



CENTRE  
INTERNATIONAL  
DE RECHERCHE  
SUR L'ENVIRONNEMENT  
ET LE DÉVELOPPEMENT



# Transportation infrastructures in a low carbon world : an evaluation of investment needs and their determinants

Vivien FISCH-ROMITO, CIRED, [vfisch@centre-cired.fr](mailto:vfisch@centre-cired.fr)  
Céline GUIVARCH, CIRED, Ecole des Ponts Paris-Tech

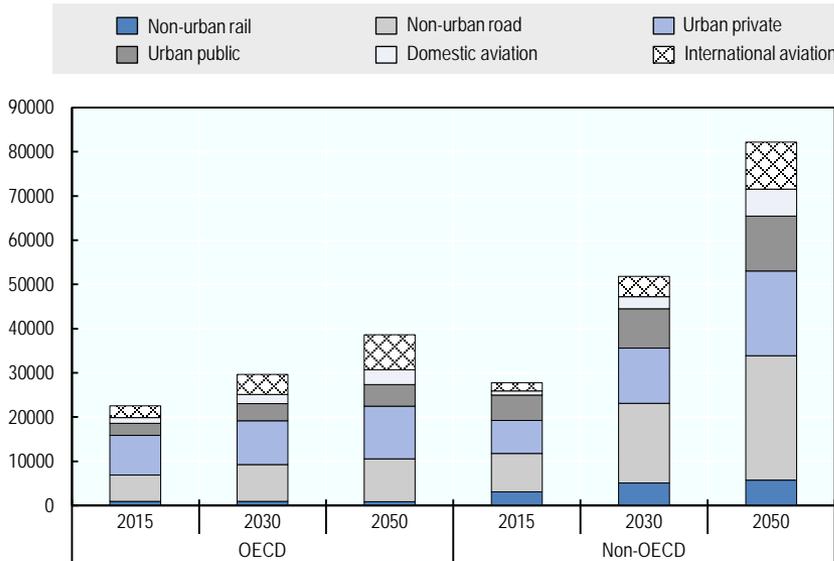
Journée annuelle de la Chaire Modélisation prospective 2019

13/11/2019

**C.I.R.E.D.** CNRS (UMR N° 8568) - ENPC  
EHESS - AGROPARISTECH  
Jardin Tropical CIRAD  
45 bis Avenue de la Belle Gabrielle  
F-94736 Nogent-sur-Marne, France

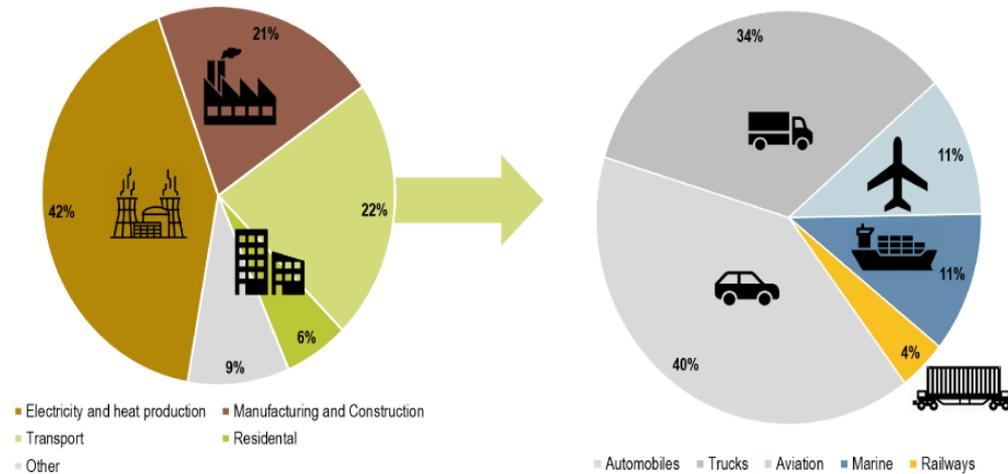
# A l'interface des enjeux développement et climat

**Demande de transport de passagers (billion pkm)**



Source : ITF, 2017

**Contribution du secteur des transports aux émissions globales de CO2**



Source : Rodrigue, 2017

**Assurer l'offre de mobilité**

**Transition bas-carbone**

Construction et mise à niveau du stock existant

**Infrastructures de transport**

Report modal (Henao, 2015) et verrouillage carbone (Guivarch, 2011)

# Sous-investissement chronique ?

Filling the infrastructure investment gap.

The role of Project Preparation an overview of MDBs and the Inter-American Development Bank approach

Reinaldo Fioravanti

Infrastructure around the world is failing. Here's how to make it more resilient



How can we close a \$18 trillion gap in infrastructure investment?

Image: REUTERS/Philippine

16 Jan 2019

John P. Drzak

Principal, Global Risk and Specialist, Marsh LLC

Persistent underfunding of critical infrastructure worldwide is hindering economic progress, and exposing businesses to significant risks. Existing physical and digital infrastructure is aging and facing challenges from cyberattacks and climate change. New infrastructure development is needed to support economic growth, and address the growing demand for digital services, and to improve the quality of life for consumers and businesses.

The world is facing a \$15 trillion infrastructure gap by 2040. Here's how to bridge it



Image: REUTERS/John O'Brien

INFRASTRUCTURE  
Study: A Lack of American Infrastructure Investment Is Costing Billions

A recent study estimates that as much as \$340 billion could be left on the table between 2017 and 2023 as a result of the nation's aging infrastructure and a lack of investment.

BY JASON LAUGHLIN, PHILLY.COM | MAY 18, 2018



er in Washington DC this on their list will be unsurprising given that providing dividends for an or consumers and connect an national an to the Global

## Les infrastructures de la SNCF en manque d'investissements

Le groupe ferroviaire a connu ces dernières semaines une succession d'incidents des problèmes structurels de l'entreprise.

Il promet de mettre l'accent sur la rénovation du réseau et la diffusion de l'information voyageurs.

Enacted

**"...the transport infrastructure gap in Latin America will once again increase, which could seriously limit the total volume traded" (Campos & Gaya, 2009)**

# Questions de recherche et contributions

---

- **Comment les besoins d'investissement en infrastructure de transport diffèrent-ils dans un monde bas-carbone ?**
  - Impact ambigu des politiques climatiques car interaction avec autres secteurs (Kennedy & Corfee-Morlot, 2013) ?
  - Hétérogénéité entre régions ?
  - Leviers de réduction ?
- **Revue de littérature**
  - Quantifications existantes à l'échelle global sur un scénario unique IEA 2DS (Dulac,2013; IEA,2016).
  - Peu d'analyses à des échelles régionales (Perroti,2011; Bhattacharyay,2010)
  - Quantifications avec modèles intégrées portant principalement sur le secteur de l'énergie (Bosetti et al., 2009, Carraro et al., 2012, Tavoni et al., 2015, McCollum et al., 2018).

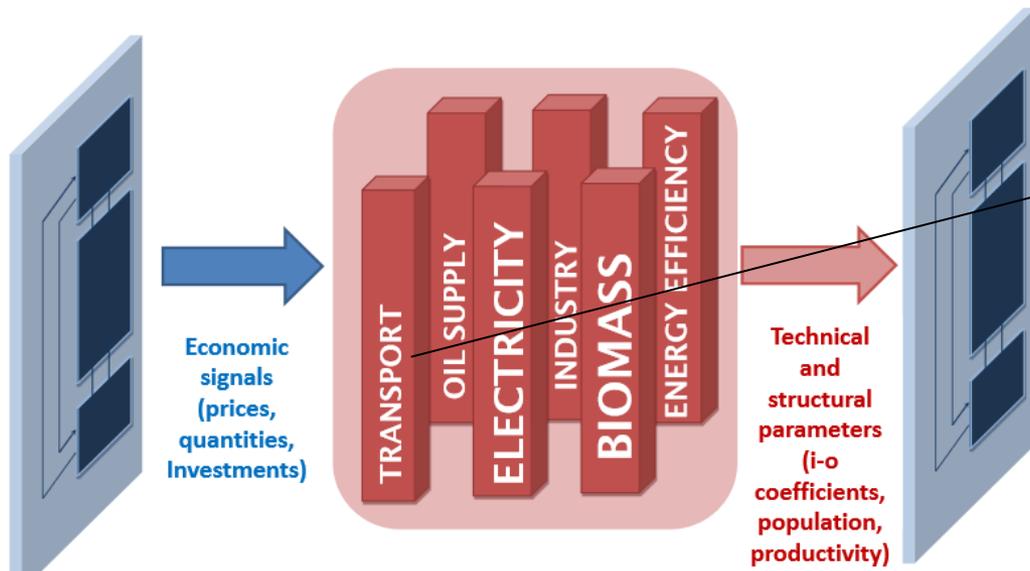
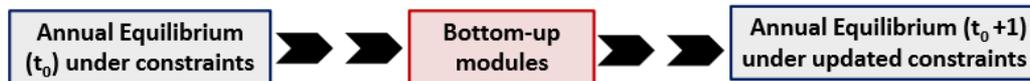
# Questions de recherche et contributions

---

- **Comment les besoins d'investissement en infrastructure de transport diffèrent-ils dans un monde bas-carbone ?**
  - Impact ambigu des politiques climatiques car interaction avec autres secteurs (Kennedy & Corfee-Morlot, 2013) ?
  - **Hétérogénéité entre régions ?**
  - **Leviers de réduction ?**
- **Revue de littérature**
  - Quantifications existantes à l'échelle globale sur un **scénario unique** IEA 2DS (Dulac,2013; IEA,2016)
  - **Peu d'analyses à des échelles régionales** (Perroti,2011; Bhattacharya,2010)
  - **Quantifications avec modèles intégrées portant principalement sur le secteur de l'énergie** (Bosetti et al., 2009, Carraro et al., 2012, Tavoni et al., 2015, McCollum et al., 2018).
- **Méthodologie**
  - 1) Prospective du secteur transport dans IMACLIM-R, modèle **multirégional**, multisectoriel et équilibre général
  - **2) Construction d'un module de quantifications stocks et investissements ('ex-post')**
  - **3) Scénarios et analyse de sensibilité globale**

# Le modèle IMACLIM-R (Waisman et al, 2012)

- Modèle CGE récursif hybride, 12 régions, 12 secteurs,
- Inertie des systèmes techniques
- Trajectoires économiques « de second rang »
- Contrainte CO2 : Prix du carbone uniforme endogène



## *Passager :*

- Mobilité dans la fonction d'utilité des ménages
- Parts budgets temps et revenu constant alloués aux déplacements

## *Fret:*

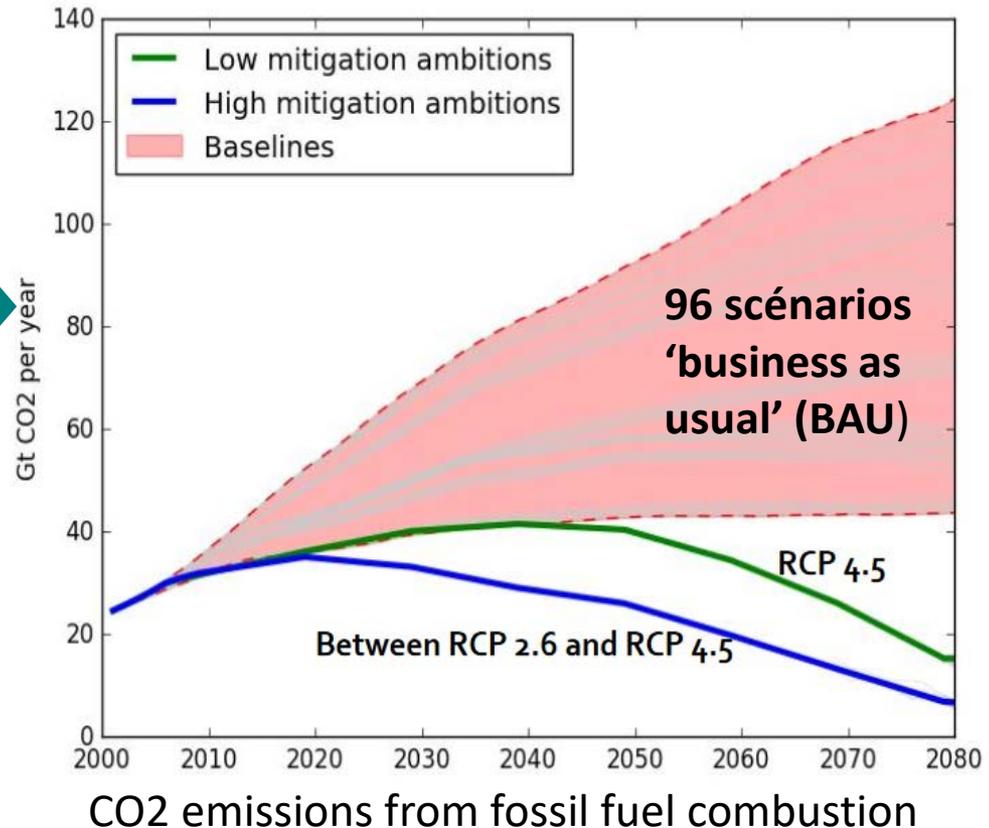
- Coefficients Inputs/Outputs

# Scénarios socio-économiques avec IMACLIM-R

Incertitudes considérées (groupe de paramètres)	Paramètres dans le modèle
<b>Croissance économique</b>	Démographie, productivité du travail
<b>Mitigation challenges</b>	Réserves FF, efficacité énergétique, low-carbon tech diffusion
<b>Transport activité</b> : Etalement urbain, Télétravail, Logistique	Input output coeff pour le fret, Part du budget alloué à la mobilité
<b>Transport structure</b> : Mobilité individuelle/partagée	Taux occupation voiture, Vitesse véhicule, taux motorisation
<b>Transport intensité</b> : efficacité énergétique	Elasticité prix efficacité énergétique, progrès technique sur technologies VP
<b>Transport Fuel</b> : disponibilité carburants bas-carbone	Vitesses pénétration Coal-to Liquid fuels et biofuels

# Scénarios socio-économiques avec IMACLIM-R

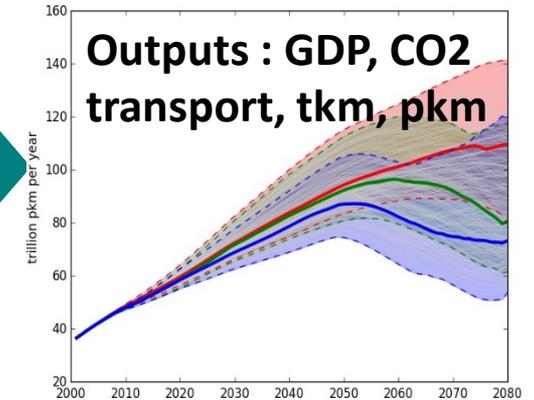
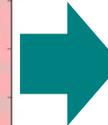
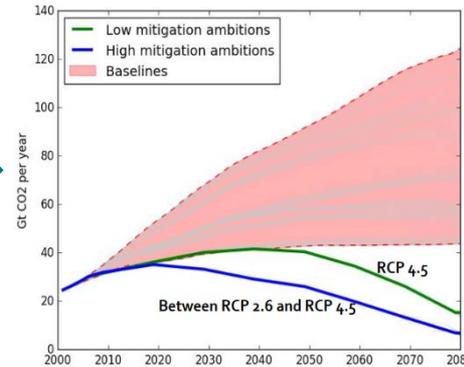
Incertitudes considérées (groupe de paramètres)	Paramètres dans le modèle
Croissance économique	Démographie, productivité du travail
Mitigation challenges	Réserves FF, efficacité énergétique, low-carbon tech diffusion
Transport activité : Etalement urbain, Télétravail, Logistique	Input output coeff pour le fret, transport income budgt
Transport structure : Mobilité individuelle/partagée	Taux occupation voiture, Vitesse véhicule, taux motorisation
Transport intensité : efficacité énergétique	Elasticité prix efficacité énergétique, progrès technique sur technologies VP
Transport Fuel: disponibilité carburants bas-carbone	Vitesses pénétration: Coal-to Liquid fuels et biofuels



# Scénarios socio-économiques avec IMACLIM-R

96 scénarios x 3 Pol clim = 288 scénarios

Incertitudes considérées (groupe de paramètres)	Paramètres dans le modèle
Croissance économique	Démographie, productivité du travail
Mitigation challenges	Réserves FF, efficacité énergétique, low-carbon tech diffusion
Transport activité : Etalement urbain, Télétravail, Logistique	Input output coeff pour le fret, transport income budgt
Transport structure : Mobilité individuelle/partagée	Taux occupation voiture, Vitesse véhicule, taux motorisation
Transport intensité : efficacité énergétique	Elasticité prix efficacité énergétique, progrès technique sur technologies VP
Transport Fuel: disponibilité carburants bas-carbone	Vitesses pénétration: Coal-to Liquid fuels et biofuels



# Modèle de calcul des investissements en infra

---

- **Désagrégation fine des parts modales**
  - Transports en commun (Endogène)-> BRT, bus, train, high speed rail (HSR)
  - Fret terrestre (Endogène)-> rail et route
- **Agrégation des différents modes sur infrastructures**
  - Rail (pkm+tkm on track.km), Road (vkm on paved lane.km), BRT lanes (pkm on trunk.km), HSR (pkm on track.km)
- **Evolution du stock d'infrastructures (Dulac, 2013)**
  - Convergence vers taux d'occupation infra vers valeurs cibles à long terme
  - Pas de temps annuel : Nouvelles constructions ou augmentation du taux d'occupation
  - Densité maximum en infrastructures (Dulac,2013)
- **Coûts associés**
  - Construction, Mise à niveau , Maintenance
  - Aéroports : Coûts par passager kilomètre

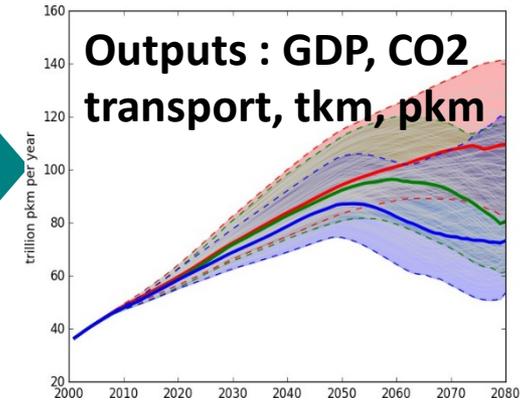
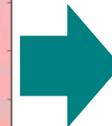
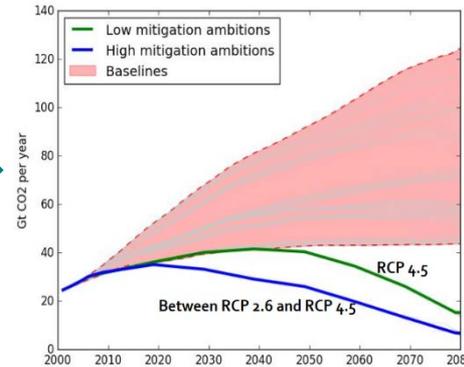
# Modèle de calcul des investissements en infra

- **Désagrégation fine des parts modales** ← Evolution : constantes/report modal rail
  - Transports en commun (Endogène)-> BRT, bus,
  - Fret terrestre (Endogène)-> rail et route
- **Agrégation des différents modes sur infrastructures**
  - Rail (pkm+tkm on track.km), Road (vkm on paved lane.km) BRT lanes (nkm on trunk.km), HSR (pkm on track.km) ← Convergence pays développés ?
- **Evolution du stock d'infrastructures (Dulac, 2013)**
  - Convergence vers **taux d'occupation infra cibles à long terme** ← 2050/2080 ?
  - Pas de temps annuel : Nouvelles constructions ou augmentation du taux d'occupation
  - Densité maximum en infrastructures (Dulac,2013)
- **Coûts associés** ← Evolution couts unitaires rail/route
  - Construction, Mise à niveau , Maintenance
  - Aéroports : Coûts par passager kilomètre

# Scénarios socio-économiques avec IMACLIM-R

96 scénarios x 3 Pol clim = 288 scénarios

Incertitudes considérées (groupe de paramètres)	Paramètres dans le modèle
Croissance économique	Démographie, productivité du travail
Mitigation challenges	Réserves FF, efficacité énergétique, low-carbon tech diffusion
Transport activité : Etalement urbain, Télétravail, Logistique	Input output coeff pour le fret, transport income budgt
Transport structure : Mobilité individuelle/partagée	Taux occupation voiture, Vitesse véhicule, taux motorisation
Transport intensité : efficacité énergétique	Elasticité prix efficacité énergétique, progrès technique sur technologies VP
Transport Fuel : disponibilité carburants bas-carbone	Vitesses pénétration: Coal-to Liquid fuels et biofuels



X 144

- 41472 trajectoires d'investissements
- 5 régions : Asia, Latin America (LAM), OCDE90, Commonwealth of Independent States (CIS), Middle East and Africa (MAF)

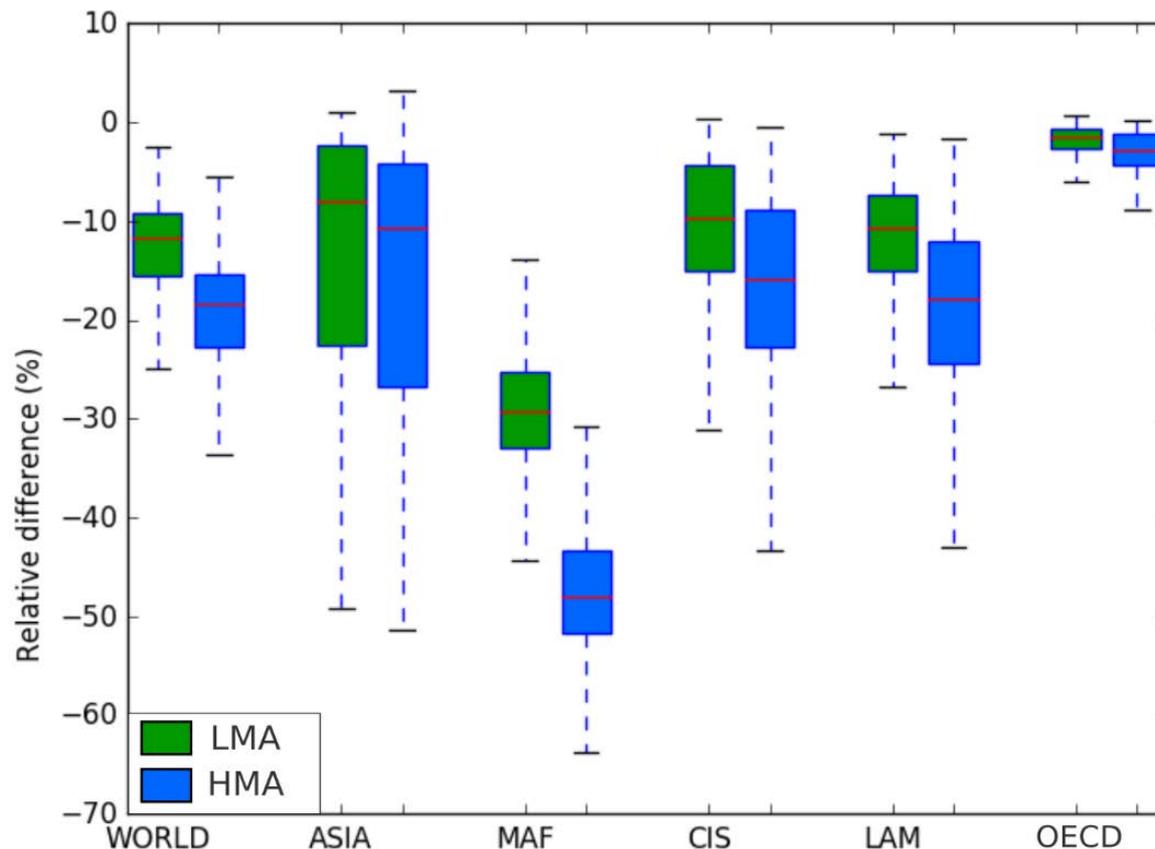
**Modèle de calcul des investissements en infra**

- Désagrégation fine des parts modales
  - Transports en commun (Endogène) -> BRT, bus, modal rail
  - Fret terrestre (Endogène) -> rail et route
- Agrégation des différents modes sur infrastructures
  - Rail (pkm+tkm on track km), Road (vkm on paved lane km, BRT lanes (vkm on trunk km), HSR (pkm on track km)
- Evolution du stock d'infrastructures (Dulac, 2013)
  - Convergence vers taux d'occupation infra cibles à long terme - 2050/2080 ?
  - Pas de temps annuel : Nouvelles constructions ou augmentation du taux d'occupation
  - Densité maximum en infrastructures (Dulac, 2013)
- Coûts associés
  - Construction, Mise à niveau, Maintenance
  - Aéroports : Coûts par passager kilomètre

11 12/11/2019 C.I.R.E.D. CNRS (UMR N° 8548) - ENPC EHESS - AGROPARISTECH CIRAD



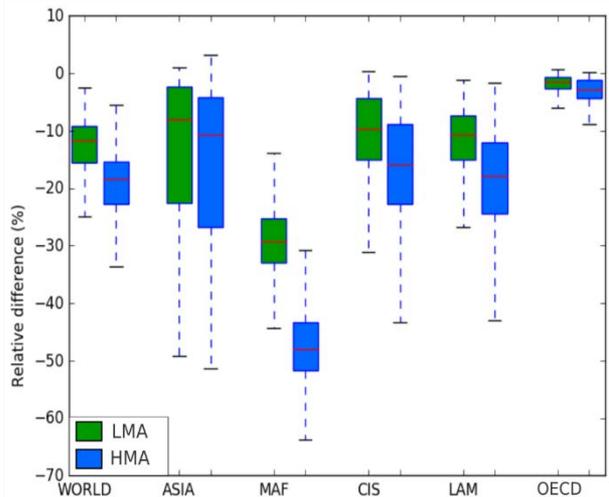
# Réduction des besoins d'investissements dans les scénarios bas carbone



Comparison of cumulative investment needs (undiscounted) between mitigation scenarios and their corresponding baselines from 2015 to 2080

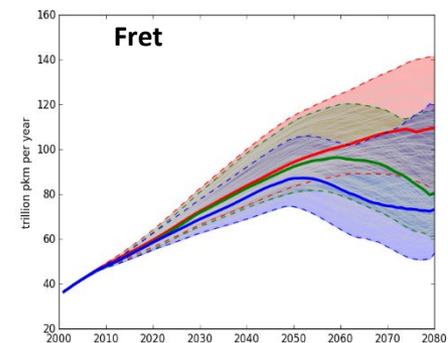
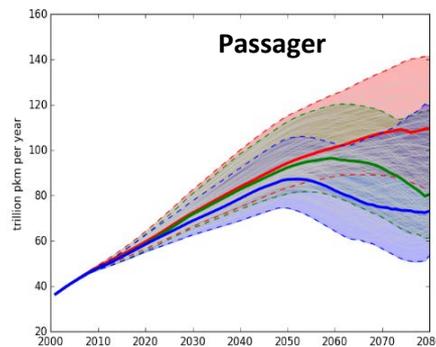
# Réduction des besoins d'investissements dans les scénarios bas carbone

Evolution des parts modales des modes de transports dans les scénarios IMACLIM

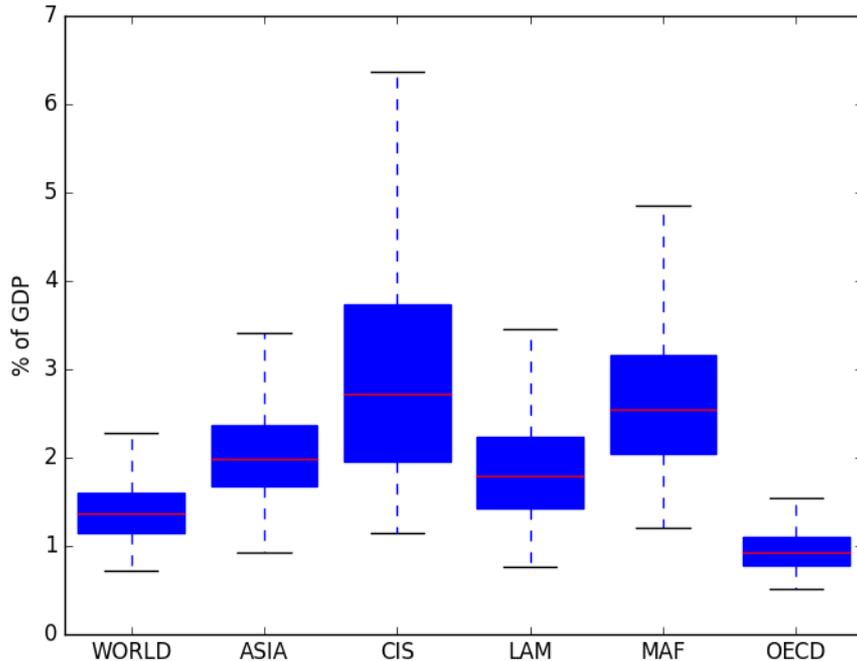


Comparison of cumulative investment needs between mitigation scenarios and their corresponding baselines from 2015 to 2080

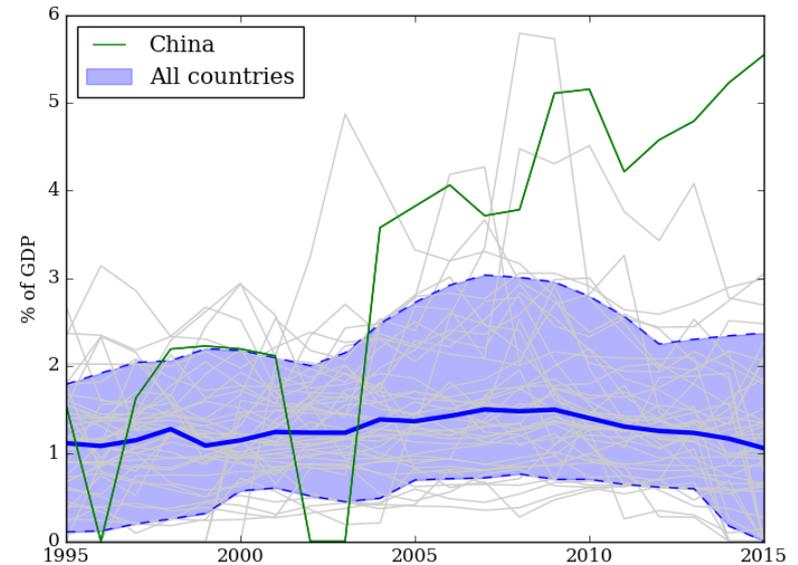
		2015	2050		
			Baseline	LMA	HMA
<b>ASIA</b>	Personal Vehicle	24%	37%	34%	30%
	Air	1%	3%	3%	3%
	Public transport	40%	49%	50%	51%
	Non Motorized	35%	11%	13%	17%
<b>CIS</b>	Personal Vehicle	64%	68%	66%	61%
	Air	2%	8%	8%	8%
	Public transport	23%	20%	22%	24%
	Non Motorized	11%	4%	4%	7%
<b>MAF</b>	Personal Vehicle	31%	43%	41%	38%
	Air	2%	5%	3%	3%
	Public transport	42%	40%	42%	40%
	Non Motorized	25%	12%	13%	19%



# Investissements régionaux dans les scénarios 'HMA'

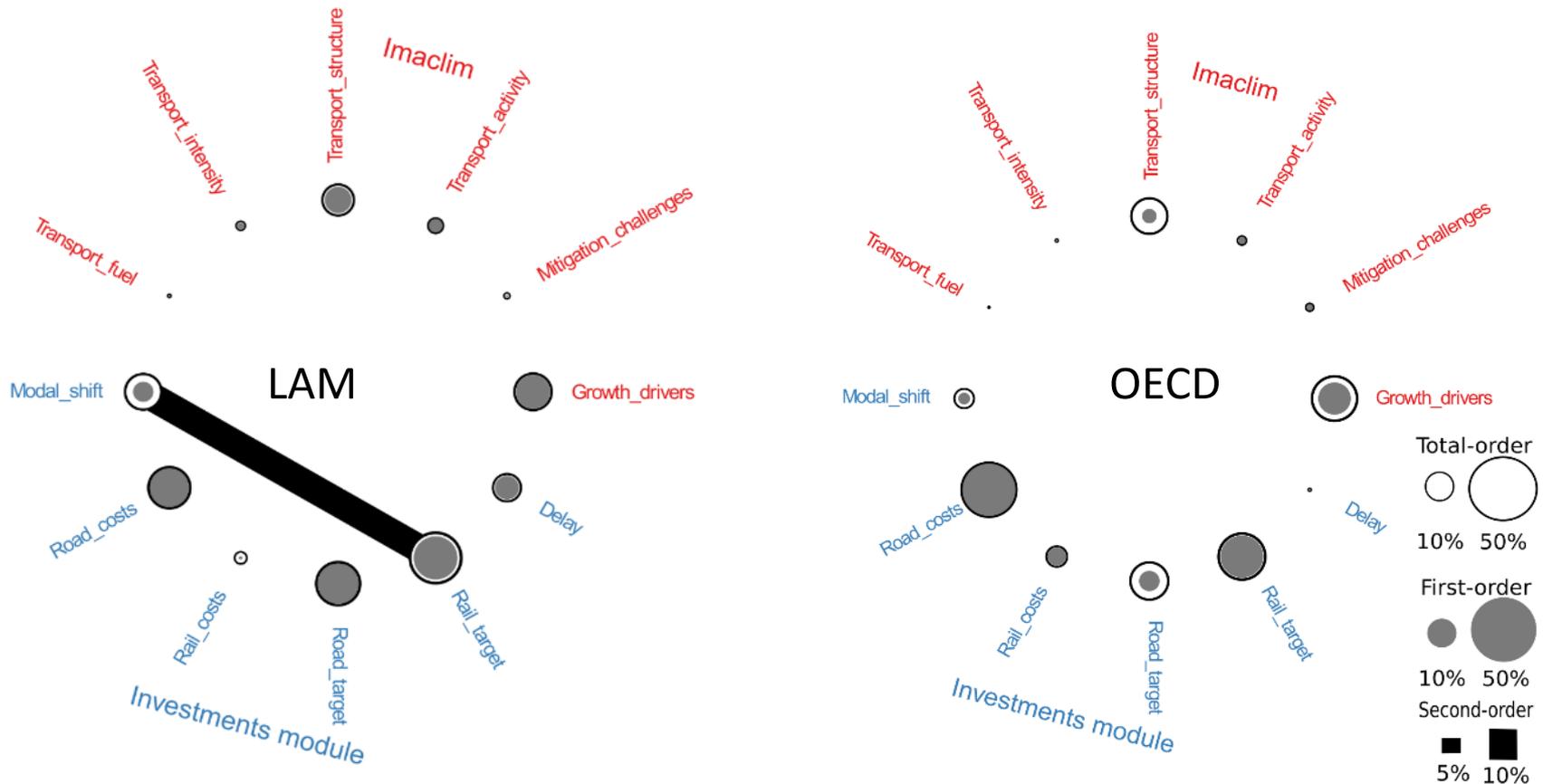


Average over time of annual investments needs relative to GDP for each scenario from 2015 to 2080



Historical annual investments on transport infrastructures (rail, road and airports) - median (solid line) and 10th and 90th percentile (dashed lines) - Data aggregated by the authors from OECD (2017) and World Bank (2017) for 45 countries

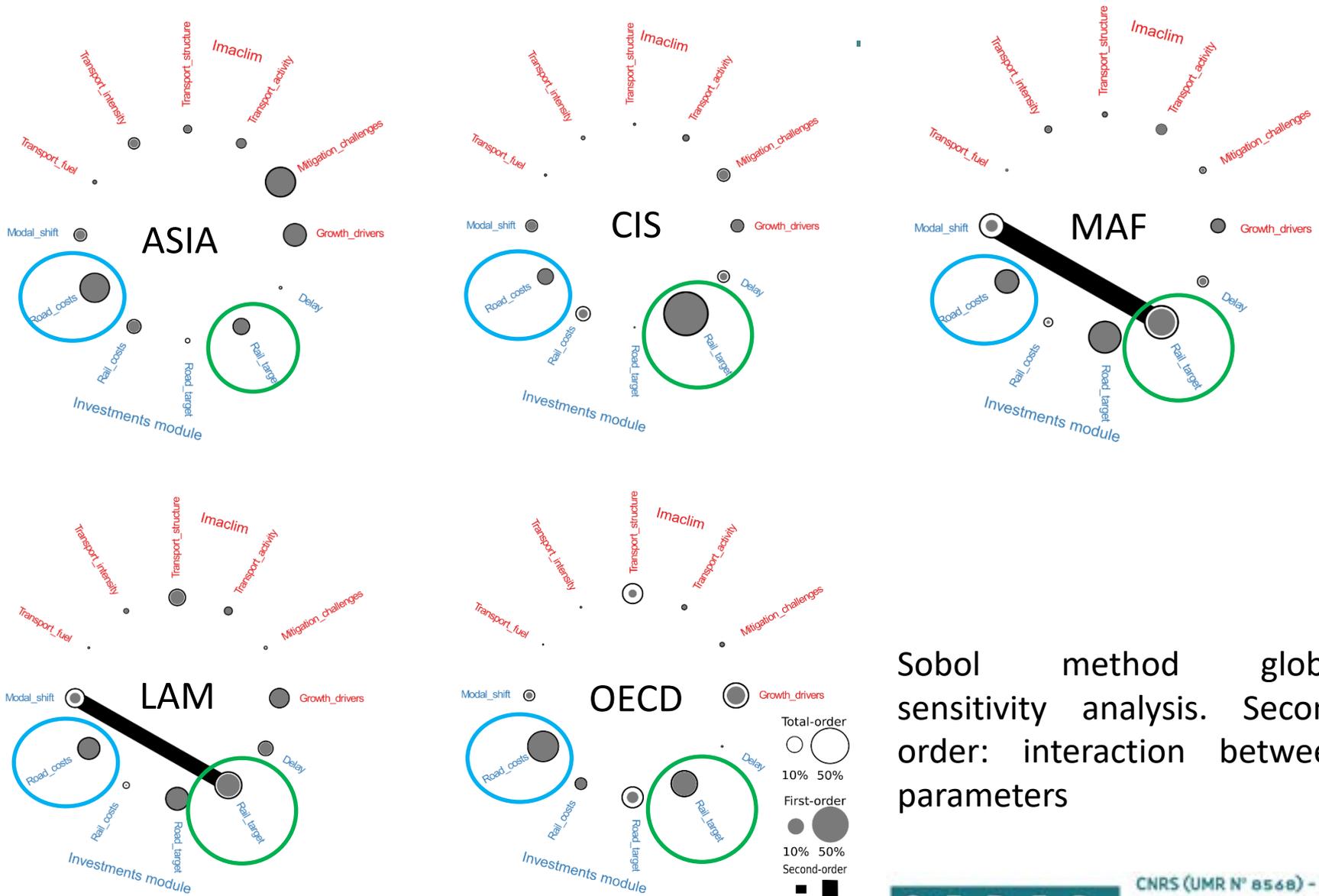
# Leviers de réduction des besoins d'investissements : Analyse de sensibilité globale



Sobol method global sensitivity analysis. Second order:  
interaction between parameters

13/11/2019

# Déterminants des besoins d'investissements (% GDP)



Sobolj method global sensitivity analysis. Second order: interaction between parameters

# Conclusions et implications

---

- **Politiques climatiques tendent à réduire les besoins cumulatifs d'investissements dans les infrastructures de transport**
  - Résultat valide à l'échelle globale et régionale
  - Réduction et réorientation des investissements ; Contrebalance les besoins d'investissements plus élevés dans le secteur énergétique
- **...mais situation hétérogènes entre régions**
  - Hétérogénéité entre régions : faible pour OCDE, élevés pour MAF et CIS
  - Besoins élevés en comparaison des données historiques d'investissements
- **Déterminants des investissements**
  - Spécifiques à chaque région pour certains facteurs
  - Communs : couts de la route (R&D ? Prix des ressources associées ?) et optimisation de l'utilisation du réseau ferré (conditions locales, types de leviers...)
- **Effet ambigu du report modal vers le rail**
  - Différents objectifs possibles : CO2, qualité de l'air, congestion
  - Levier de réduction des investissements uniquement s'il est combiné à une action sur l'occupation du rail

# Transportation infrastructures in a low-carbon world: an evaluation of investment needs and their determinants



Transportation Research Part D: Transport and Environment

Volume 72, July 2019, Pages 203-219



## Transportation infrastructures in a low carbon world: An evaluation of investment needs and their determinants

Vivien Fisch-Romito <sup>a, c, d, e</sup>, Céline Guivarch <sup>a, b</sup>

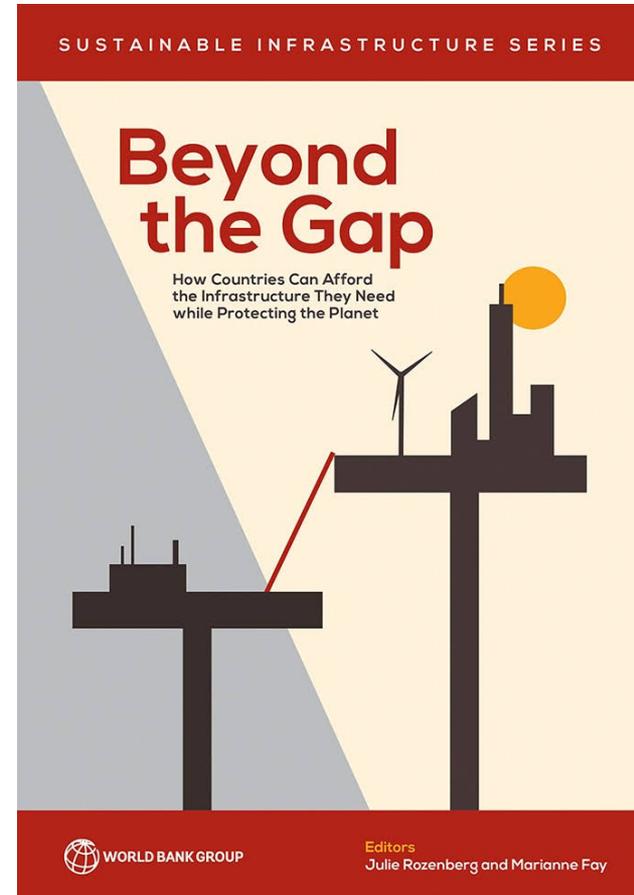
[Show more](#)

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.014>

[Get rights and content](#)

### Highlights

- We estimate transportation infrastructures investments consistent with IAM scenarios.
- Expenditures needed are lower in low-carbon pathways than in baseline scenarios.
- Investment needs relative to GDP differ between regions for low-carbon scenarios.
- Rail utilization level and road building costs are determining factors for all regions.



Vivien FISCH-ROMITO, CIRED, [vfisch@centre-cired.fr](mailto:vfisch@centre-cired.fr)