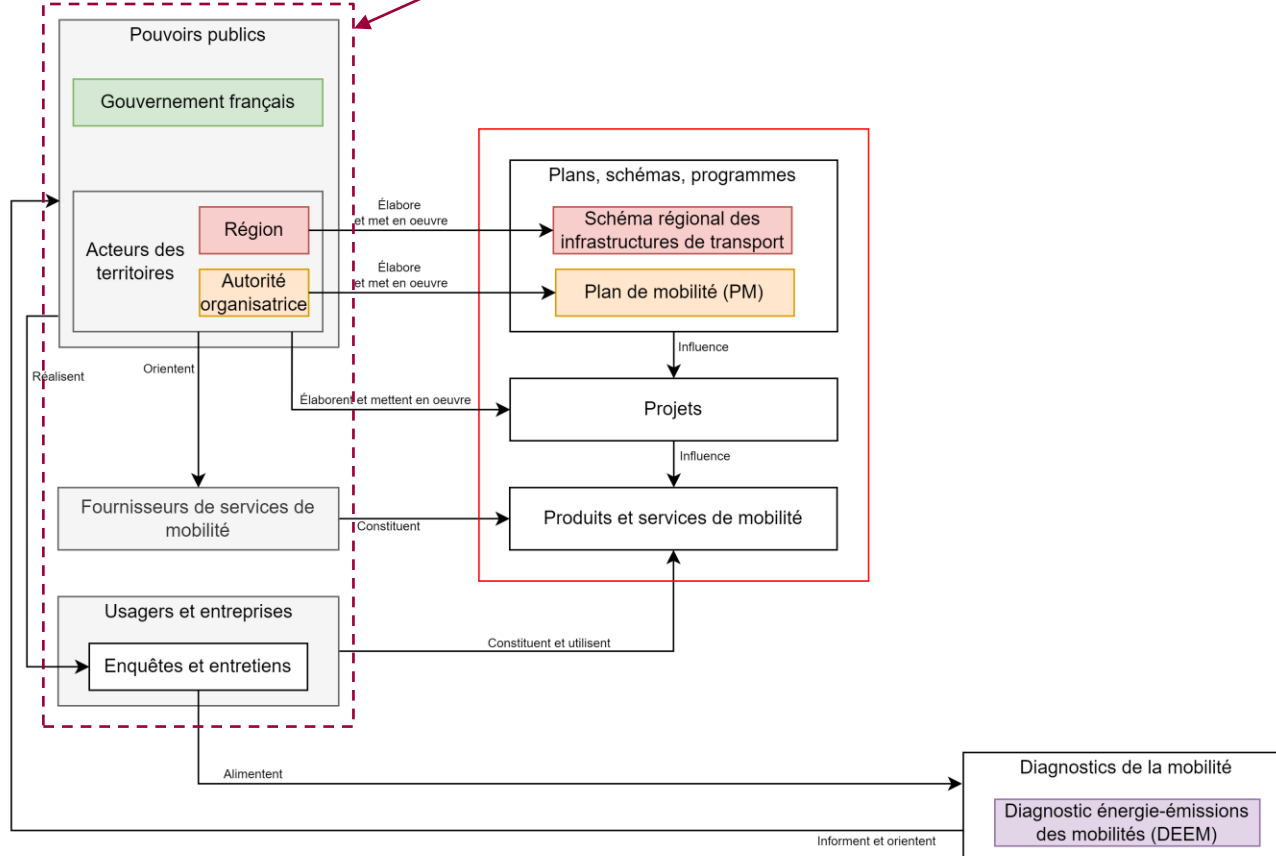


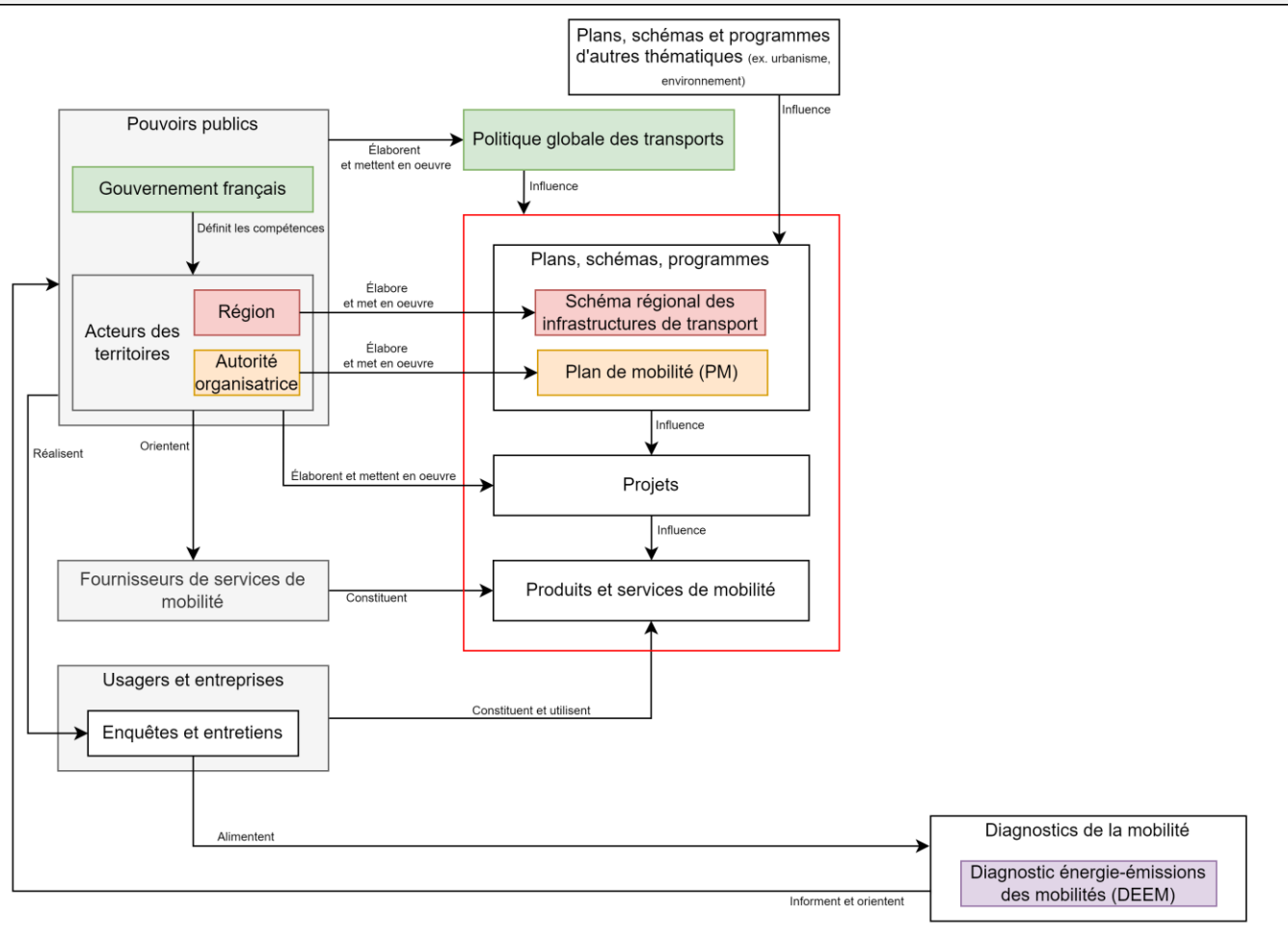


# Écosystème de mobilité territorial

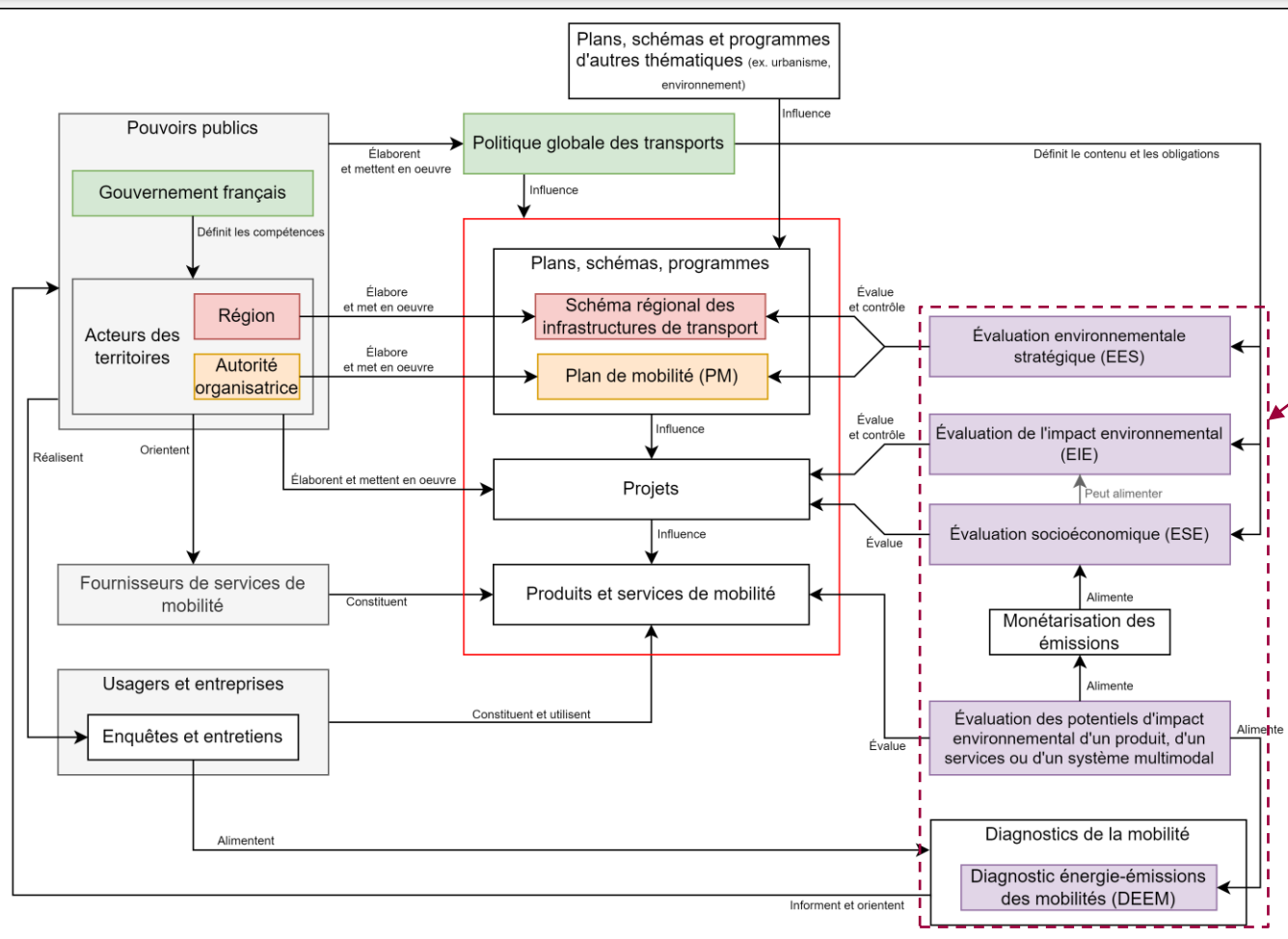


## Parties prenantes





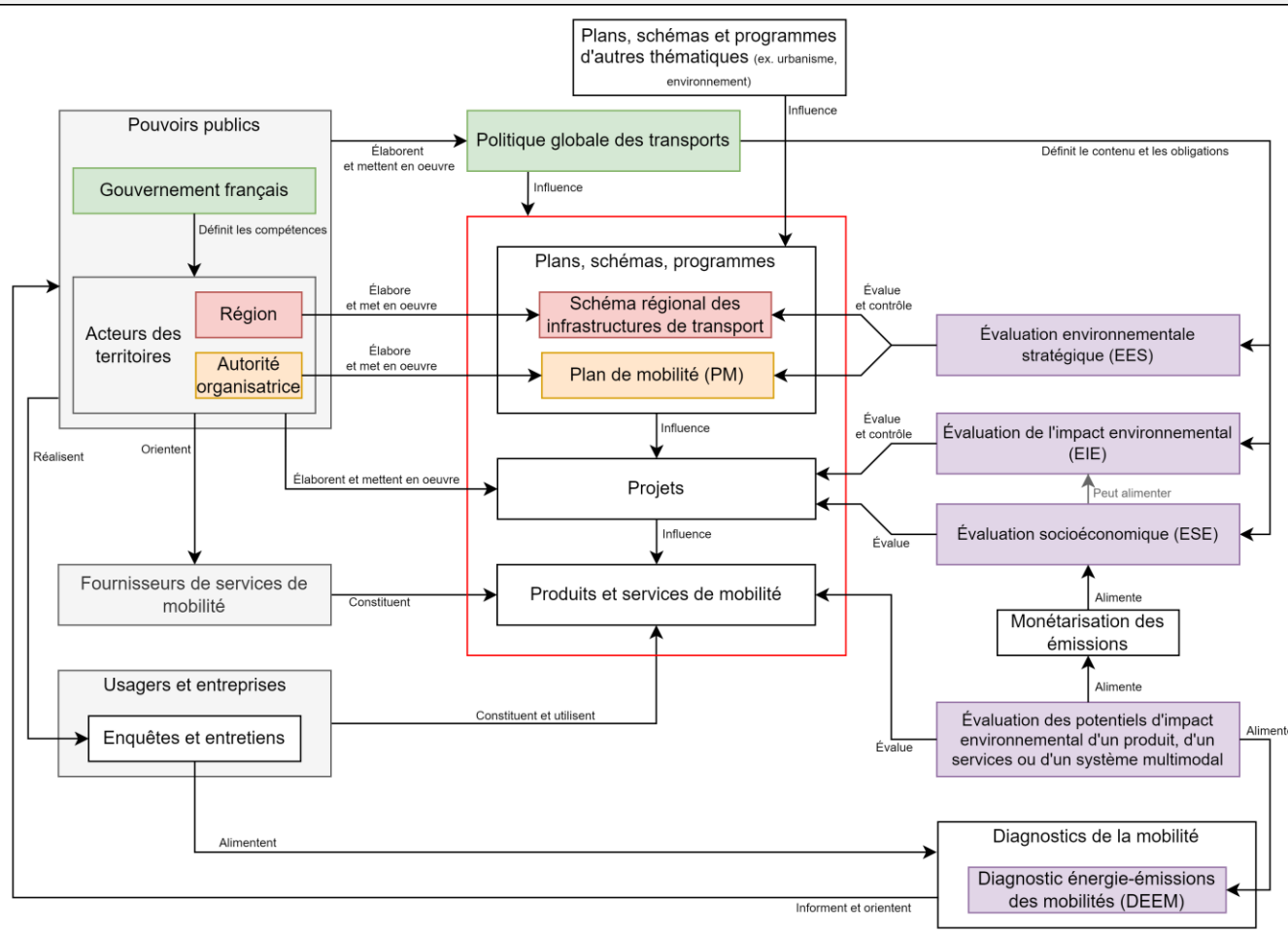




Méthode d'évaluation prenant en compte les aspects environnementaux

Les écosystèmes de mobilité sont complexes car leur organisation implique :

- des arbitrages multicritères,
- de la prise de décision à plusieurs niveaux
- et la prise en compte d'autres secteurs (ex. aménagement, énergie).



**Légende :**

- Écosystème de mobilité territorial
- Parties prenantes
- Méthode d'évaluation prenant en compte les aspects environnementaux

**Niveau de prise de décision :**

- Échelle nationale
- Échelle de la région
- Échelle d'un ou de plusieurs EPCI

# Formulation de questions de recherche

Comment écoconcevoir un écosystème de mobilité durable sur un territoire ?

# Formulation de questions de recherche

Comment écoconcevoir un écosystème de mobilité durable sur un territoire ?



Comment l'écoconception peut-elle guider **une AOM** pour rendre son écosystème de mobilité plus soutenable et plus résilient au sein de **son territoire** ?



Comment l'écoconception peut-elle être utilisée pour réduire les impacts des trajets **longue-distance** et pour construire un écosystème de mobilité plus durable et résilient ?



Cibler particulièrement la longue-distance ?

# Perspective, prochains travaux



Conduire des entretiens avec  
les acteurs des territoires  
Définir un cas d'étude



Définir un jeu d'indicateurs articulé entre  
les différents niveaux de conception et  
un mode de suivi efficace




Créer un outil type « tableau de  
bord » pour conseiller les acteurs en  
fonction des objectifs et des effets  
des mesures antécédentes

Fin de la dernière partie

Merci pour votre attention

Julien Baltazar

✉ [Julien.baltazar@centralesupelec.fr](mailto:Julien.baltazar@centralesupelec.fr)

 [@julien-baltazar](#)