

MMUST

The background image shows a modern tram stop at dusk. On the left, there is a glass-enclosed shelter with a colorful, striped bench. A tram is blurred in motion on the right side of the frame, moving from left to right. The sky is a deep blue, and the overall scene is illuminated by the warm lights of the tram and the cool tones of the twilight.

MMUST - un outil au service du territoire transfrontalier du Grand Duché de Luxembourg pour réfléchir aux alternatives à l'autosolisme

Mathieu Jacquot – CEREMA

LE PROJET MMUST

LE PROJET MMUST

Interreg 
 GRANDE RÉGION | GROSREGION
MMUST

Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

6 acteurs principaux :



LE GOUVERNEMENT
 DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
 Ministère de la Mobilité
 et des Travaux publics



Axe prioritaire | Prioritätsachse 1
 Marche du travail intégré
 Integrierter Arbeitsmarkt



Le taux le plus élevé de frontaliers au sein de l'Union Européenne

- Plus de 210 000 travailleurs frontaliers avec le Luxembourg
- + 7 200 frontaliers par an dont + 4 500 français (2016/2021)
- 305 000 frontaliers en 2035 ?

Modèle multimodal et Scénarios de mobilité transfrontaliers

L'objectif du projet est d'élaborer un modèle de prévision des déplacements pour simuler l'effet des politiques de transport et d'aménagement, actuelles et futures, et de construire une vision prospective commune et partagée du territoire.

Multimodales Modell und Szenarien des Verkehrs über Territorialgrenzen

Hauptziel des Projektes ist die Erarbeitung eines vorausschauenden Modells der Bewegungsprofile, um die Auswirkung der derzeitigen und künftigen Transport- und Raumordnungspolitik zu simulieren und eine gemeinsame zukunftsweisende Vision für das gesamte Gebiet zu entwickeln.

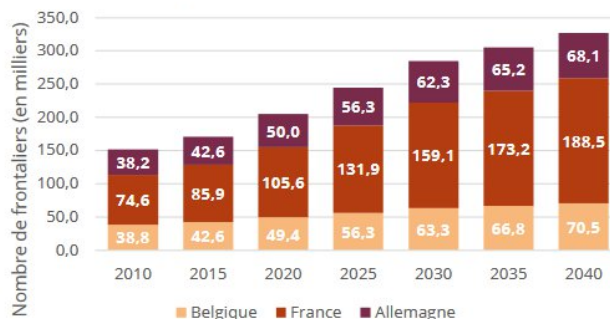
Partenaires du projet | Projektpartner:



Coût du projet | Kosten des Projekts: 2 875 601 €
 Coût FEDER total | Gesamt EFRE-Betrag: 1 707 279,80 €

www.mmust.eu

Flux de frontaliers entre 2010 et 2040



=> Des réseaux routiers et ferroviaires saturés

LE PROJET MMUST

1. Pourquoi un modèle ?

- a. Des phénomènes très complexes à l'œuvre (compétition entre bassins d'emplois, localisation résidentielle des frontaliers, effets de la congestion sur l'usage des TC...)...
- b. ... mais surtout une volonté politique locale (« Est-ce-que nos projets vont être suffisants ? »), avec de gros projets d'infrastructures à évaluer

2. Quel type de modèle ?

- a. Objectif de sortir de la dépendance à l'autosolisme : importance de bien modéliser la part modale
- b. En particulier, problème de la cohérence entre le modèle de choix de destination et le choix du mode de transport

⇒ Choix d'un modèle désagrégé pour calculer la demande

3. Avec quelles données ?

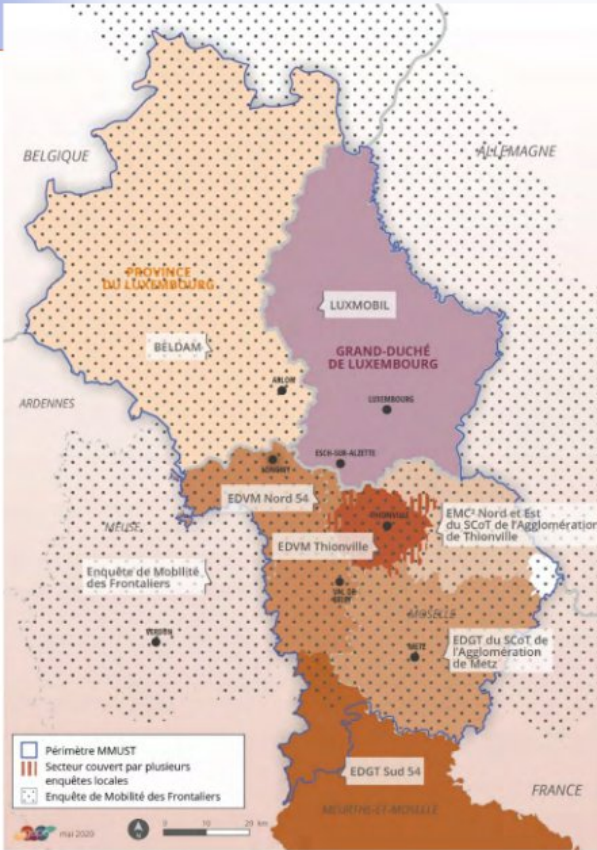
- a. Face à un univers de choix amener à évoluer (voies réservées par ex.), nécessité de combiner des préférences révélées et déclarées de comportements de mobilité
- b. Mise en cohérence des appareils statistiques des trois pays

⇒ Une démarche extrêmement complexe et coûteuse, à définir sur mesure

LES DONNÉES

LA BASE HARMONISÉE DES ENQUÊTES DE MOBILITÉ

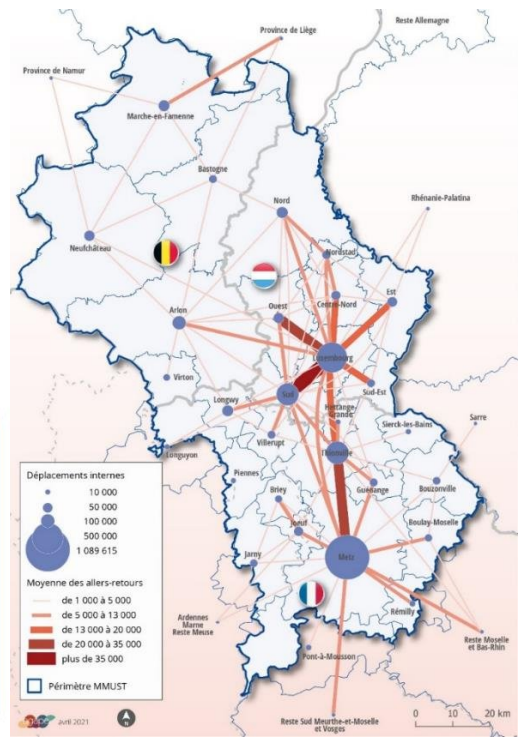
Harmonisation de 8 enquêtes issues de 3 pays



Des enquêtes de conceptions différentes, à des dates différentes

	Acronyme dans MMUST	Enquête	Année de collecte
	1 BELDAM	Belgian Daily Mobility	2010
	2 EMF	Enquête mobilité des frontaliers	2010-2011
	3 LUXMOBIL	LuxMobil	2017
EDGT	7 SCOTAM	Enquête déplacements grand territoire du SCoT de l'agglomération Messine	2016-2017
	5 SUD54	Enquête déplacements grand territoire du grand Nancy et Sud Meurthe et Moselle	2012-2013
EDVM	6 NORD54	Enquête déplacements villes moyennes du Nord Meurthe et Moselle	2013-2014
	4 SMITU	Enquête déplacements villes moyennes du SMITU Thionville-Fensch	2012
EMC ²	8 EMCNET	Enquête déplacements EMC ² de la région de Cattenom	2019

SIMO = base pré-harmonisée du sillon mosellan



Échantillonnage des enquêtes

57 154
personnes
enquêtées

30 905
ménages
enquêtés

134 304
déplacements
enquêtés

Représentatifs de

1 723 000
habitants

727 000
ménages













4 663 170
déplacements

L'ENQUÊTE DE PRÉFÉRENCES DÉCLARÉES SUR LE CHOIX MODAL



SCÉNARIO 5 sur 8

Parmi ces trois alternatives, laquelle préférez-vous ?

Mode utilisé	 Vélo et transports en commun	 Covoiturage	 Train
Coût du trajet	4 €	0 €	10 €
Départ	 3 départs par heure	 À l'heure convenue	 1 départ par heure
Durée totale du trajet	2 h. 31 min.	1 h. 32 min.	2 h. 10 min.
Retards	 Souvent un retard moyen	 Souvent un grand retard	 Pas de retard
Précisions	 Parking vélo sécurisé Itinéraires cyclistes sécurisés ⓘ	 Avec voie réservée  Aire de covoiturage accessible sans détours	Accès à la gare compliqué

Je choisis cette alternative

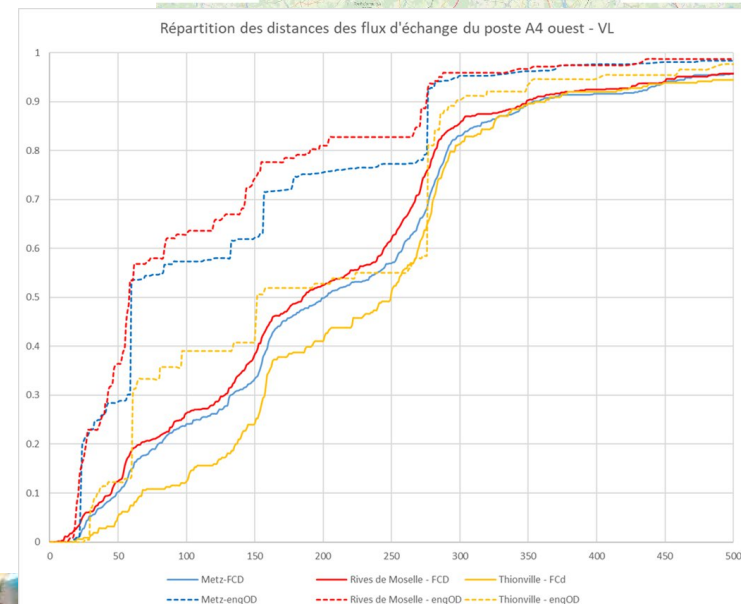
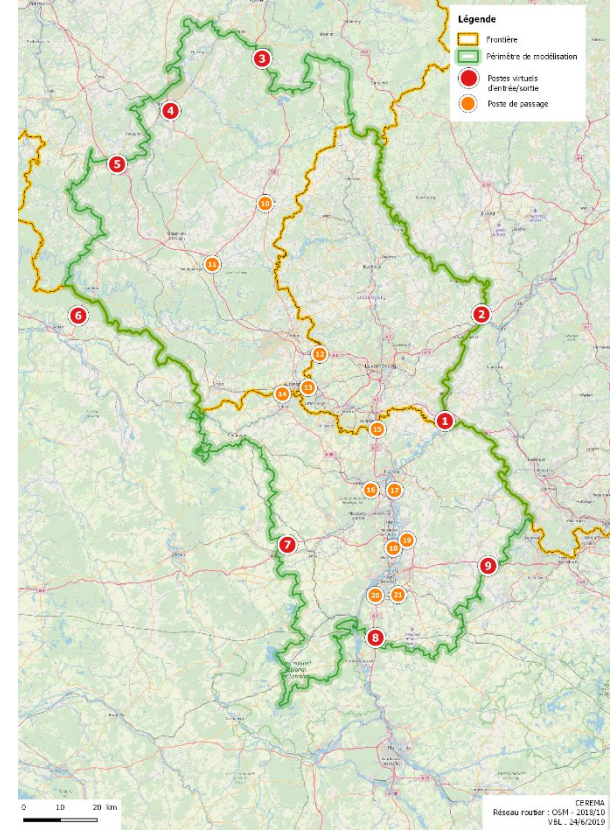
Je choisis cette alternative

Je choisis cette alternative

Aucun choix ne me convient

LES RECUEILS DE DONNÉES SUR LES FLUX D'ÉCHANGE ET DE TRANSIT

- **Réalisation d'un recueil GNSS...**
 - 8 jours, du 30 septembre 2018 au 7 octobre 2018 (~58 000 enregistrements VL, ~21 000 enregistrements PL)
 - Origine, destination, horodate, traces
 - 9 postes de captation, 12 postes de passage
- **...complété par des enquêtes OD**
 - Plusieurs mardis et jeudis du 15/09/2020 au 01/10/2020 (17 000 interviews VL, 6 000 interviews PL)
 - 15 postes d'enquête
- **Des biais dans le recueil GNSS**
 - Corrigés grâce aux enquêtes OD



LE MODÈLE

POURQUOI UN MODÈLE DÉSAGRÉGÉ ?

□ Les modèles agrégés :

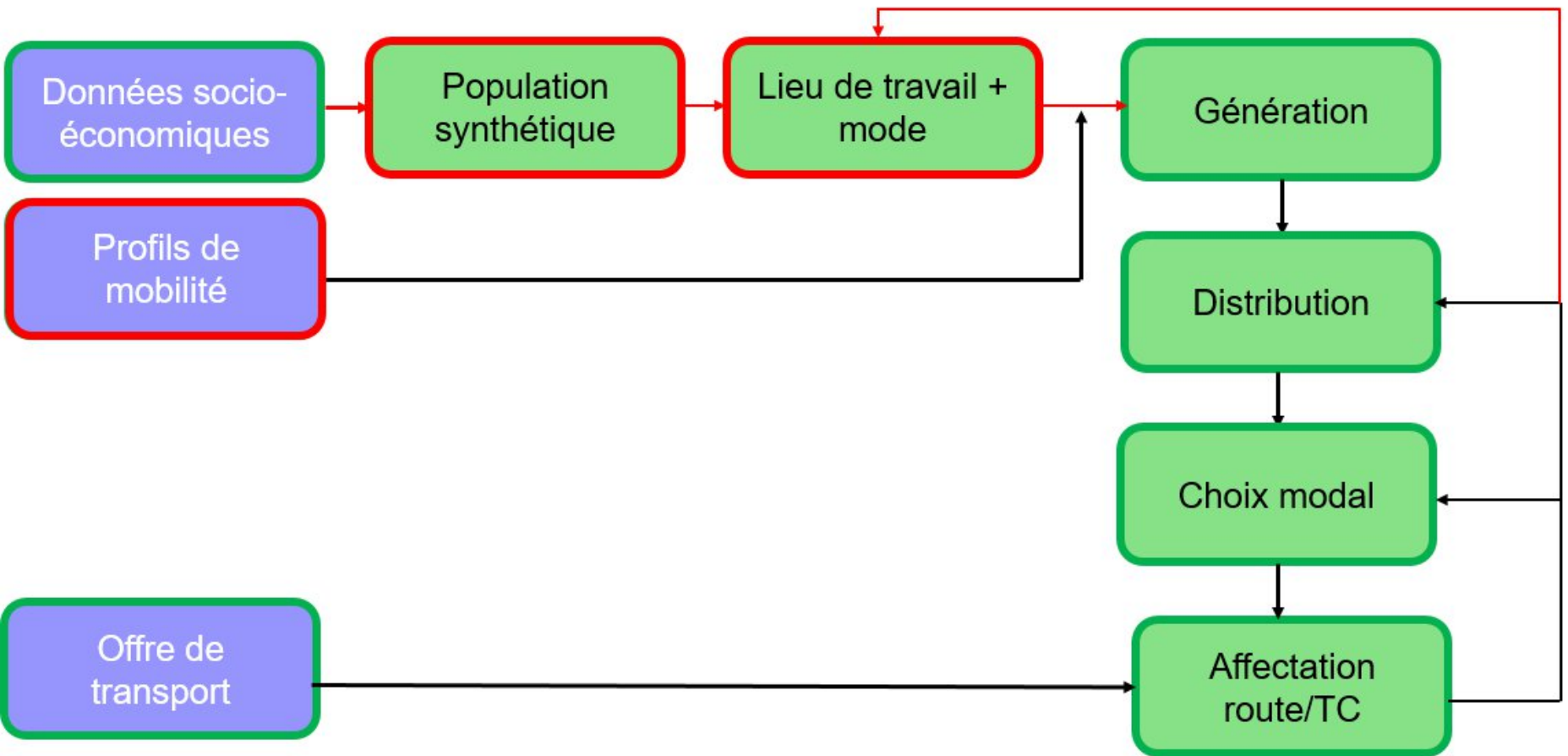
- ❖ Reposent sur le fait que l'essentiel de la mobilité correspond à des phénomènes de masse
- ❖ Des outils robustes et maîtrisés depuis plusieurs décennies
- ❖ Permettent un nombre limité de paramètres
- ❖ Sont fondés sur l'hypothèse suivante, qui conduit au biais d'agrégation :

Choix de l'individu moyen = moyenne des choix de chaque individu

□ Les modèles désagrégés :

- ❖ Analysent chaque déplacement de chaque individu (comme si c'était une enquête de mobilité)
- ❖ Permettent de mieux utiliser les observations pour maximiser le nombre de paramètres utilisables
- ❖ Nécessitent la production d'une population synthétique

UN MODÈLE PARTIELLEMENT DÉSAGRÉGÉ



LE MODÈLE

1. Un temps de développement très important (2018 – 2022) :

- a. dont 1 an à imputer à la pandémie de COVID
- b. principalement du fait de la complexité de la collecte des données (terminée au bout de 4 ans)...
- c. ... de modèles très complexes à estimer...
- d. ... et surtout de l'absence d'une interface logicielle de modélisation désagrégée adaptée (ou du choix de ne pas y recourir)

2. Un outil très lourd à manipuler :

- a. $1\,400\,000 \text{ agents} * 4 \text{ déplacements} * 6 \text{ modes} * 1\,000 \text{ destinations} = 34 \text{ Mrds}$ de possibilités... (sans tenir compte des probabilités croisées)

⇒ Nécessité d'optimiser les processus

- b. (5 heures de calcul de la demande + 4 heures de calcul des affectations) * 5 itérations ~ 3 jours pour calculer un scénario avec une machine « performante » (8 cœurs à 3.6 Ghz, 64 Go RAM)

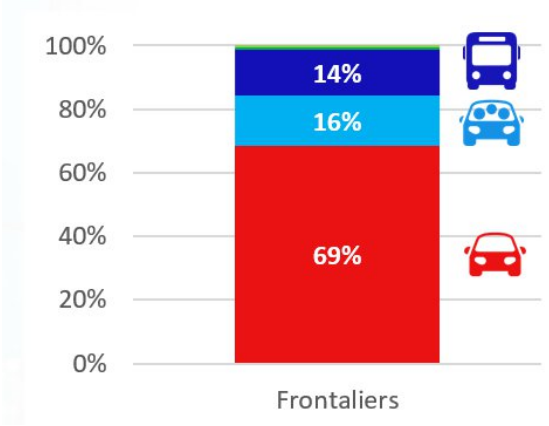
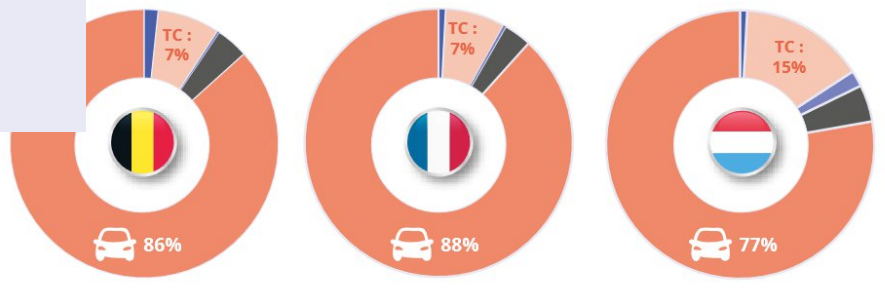
⇒ Nécessité d'avoir accès à un matériel informatique beaucoup plus performant

LES RÉSULTATS

LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

☐ Des pratiques très variables selon les usagers (trajets > 5km vs. frontaliers)

-  Marche
-  Transports en commun
-  Vélo
-  Multimodes
-  Voiture

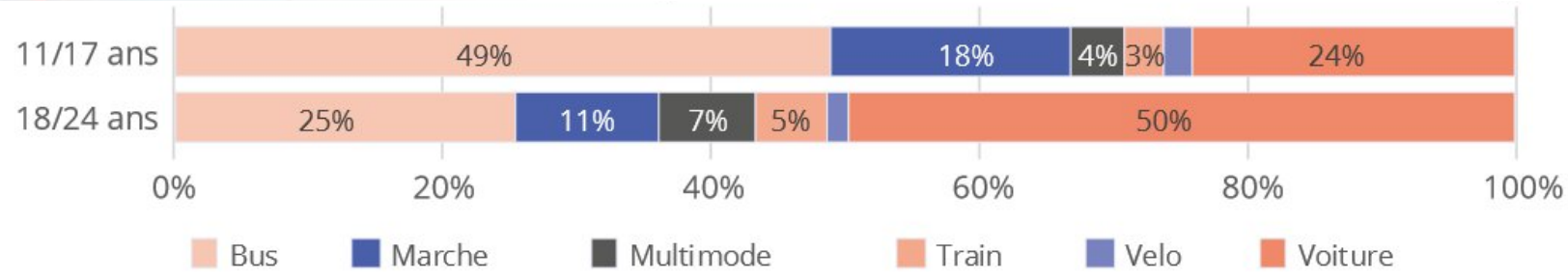


Tous pays

Répartition modale en fonction de l'âge



Au Luxembourg



LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

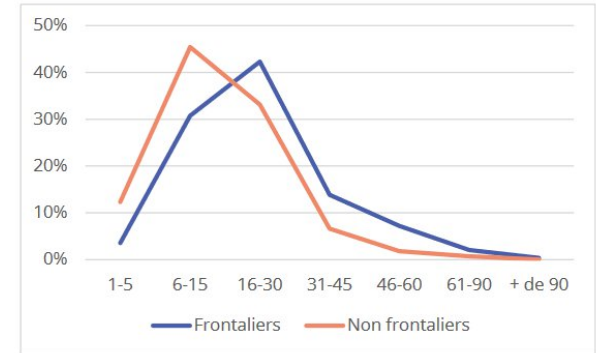
- ❑ Des pratiques très variables selon les usagers (trajets > 5km vs. frontaliers)
- ❑ ... qui semblent provenir principalement de différences d'offre :



Voiture

Raisons évoquées pour l'usage de la voiture	Frontaliers	Non frontaliers
Le trajet par les autres modes (bus / train) est trop long	54%	49%
Horaires de bus/ train pas adaptés	35%	38%
Voiture nécessaire pour un trajet antérieur ou postérieur	29%	32%
Les autres modes ne me conviennent pas	30%	30%
Absence d'offre bus / train	30%	27%
Arrêt de bus / gare trop éloigné de l'origine / de la destination	34%	20%
Autre	16%	18%
Déposer / chercher quelqu'un sur le trajet	12%	18%
Coût plus intéressant	10%	5%

Distribution des retards (en min.)



Retard

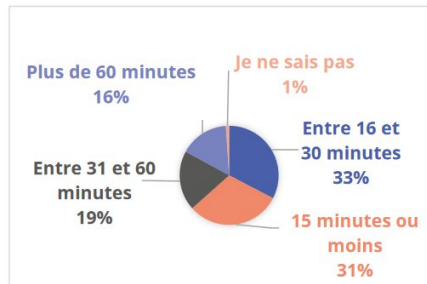
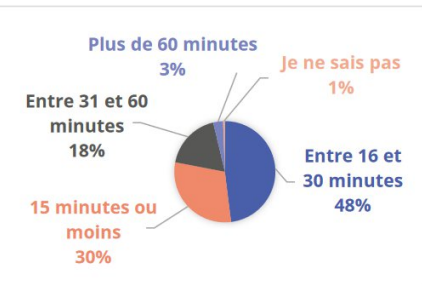


Transport en commun

Fréquence des transports en commun

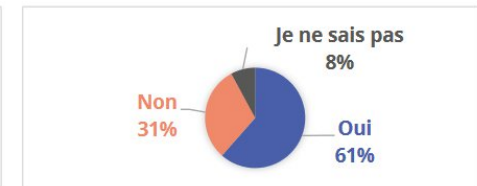
Frontaliers

Non frontaliers



Frontaliers

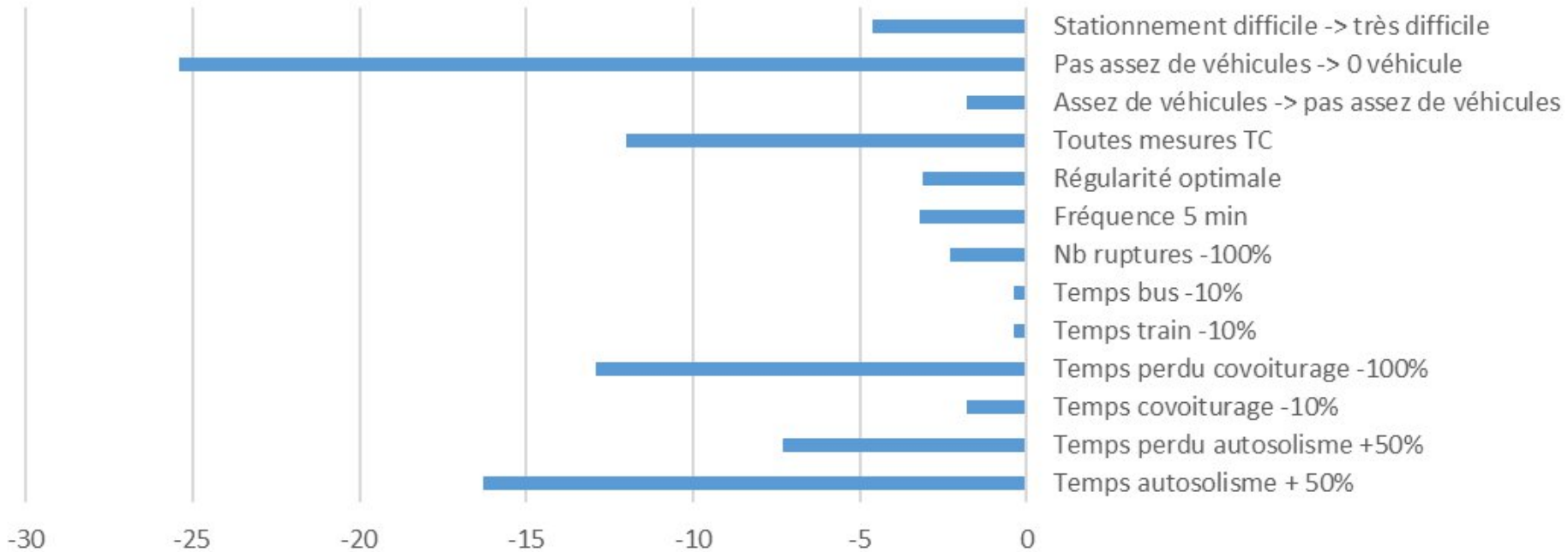
Non frontaliers



LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

- ❑ Des pratiques très variables selon les usagers (trajets > 5km vs. frontaliers)
- ❑ ... qui semblent provenir principalement de différences d'offre
- ❑ Hypothèse valable pour les frontaliers, avec une très forte sensibilité à l'offre de transport

Baisse de la part modale autosolisme (en points) - Frontaliers



LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

- ❑ Des pratiques très variables selon les usagers (trajets > 5km vs. frontaliers)
- ❑ ... qui semblent provenir principalement de différences d'offre
- ❑ Hypothèse valable pour les frontaliers, avec une très forte sensibilité à l'offre de transport
- ❑ Mais nettement moins pertinente pour les non frontaliers :
 - **Augmentation du temps de parcours en voiture :**
 - A un effet 3 plus important sur les frontaliers que sur les autres groupes de population.
 - Les arbitrages se font surtout :
 - entre le covoiturage et la voiture solo pour les internes BE/FR,
 - également avec les TC si une extrémité du déplacement LU.
 - **Amélioration de l'offre TC :**
 - A un effet 3 à 4 fois plus important sur les frontaliers que sur les autres groupes de population,
 - 2/3 des reports proviennent de l'autosolisme
 - **Peu d'effet de la fiabilité chez les non frontaliers**

LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

❖ Des valeurs du temps pertinentes

	Internes BE-FR	Frontaliers	Internes LU
Bus	6 €/h	17 €/h	15 €/h
Covoiturage	18 €/h	28 €/h	30 €/h
Train	5 €/h	51 €/h	20 €/h
Autosolisme	15 €/h	33 €/h	29 €/h

❖ Une forte aversion aux retards

	Internes BE-FR	Frontaliers	Internes LU
Pondération / temps			
Bus	1.34 à 2.5	2.23	1
Covoiturage	2.52	6	6.1
Autosolisme	2.79	4.34	2.85
Pénalité en minutes			
Train - retard moyen	79	20	35
Train - fort retard	117	46	61

❖ Motorisation/Stationnement

Stationnement	Pénalité correspondante		Pénalité	
			Covoiturage	Autosolisme
Moyen	0 à 14 min		Motorisation	
Difficile	18 à 40 min		Pas assez de véhicules	11 à 13 min / 16 à 30 min
Très difficile	36 à 45 min		0 véhicule	68 à 89 min / 110 à 161 min

❖ Une valorisation des voies réservées comme un temps ressenti moins élevé

	Variation du temps ressenti
Bus	entre -18 et -22%
Covoiturage	entre -18 et -26%

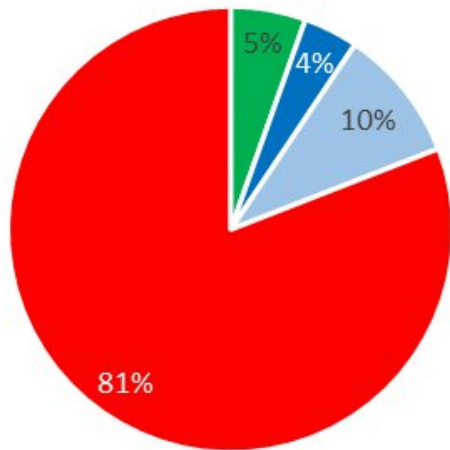
❖ Les autres paramètres du niveau de service TC

	en fraction du temps intervéhiculaire		
	Internes BE-FR	Frontaliers	Internes LU
Temps d'attente			
bus	0.40	0.40	0.72
train	0.96	0.59	0.86
1 rupture de charge	pénalité correspondante		
bus	16	11	4
train	35	9	5

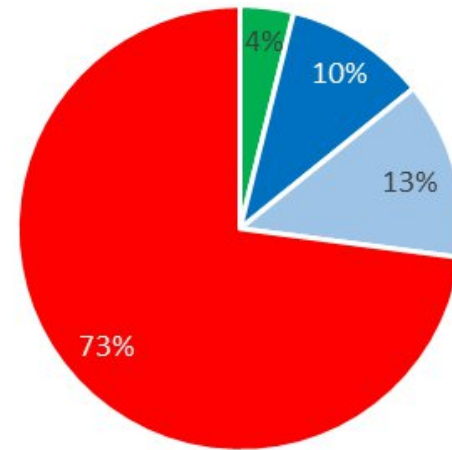
LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

- ❑ Des pratiques très variables selon les usagers (trajets > 5km vs. frontaliers)
 - ❑ ... qui semblent provenir principalement de différences d'offre
 - ❑ Hypothèse ne semblant pas étayée par les résultats du modèle, avec de grosses différences de sensibilité à l'offre de transport selon les usagers
- ⇒ Une méthodologie permettant de construire des scénarios de changement de comportement (ici : pratiques des flux internes FR identiques aux frontaliers FR->LU)

Parts modales flux internes FR - motif travail
Comportements actuels



Parts modales flux internes FR - motif travail
Comportements identiques à ceux des frontaliers



■ Modes doux ■ TC ■ Covoiturage ■ Autosolisme

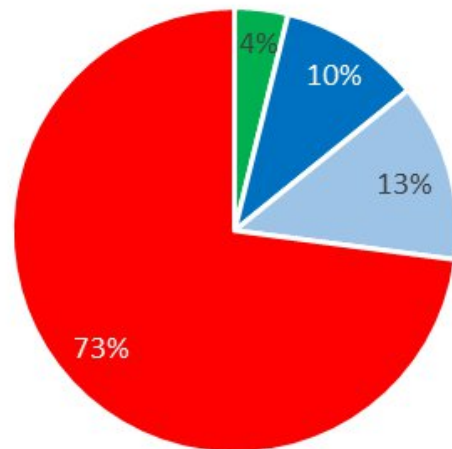
■ Modes doux ■ TC ■ Covoiturage ■ Autosolisme

LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

⇒ Une méthodologie permettant de construire des scénarios de changement de comportement (ici : pratiques des flux internes FR identiques aux frontaliers FR->LU)

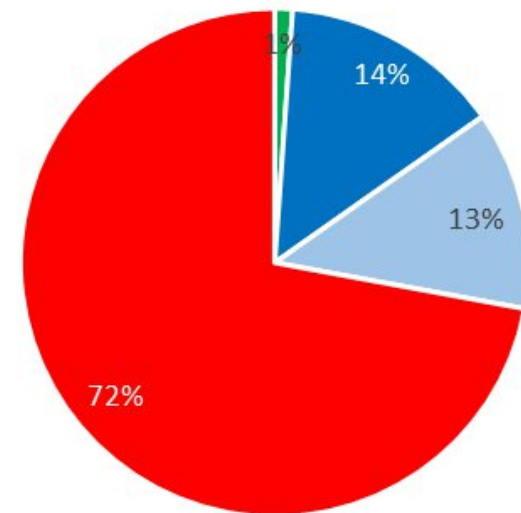
⇒ Avec une persistance de l'effet de l'offre de transport et de la structure des déplacements

Parts modales flux internes FR - motif travail
Comportements identiques à ceux des frontaliers



■ Modes doux ■ TC ■ Covoiturage ■ Autosolisme

Parts modales frontaliers FR - motif travail

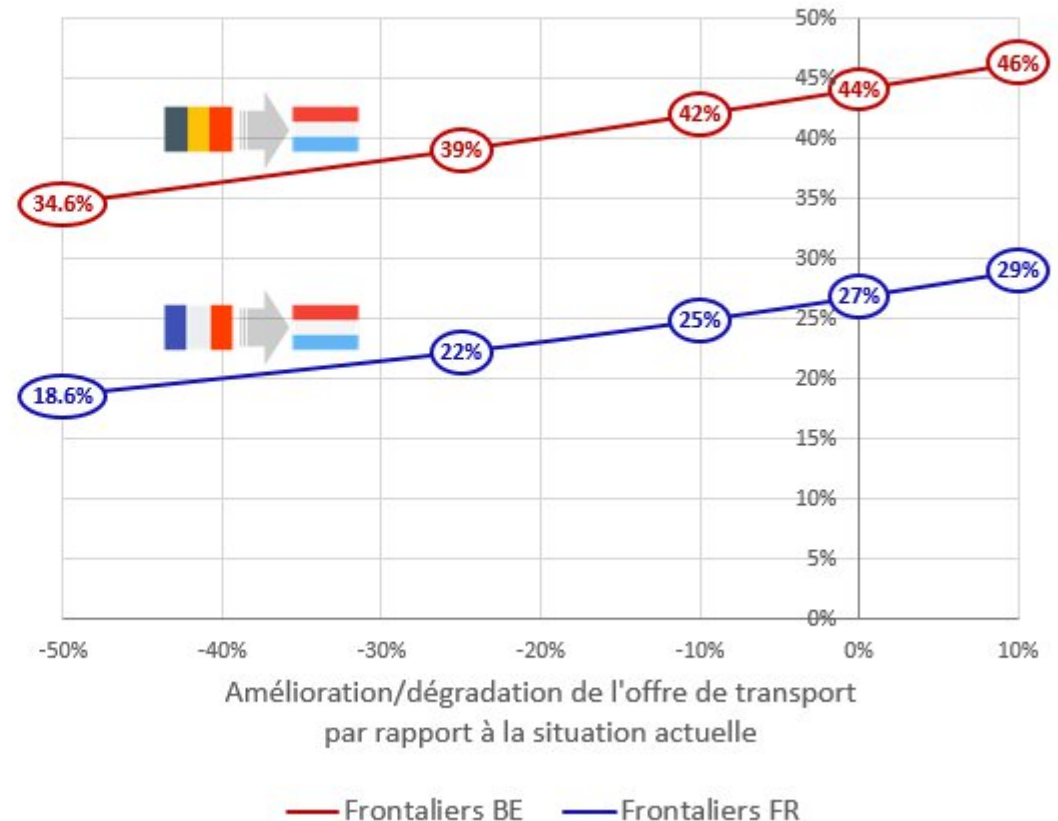


■ Modes doux ■ TC ■ Covoiturage ■ Autosolisme

DES EFFETS REBONDS SUR LE CHOIX DE DESTINATION

- **Choix du lieu de réalisation des activités : une quantité de traversées de la frontière très dépendante de l'offre de transport**
- **Avec des équilibres modaux pour les frontaliers disparates selon les motifs**
 - Très forte sensibilité à l'amélioration des services TC pour les motifs personnel
 - Situation équilibrée pour le motif travail
 - Très forte dépendance apparente à l'autosolisme pour le motif professionnel

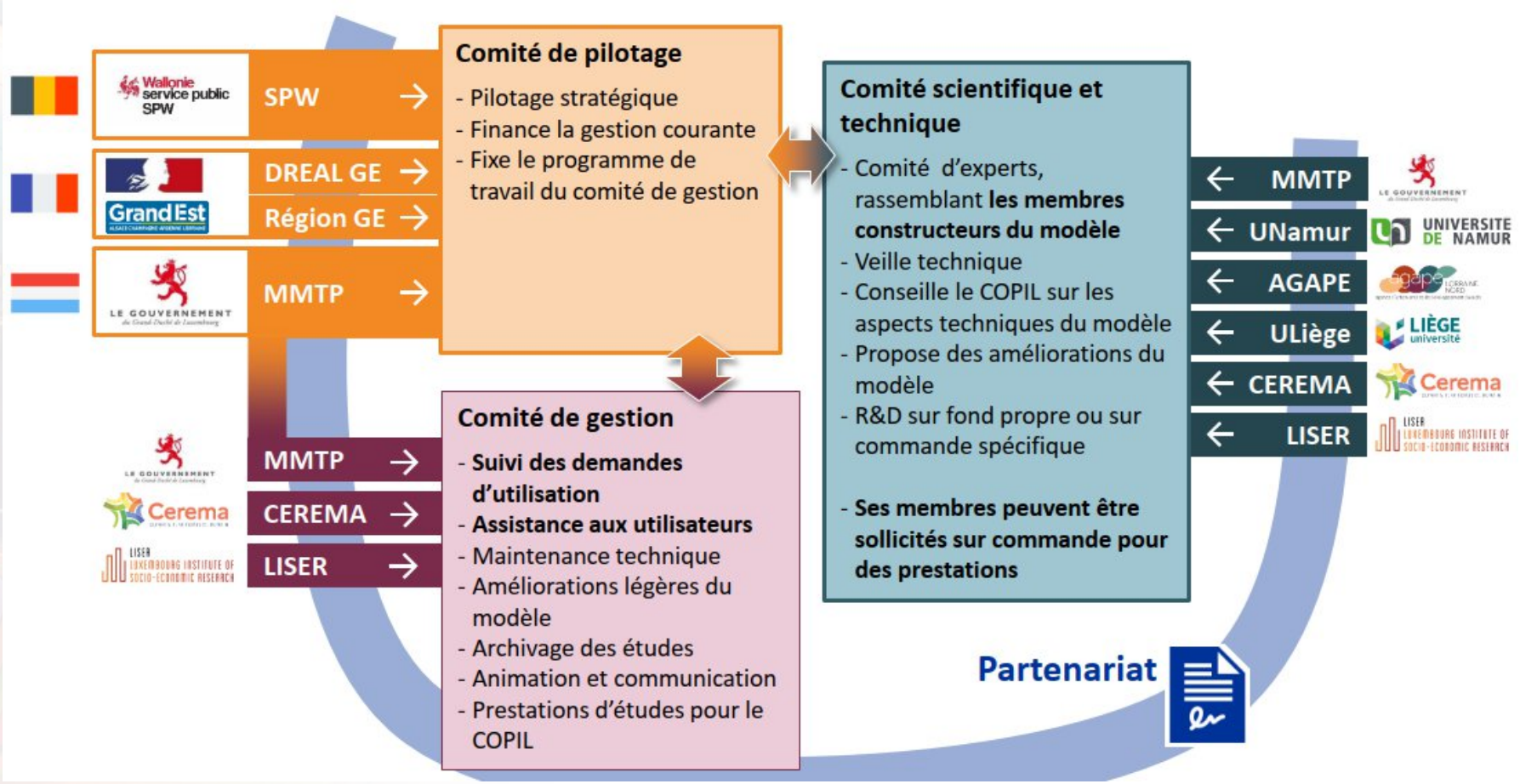
Part des actifs belges/français travaillant au Luxembourg en fonction de la qualité de l'offre de transport pour les traversées de la frontière





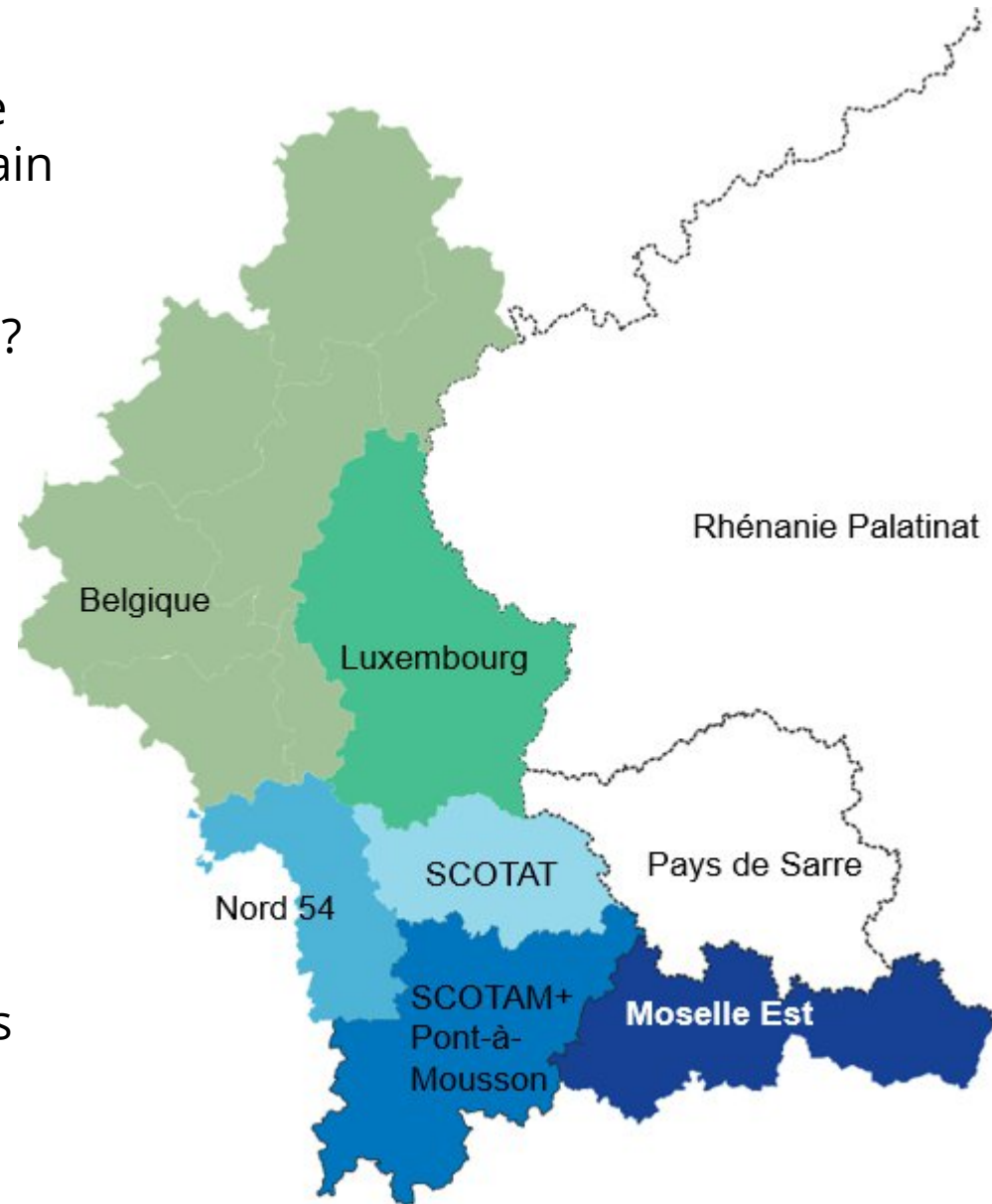
PERSPECTIVES

LA GOUVERNANCE POST INTERREG



LES SUITES DU PROJET EN COURS...

- Etude d'optimisation des services de transport collectif entre le nord lorrain et le Luxembourg
- Une enquête de mobilité commune ?
 - un périmètre à définir
 - un financement à trouver
 - une méthodologie à retravailler
- Un élargissement du modèle ?
 - géographique pour intégrer de futurs partenaires
 - fonctionnel avec de nouvelles thématiques (évaluation environnementale, population synthétique dynamique, lieu de résidence, amélioration modules TC...)





ANNEXES

Les profils de mobilité

8 variables explicatives (dans l'ordre d'importance) :

1. statut professionnel
2. lieu de travail (distance, frontalier ou non)
3. pays de résidence
4. type de ménage
5. type de zone de résidence
6. tranche d'âges (en position 2 pour les étudiants !)
7. taux de motorisation (en position 2 pour les retraités !)
8. diplôme

Profils de mobilités simplifiés	Fréquence d'observation	Nombre d'observations
AR Travail	22.26%	10713
BC Travail	14.88%	7162
<u>pas de déplacement</u>	11.86%	5708
<u>AR Loisirs</u>	8.39%	4037
<u>AR Achats</u>	8.07%	3882
<u>BC Achats</u>	5.94%	2860
AR Etudes	4.25%	2044
<u>Boucles Visites</u>	3.43%	1653
AR Deposer	3.27%	1573
<u>Autres natif</u>	2.00%	962
<u>Boucles Achats+autre</u>	1.69%	813
<u>Boucles Achats</u>	1.35%	651
<u>Boucles Travail+autre</u>	1.30%	626
BC Etudes	1.30%	624
AR Travail*2	1.27%	611
<u>Boucles Travail Achats</u>	1.10%	530
<u>Boucles Travail</u>	1.03%	496
<u>Boucles Affaires</u>	0.92%	444
<u>Boucles Loisirs</u>	0.87%	419
<u>Boucles Deposer</u>	0.83%	400
<u>Autres</u>	0.76%	366
<u>Boucles Achats Deposer</u>	0.73%	350
<u>Boucles Travail Loisirs</u>	0.71%	343
<u>Boucles Travail Deposer</u>	0.65%	313
BC Deposer	0.65%	312
<u>Boucles Etudes+autre</u>	0.47%	226

La population synthétique

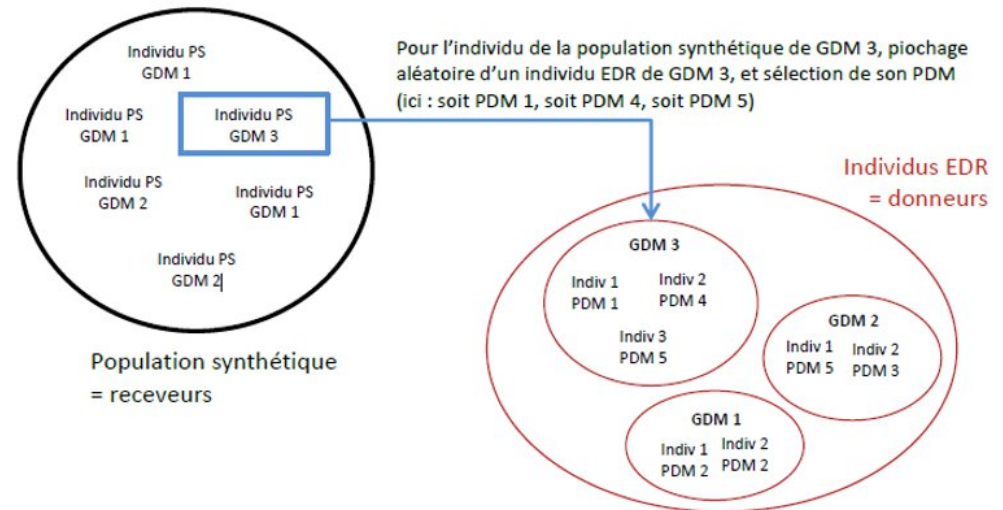
- Besoin de connaître pour chaque zone la population selon les caractéristiques explicatives des profils de mobilité

- données non disponibles
- RGPD

=> Construction d'une population synthétique statistiquement la plus proche de la population réelle à partir des totaux marginaux (croisés) connus.

- ♦ Attention : pas les mêmes pour chaque versant

- Identification des profils de mobilité dans la population synthétique



Source : *Elaboration et gestion du modèle multimodal régional en Auvergne-Rhône-Alpes Rapport de méthodologie et calage.*

Note : ici, l'acronyme EDR doit être remplacé par la base harmonisée dans MMUST

Distribution des déplacements

□ Deux modèles de choix discret consécutifs calibrés sous Biogeme :

❖ Type de lieu d'activité : intrazonal, interzonal ou extrazonal, utilité dépendant :

- ✓ Des caractéristiques de la zone (type de zone, niveau d'agrégation, variable socioeco)
- ✓ Des caractéristiques de l'activité (période horaire, motif de l'activité principale)
- ✓ D'une constante sur un zonage agrégé

=> Permet d'éviter d'introduire des erreurs d'agrégation et de biais sur le temps de parcours intrazonal

❖ Lieu d'activité, selon la formulation de l'utilité suivante :

$$U_j(i) = \beta \times \sum_{modes} \frac{\ln(\mu \times e^{U_{mode}})}{\mu} + \theta_{paysOD} \times DVO_{i,j} + attr_{paysD} \times \ln(1 + \sum_{var_{se}} \beta_{se} \times var_{se}) + \alpha_J + \alpha_{paysOD}$$

- ✓ Utilité des différents modes de transport
- ✓ Variables socio-économiques de la zone de destination
- ✓ Distance à vol d'oiseau
- ✓ Constantes en fonction du Pays Origine / Pays Destination et de la zone agrégée

Choix modal

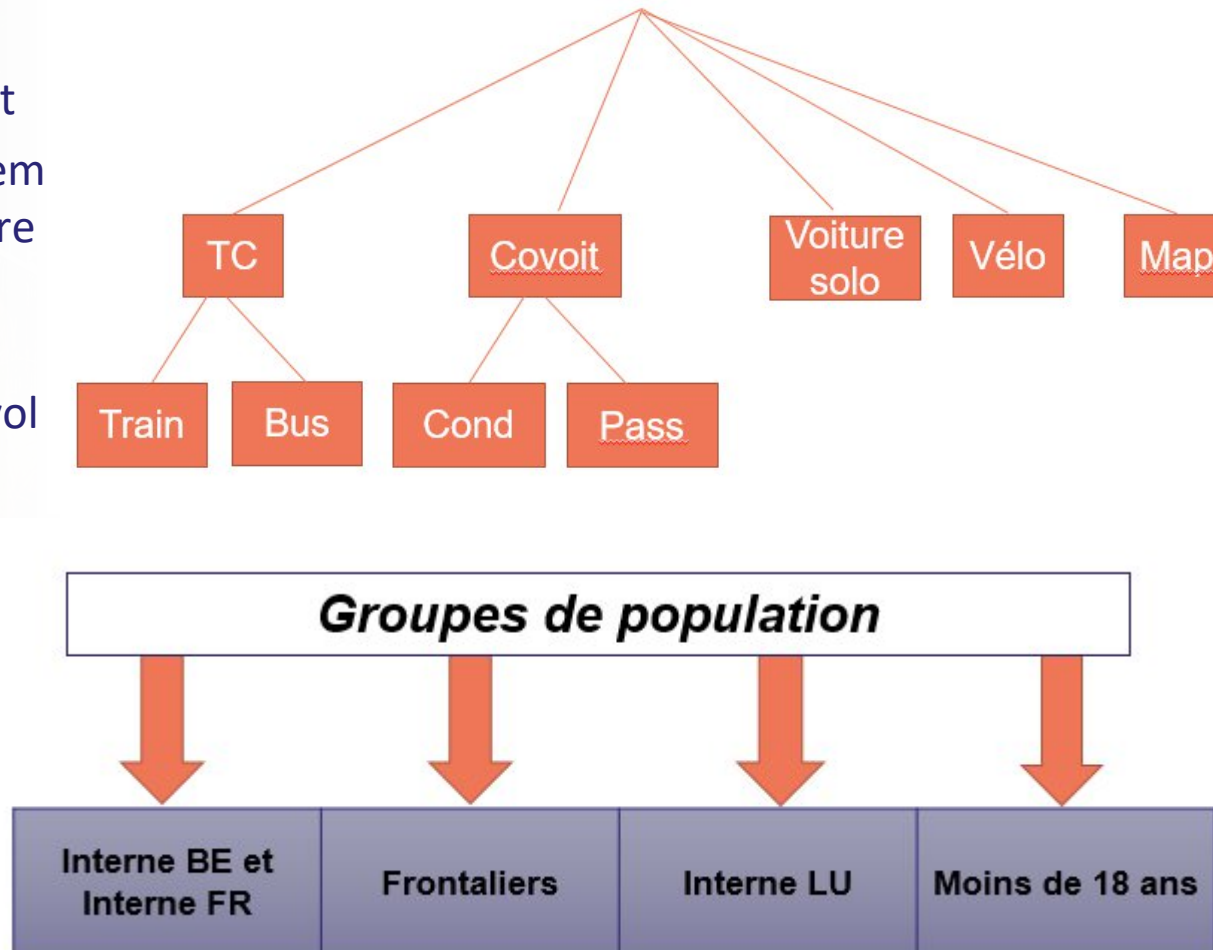
- ❑ Variables prises en compte :
 - ❖ Voiture : coût, temps à vide, temps perdu, présence d'une voie réservée, covoiturage, difficulté de stationnement
 - ❖ TC : coût, temps en bus, temps en train, fréquence, nombre ruptures, voies réservées, régularité
 - ❖ Modes actifs : distance à vol d'oiseau

❑ +Facteurs individuels (motorisation, motif)

❑ Facteur d'échelle pris en compte pour les données SP

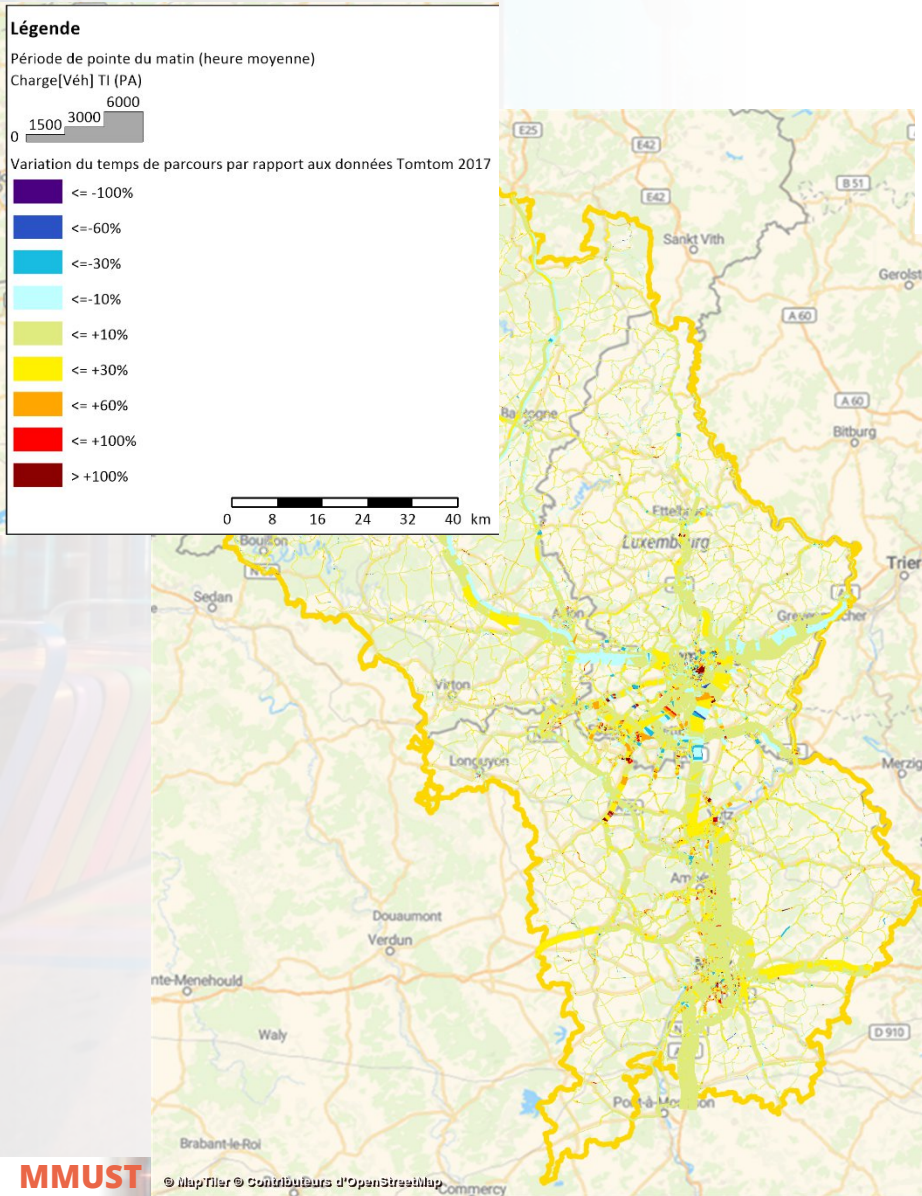
$$U(\text{données_SP}) = U \times \alpha$$

❑ Modèle de choix discret Logit hiérarchique



Calage des modèles d'affectation

- Grandement facilité par les données FCD pour le mode routier

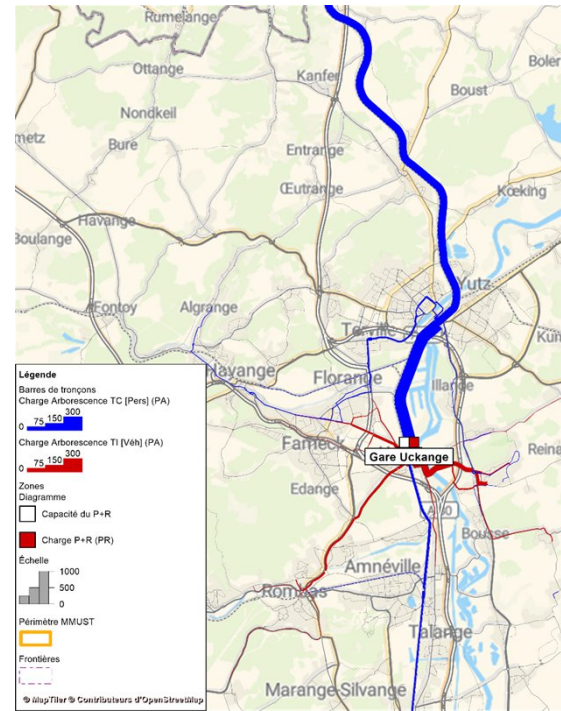


Peu de données fiables pour les TC

Tableau 5 : Calage du TC en flux origine/destination par versant

Type de relation	BH MMUST – fréquentation en PPM		BH MMUST – part modale		Modèle – fréquentation en PPM		Modèle – part modale	
	Bus	Train	Bus	Train	Bus	Train	Bus	Train
BE-BE	7663	2078	79%	21%	7990	2550	76%	24%
BE-LU	1073	2500	30%	70%	1313	3202	29%	71%
FR-FR	52592	4063	93%	7%	53582	5535	91%	9%
FR-LU	3735	8323	31%	69%	4299	7748	36%	64%
LU-LU	80004	23675	77%	23%	69240	18789	79%	21%
Total	145066	40639	78%	22%	136424	37824	78%	22%

Module P+R



LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

☐ Tests de sensibilité pour les frontaliers

Parts modales	Covoiturage	Autosolisme	TC	Modes actifs
Base	15.7%	68.6%	14.4%	1.3%
Temps Autosolisme + 50%	23.5%	52.3%	22.3%	1.9%
Temps perdu Autosolisme + 50 %	18.6%	61.3%	18.6%	1.6%
Temps covoiturage -10 %	18.0%	66.8%	14.0%	1.2%
Temps perdu Covoiturage -100%	33.2%	55.7%	10.0%	1.0%
Temps train -10 %	15.6%	68.2%	15.0%	1.3%
Temps bus -10 %	15.6%	68.2%	14.9%	1.3%
Nb ruptures -100 %	15.2%	66.3%	17.3%	1.2%
Fréquence 5 min	15.0%	65.4%	18.4%	1.2%
Régularité optimale	15.0%	65.5%	18.4%	1.2%
Coût Autosolisme +10%	15.9%	68.2%	14.6%	1.3%
Coût TC -10 %	15.7%	68.7%	14.3%	1.3%
Coût covoiturage +10 %	15.6%	68.7%	14.4%	1.3%
Assez de véhicule -> pas assez de véhicules	15.8%	66.8%	16.0%	1.4%
pas assez de véhicules -> 0 véhicule	15.7%	43.2%	37.2%	3.9%
stationnement difficile -> très difficile	18.1%	64.0%	16.4%	1.5%