

Ce projet est cofinancé par le fonds européen de développement régional dans le cadre du programme Interreg IVA Grande Région



Projet Interreg IV-A „ELEC'TRA“

« Concept de mobilité transfrontalière pour réduire les déplacements individuels dans la Grande région en favorisant les solutions d'électromobilité complémentaires aux transports en commun »

Rapport final

Date: 19.06.2015

Pilotage:
Dipl.-Ing. François Tanguy (CD Moselle)

Élaboration

Dr. Hedi Ayed (LIST)
Dipl.-Ing. Sascha Baron (imove)
Dipl.-Ing. Felix Berkel (LRS)
Dipl.-Geogr. Gilles Caspar (MDDI)
M.A. Barbara Dröschel (IZES)
Dipl.-Geogr. Göran Glauer (imove)
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Daniel Görges (LRS)
Dr. Djamel Khadraoui (LIST)
M.Eng., Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Guillem Tänzer (IZES)

Adresse

Conseil Départemental de la Moselle
Direction des Dynamiques Economiques, de la Compétitivité et de l'Attractivité
Hôtel du Département
BP 11096
57036 METZ Cedex 1

francois.tanguy@moselle.fr

Index

Index des illustrations	III
Index des tableaux.....	V
Index des abréviations.....	V
Résumé.....	VI
1. Cadrage du projet.....	1
1.1. Éléments de contexte.....	1
1.2. Genèse du Projet ELEC'TRA.....	4
1.3. Objectifs du Projet ELEC'TRA.....	5
1.4. Partenaires, financement et organisation du travail.....	6
1.5. Logo du projet	7
1.6. Définitions	Erreur ! Signet non défini.
2. Action 1 – Analyse des données et concept transfrontalier	9
2.1. Définitions des objectifs	9
2.2. Méthodologie et bases de données.....	10
2.2.1. Corridors de focalisation et analyse secondaire	10
2.2.2. Détermination de la population	11
2.2.4. Axe 4.....	14
2.2.5. Appel à candidatures.....	15
2.2.6. Concertation avec Infas.....	18
2.2.7. Sondage	20
2.3. Résultats	20
2.3.1. Résultats de l'analyse des données secondaires.....	20
2.3.2. Résultats axes 1-3.....	22
2.3.3. Resultats Axe 4	37
2.3.4. Résultats des entreprises	57
3. Action 2 et 3 – Interopérabilité transfrontalière et eHub-Design.....	62
3.1. eHub-Design	62
3.2. Préparation des résultats pour la simulation	64
3.3. Environnement de Simulation et Placement des eHubs.....	65
3.3.1. Simulation de Trafic.....	65
3.3.2. Estimation de la demande en énergie.....	69

3.4.	Schéma conceptuel de „eHub” management	73
3.4.1.	Motivation	73
3.4.2.	Méthodologie	75
3.4.3.	Gestion de la e-flotte	77
3.4.3.1.	Environnement de gestion de la e-flotte (eFMF)	78
3.4.3.2.	Configurations retenues et résultats de la simulation	84
3.4.3.3.	Impact d’ELEC’TRA sur le trafic.....	88
3.4.4.	eNergy- und eParking-Management	91
3.5.	Conditions cadres actuelles de la mobilité électrique	98
3.5.1.	Allemagne.....	98
3.5.2.	France	100
3.5.3.	Luxembourg.....	102
4.	Recommandations d’actions	104
4.1.	Conclusions du projet.....	104
4.1.1.	Principaux enseignements.....	104
4.1.2.	Recommandations.....	106
4.1.3.	Limites du projet.....	107
4.1.4.	Les suites possibles du projet : un projet Elec’Tra 2 dans le cadre d’Interreg V-A Grande Région ?	108
4.2.	Retour d’expérience	108
Sources	111
Annexe	a
Questions de recherche :	a
.....	h

Index d'illustrations

Illustration 1: Flux transfrontaliers de la Grande région en 2014	2
Illustration 2: Organisation du travail entre partenaires	7
Illustration 3: Logo du projet.....	7
Illustration 4: Aperçu des corridors.....	10
Illustration 5: Modèle d'accessibilité.....	102
Illustration 6: Procédure restreinte sans publication d'avis.....	16
Illustration 7: Évaluation d'offres.....	18
Illustration 8: Sélection de l'échantillon représentatif.....	23
Illustration 9: Modal Split des corridors.....	23
Illustration 10: Raisons sous-jacentes à l'utilisation de la voiture	24
Illustration 11: Raisons sous-jacentes au covoiturage	25
Illustration 12: Heures de départ du domicile vers le travail.....	26
Illustration 13: Distances.....	27
Illustration 14: Aire de stationnement sur site	28
Illustration 15: Coûts du stationnement	29
Illustration 16: Objectifs intermédiaires	29
Illustration 17: Motifs sous-jacents aux étapes intermédiaires.....	30
Illustration 18: Raisons de faire la navette.....	31
Illustration 19: Charge liée au fait de faire la navette.....	32
Illustration 20: Modifications nécessaires afin d'utiliser la voiture électrique.....	33
Illustration 21: Modifications nécessaires afin d'utiliser les transports en commun	34
Illustration 22: Modifications nécessaires afin de pratiquer le covoiturage.....	35
Illustration 23: Utilisation favorisée à l'avenir	36
Illustration 24: Répartition en pourcentage des navetteurs frontaliers sortants de Lorraine (domicile en Lorraine et lieu de travail à l'étranger).....	38
Illustration 25: Le top 7 des lieux de vie des navetteurs ayant leur domicile en Lorraine et leur lieu de travail à Sarrebruck	39
Illustration 26: Carte avec les communes des navetteurs avec domicile en Lorraine et lieu de travail à Sarrebruck	40
Illustration 27: Répartition modale des navetteurs avec domicile en Lorraine et lieu de travail à Sarrebruck	41
Illustration 28: Répartition modale des navetteurs avec domicile à Forbach (57227) et lieu de travail à Sarrebruck	41
Illustration 29: Répartition modale des navetteurs avec domicile à Sarreguemines (57631) et lieu de travail à Sarrebruck (IZES)	42
Illustration 30: Exemple pour trajets courts domicile/lieu de travail des navetteurs avec transports publics/automobile	43
Illustration 31: Possession voiture navetteurs Lorraine-Sarrebruck.....	45
Illustration 32: Secteurs d'emploi des navetteurs frontaliers de Lorraine (domicile en Lorraine et lieu de travail à l'étranger).....	45
Illustration 33: Conditions de logement navetteurs Lorraine-Sarrebruck	46
Illustration 34: Caractéristiques de l'étude	49
Illustration 35: Affirmations des experts sur la thématique des transports.....	51
Illustration 36: Evaluation relative aux développements futurs dans les entreprises.....	52

Illustration 37: Schéma concept de mobilité transports publics, y compris e-Hubs, pour Axe 4	54
Illustration 38: Schéma concept de mobilité individuel/transports publics, y compris e-Hubs, pour axe 4	55
Illustration 39: Schéma concept mobilité individuelle, y compris e-Hubs, pour axe 4	56
Illustration 40: Répartition des travailleurs.....	57
Illustration 41: Accessibilité des entreprises.....	58
Illustration 42: Offre actuelle pour le personnel au sein des entreprises.....	60
Illustration 43: Offre future pour le personnel au sein des entreprises	62
Illustration 44 : Schéma d'une plateforme multimodale „eHub“	62
Illustration 45 : Dessin d'une plateforme multimodale „eHub“	63
Illustration 46: eHub au concept d'ELEC'TRA.....	64
Illustration 47: Estimation des besoins énergétiques des eHubs (basé sur des données de simulation de circulation).....	72
Illustration 48: Structure des eHub-Managements systems.....	77
Illustration 49. Environnement de gestion de la e-flotte	79
Illustration 50: Scénarios d'utilisation	80
Illustration 51: Optimisation du placement d'un "eHub" utilisant un DSS	80
Illustration 52. Outil de construction de scénarios (Interface graphique du DSS).....	81
Illustration 53: Composant Simulateur de Trafic : Traffic Simulator Component diagram.....	82
Illustration 54: Exemple de trajet en covoiturage.....	83
Illustration 55: Exemples d'auto-partage standard et libre	83
Illustration 56: Emplacement des P&R et eHubs	85
Illustration 57: Distribution des lieux d'habitation des personnes satisfaites	86
Illustration 58. Flux de trafic de véhicules électriques pour l'"eHub" de Metz	87
Illustration 59: Flux de trafic de véhicules électriques au P&R Cloche d'Or	88
Illustration 60: Comparaison des durées de trajets (avec et sans ELEC'TRA)	89
Illustration 61: Réduction du nombre de voitures sur le réseau complet	90
Illustration 62: Comparaison de la vitesse moyenne (cas des trajets Trier - Luxembourg)	90
Illustration 63: Illustration de la methode 1 exemplaire.....	91
Illustration 64: La demande d'électricité des consommateurs et des sources d'énergie renouvelables	94
Illustration 65. Illustration d'idée du „Valley-Filling“	95
Illustration 66: La demande d'électricité exemplaire á un eHub (basé sur les données de simulation)	98
Illustration 67: Model d'accessibilité	e
Illustration 68: Données secondaires: P+R-places	f
Illustration 69: Données secondaires: Stations de récharger	g
Illustration 70: Données secondaires: Les résidences des navetteurs d'après l'IGSS.....	h
Illustration 71: Distribution des navetteurs questionnés d'après résidence	i

Index des tableaux

Tableau 1: Partenaires du projet.....	6
Tableau 2: Analyse des éléments en présence – saisie harmonisée.....	11
Tableau 3: Modèle d’accessibilité, vitesses enregistrées.....	12
Tableau 4: Résultat du modèle d’accessibilité	13
Tableau 5: Top 12 des communes des navetteurs avec domicile en Lorraine et lieu de travail à Sarrebruck	39
Tableau 7: Résultats généraux	85

Index d’abréviations

CNPD	Commission nationale pour la protection des données
DSS	Système d’aide à la décision
eFMF	Environnement de gestion de la e-flotte
ID	Identifiant
IGSS	Inspection générale de la sécurité sociale
Ill.	Illustration
iMove	Institut für Mobilität und Verkehr, TU Kaiserslautern
IZES	Institut für ZukunftsEnergieSysteme Saarbrücken
LRS	Lehrstuhl für Regelungssysteme, TU Kaiserslautern
MAS	Systèmes Multi-Agents
MCI	Moteur à combustion interne
MDDI	Ministère du Développement Durable et des Infrastructures
PLNE	Programmation linéaire avec nombres entiers
PQNE	Programmation quadratique avec nombres entiers
PQ	Programme quadratique
PV	Photovoltaïque
P+R	Park + Ride
SC	Stratégie de Chargement
SER	Source d’énergie renouvelable
SOC	État de charge
TU	Université technique
VDP	Plan journalier de véhicule
VE	Véhicule électrique

Résumé

Le projet interdisciplinaire « ELEC'TRA » s'intéresse à la mobilité des 210.000 navetteurs transfrontaliers dans la Grande Région qui se caractérise par une forte proportion de trafic individuel motorisé. Le Grand-Duché du Luxembourg, lieu de travail particulièrement attractif, est la principale destination. Pollution de l'air, nuisances sonores et une offre réduite pour le stationnement des véhicules particuliers sont autant de problématiques pour le Grand-Duché. L'objectif principal du projet est de réaliser une étude de potentiel pour envisager un trafic individuel énergétiquement rationnel, fondé sur la mutualisation des trajets à partir de véhicules électriques utilisés en autopartage ou en covoiturage, tout trajet entre le domicile et le lieu de travail pouvant être complété par des transports publics dans une perspective intermodale ou multimodale. Des plateformes multimodales innovantes nommées « eHubs » assurent la correspondance entre les différents modes de transport.

Une grande enquête publique, la première de ce type dans la région, a permis d'analyser les comportements des navetteurs transfrontaliers et de définir le potentiel de changement de mode de transport en faveur du covoiturage en véhicules électriques. Cette enquête est particulièrement représentative car réalisée auprès de 7.500 navetteurs résidents en Moselle et en Allemagne, ainsi que 50 entreprises luxembourgeoises. Le travail d'enquête a porté sur les 4 axes principaux de circulation : Metz – Thionville – Luxembourg ; Trèves – Luxembourg ; Merzig – Luxembourg ; Forbach – Sarreguemines – Sarrebruck.

La meilleure connaissance des habitudes quotidiennes, des itinéraires, des lieux de résidence et de travail des navetteurs, ainsi que le développement d'un outil de simulation des flux de circulation, ont permis d'effectuer des recommandations en matière de localisation et de taille des « eHubs ». En complément, un deuxième outil de simulation a permis de définir l'énergie nécessaire à une flotte de véhicules électriques afin d'en permettre une meilleure gestion et d'évaluer les répercussions sur le réseau énergétique.

1. Cadrage du projet

1.1. Éléments de contexte

La “Grande Région” est un terme utilisé dans les dernières décennies remplaçant le périmètre géographique connu sous le nom “SaarLorLux”. La Grande Région désigne aujourd’hui les régions périphériques entourant le Grand-Duché de Luxembourg. Elle comprend le Grand-Duché lui-même, la Région Lorraine en France, la Région Wallonne en Belgique, y compris la Communauté Allemande de Belgique, ainsi que les Länder allemands de Sarre et de Rhénanie-Palatinat. Ses centres urbains principaux ont donné lieu à une union de cités appelée QuattroPole, comprenant les villes de Luxembourg, Metz, Trèves et Sarrebruck. A la suite de changements structurels profonds, le Grand-Duché a évolué au cours des 30 dernières années vers une importante industrie de services¹. Cette évolution se retrouve dans les schémas de mobilité des travailleurs frontaliers, ainsi que dans le marché de l’immobilier résidentiel. A l’intérieur de la Grande Région, les trajets transfrontaliers quotidiens de navetteurs ont concerné 210 000 personnes en 2014, avec une tendance à la croissance². 160 000 travailleurs commutent avec le seul Luxembourg.

Les trajets transfrontaliers dans la Grande région représentent ainsi un quart de ceux observés dans l’Europe des 28³. La Grande Région est ainsi caractérisée par « l’aimant de l’emploi » que représente le Luxembourg. La moitié environ des navetteurs transfrontaliers avec le Luxembourg vit dans la Région Lorraine (environ 75 600), tandis que l’autre moitié est répartie entre l’Allemagne (environ 34 500) et la Belgique (environ 32 700).

¹ Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. Pp. 114 ff. – in: Gilles et al.: Luxemburg-Studien. Published by Peter Lang Verlag, Frankfurt.

² Statistics working group (2013): Statistische Kurzinformationen 2013, p. 33 – in: Key figures on the Greater Region 2013, published by the statistical offices of the Greater Region

³ Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. P. 33 – in: Gilles et al.: Luxemburg-Studien. Published by Peter Lang Verlag, Frankfurt.

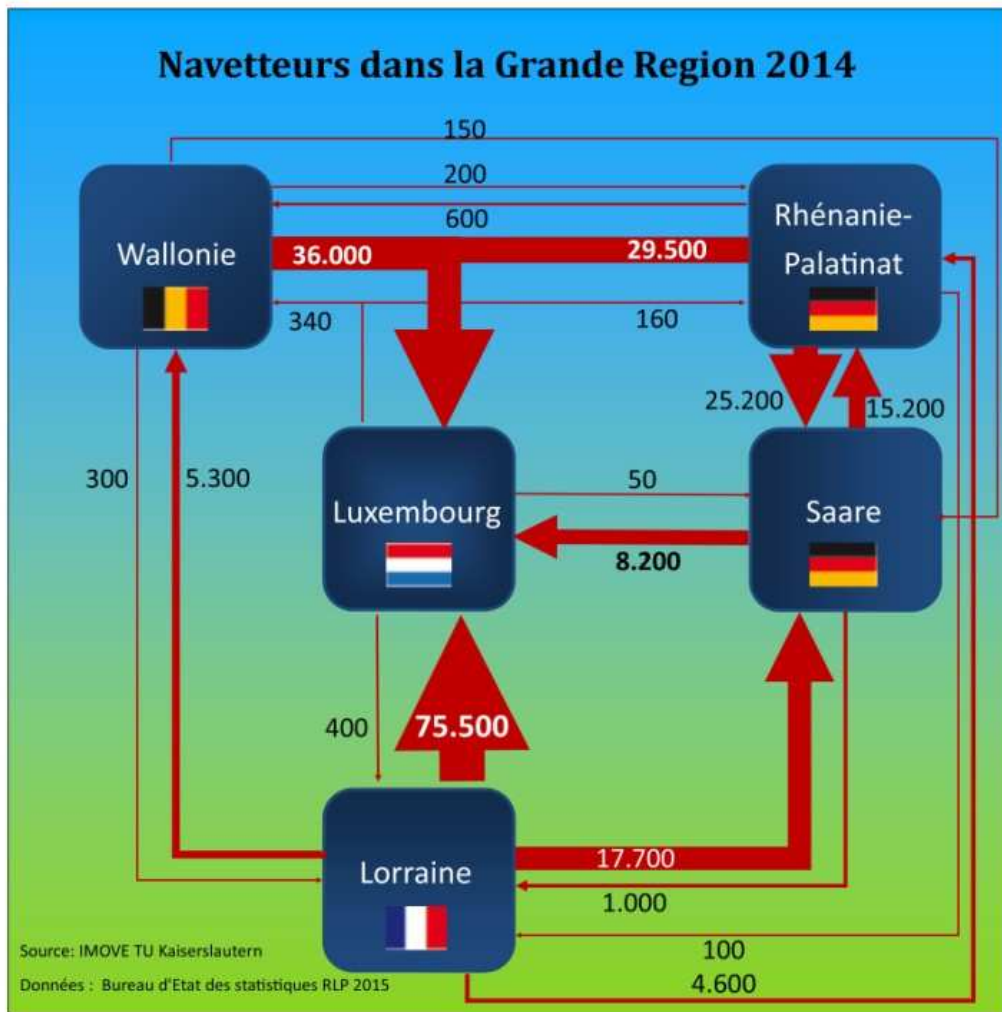


Figure 1: Flux transfrontaliers de la Grande région en 2014

L'autre pôle majeur d'attractivité est la Sarre, et plus particulièrement Sarrebruck, sa capitale. La figure 1 présente la distribution des flux de navetteurs transfrontaliers en 2014, selon le Bureau des statistiques de la Grande Région. Ces flux de circulation génèrent un trafic de véhicules considérable, impactant durablement les axes de circulation principaux et conduisant à la saturation du réseau routier, plus précisément sur les artères principales en direction de Luxembourg en raison d'un recours croissant à la mobilité individuelle.

Une autre conséquence en découlant est la carence en espaces de stationnement à laquelle la ville de Luxembourg est confrontée. Au total, la pollution de l'air et les nuisances sonores ont augmenté de façon significative sur l'ensemble du Grand-Duché⁴. En dépit d'infrastructures bien développées sur les axes principaux, le trafic ferroviaire a atteint ses limites. Des services de bus régionaux transfrontaliers ont été mis en œuvre pour soulager le système ferroviaire ; certains prennent la forme de « trains caravanes » (bus avec remorques) afin de composer avec le nombre fluctuant de passagers. Le transport motorisé individuel va toutefois certainement continuer à jouer un rôle primordial dans la mesure où la topographie de l'espace considéré rend difficile, voire impossible, l'accès aux transports publics. Le projet part de ce principe en visant à rendre possible un transport individuel moins énergivore et plus écologique, dans une perspective intermodale ou multimodale.

Un facteur d'incertitude concerne les usages et les comportements des travailleurs frontaliers. Bien que les informations concernant le nombre de navetteurs et leur lieu de résidence puissent être obtenues auprès de l'Inspection Générale de la Sécurité Sociale du Luxembourg (I.G.S.S.)⁵, il n'existe aucune information concernant leur destination professionnelle sur le territoire luxembourgeois. Il n'existe pas non plus d'information concernant le mode de transport qu'ils utilisent ou bien le temps de trajet pour raison professionnelle. Une analyse plus détaillée des usages et des comportements des navetteurs était dès lors prérequis. L'enquête réalisée dans le cadre du projet « Elec'Tra » est la première au niveau de la Grande Région ayant permis une compréhension approfondie du comportement des navetteurs et de leurs usages.

⁴ Source: MDDI (2012): Globale Strategie für eine nachhaltige Mobilität. Für Einwohner und Grenzgänger. Information brochure for residents and cross-border commuters, published in connection with Luxembourg's global strategy for sustainable passenger transport. Pp. 5 ff. http://www.mt.public.lu/planification_mobilite/1strategie_modu/Informationsbroschuere_MoDu.pdf (accessed on 23 July 2013)

⁵ IGSS (2013): "Evolution du nombre de frontaliers (salariés et non-salariés) par commune de résidence" www.isog.public.lu (accessed 23 July 2013)

1.2. Genèse du Projet ELEC'TRA

En 2011, le Département de la Moselle a lancé une ambitieuse politique en faveur de la mobilité électrique nommée « Moselle Electromobile ». Cette politique particulièrement novatrice sur un territoire régional aussi vaste reposait sur la participation du Département au projet franco-allemand « CROME » (CROSS-border Mobility for Electric Vehicles), première expérimentation de circulation transfrontalière de véhicules électriques entre la France et l'Allemagne. Le Département a dans ce cadre déployé une flotte de 30 smart électriques, véhicule fabriqué à Hambach en Moselle, ainsi qu'un réseau de bornes de recharge au standard franco-allemand.

L'existence de réseaux d'électromobilité dans l'ensemble des territoires partenaires – Moselle Electromobile, Netzwerk Elektromobilität Rheinland-Pfalz, Electromobilität im Saarland et Elektromobilität.lu – a permis la mise en commun de ressources pour élaborer un projet et déposer une demande d'aide concernant un grand projet d'électromobilité transfrontalière dans le cadre du programme Interreg IV-A Grande Région.

Dès le début des discussions, en 2012, il est apparu aux partenaires l'intérêt d'étudier la mise en réseau de plateformes de covoiturage multimodales disposant de flottes de véhicules électriques en complément des transports en commun. Un tel projet intervenait en parallèle du projet « Moselle Nouvelles Mobilités » prévoyant un service d'autopartage de véhicules électriques avec incitation au covoiturage entre Metz, Thionville et Luxembourg, ainsi que de la stratégie MoDu du Grand-Duché de Luxembourg, notamment pour ce qui concerne la mise en œuvre de parc relais (P+R) en périphérie de la ville de Luxembourg.

1.3. Objectifs du Projet ELEC'TRA

L'objectif principal du projet est de contribuer à la réduction du trafic et des émissions polluantes, en développant un concept innovant de mobilité transfrontalière durable s'appuyant sur l'électromobilité en complément des transports en commun, tout en assurant une interopérabilité garantie entre les trois pays.

Le concept repose sur la constitution de plateformes de mobilité (« eHubs ») permettant le basculement d'un mode de transport privilégiant l'électromobilité vers les transports en commun et vice-versa. Ce concept permet de répondre à l'objectif affiché par les partenaires de réduire le nombre de véhicules par une meilleure gestion des flottes, et par conséquent les émissions polluantes, grâce au développement de l'autopartage et du covoiturage reposant sur des véhicules électriques.

Les partenaires ont ainsi engagé 3 actions communes :

- Action 1 : étudier une chaîne de mobilité transfrontalière intelligente assurant les liaisons entre les transports individuels et les transports en commun et intégrant l'électromobilité
- Action 2 : configurer les plateformes d'échange multimodales (« eHubs ») et élaborer un schéma transfrontalier d'après les enquêtes d'usage et sur les axes de circulation ciblés
- Action 3 : développer une stratégie de gestion des plateformes d'échange multimodales (« eHubs ») et définir l'environnement nécessaire à leur interopérabilité

Afin de satisfaire les attentes d'un maximum de navetteurs, le schéma de mobilité transfrontalière étudié repose sur les 4 axes de circulation principaux du territoire considéré :

- Metz – Thionville – Luxembourg
- Trèves – Luxembourg
- Sarrebruck – Merzig – Luxembourg
- Forbach – Sarreguemines – Sarrebruck

1.4. Partenaires, financement et organisation du travail

Le projet s'est déroulé dans le cadre du programme européen INTERREG IV-A Grande Région visant à promouvoir la coopération transfrontalière entre les territoires de la Grande Région. Le projet a de ce fait bénéficié d'un financement FEDER à hauteur de 50%, le reste du financement étant assuré par les 5 opérateurs partenaires. Dans le Tableau 1 figure l'ensemble des partenaires opérateurs et méthodologiques du projet.

Tableau 1: Partenaires du projet

Partenaires opérateurs	Partenaires méthodologiques
Département de la Moselle (premier bénéficiaire) à Metz	Communauté des Transports du Grand-Duché de Luxembourg
Ministère du Développement Durable et des Infrastructures du Grand-Duché de Luxembourg	Ministère de l'Économie, de la Protection du Climat, de l'Énergie et de l'Aménagement du Territoire de Rhénanie-Palatinat
Luxembourg Institute of Science and Technology à Luxembourg	Ministère de l'Intérieur, du Sport et des Infrastructures (ISIM) de Rhénanie-Palatinat
Université Technique de Kaiserslautern (Chaire LRS et iMove)	Ministère de l'Économie, du Travail, de l'Énergie et des Transports de Sarre
IZES (Institut für ZukunftsEnergieSysteme) à Sarrebruck	

Un comité de pilotage, sous la conduite du Conseil Départemental de la Moselle, réunissant tant les opérateurs partenaires que les opérateurs méthodologiques, a été mis en œuvre pour la bonne coordination du projet. Le comité de pilotage a permis de déterminer la méthodologie commune, fixer les critères communs pour les recherches et les études, analyser et synthétiser les résultats et initier les actions de communication.

Le travail conduit par les partenaires opérateurs a ainsi été réparti entre 2 groupes de travail :

1. Le premier groupe de travail (GT1), sous la conduite du Ministère du développement Durable et des Infrastructures du Grand-Duché de Luxembourg, s'est focalisé sur le travail d'analyse des flux et de la typologie des travailleurs frontaliers sur les 4 axes de circulation étudiés, ainsi que sur les emplacements et le dimensionnement potentiels des plateformes multimodales („eHubs“)

2. Le deuxième groupe de travail (GT2) sous la conduite de l'Université Technique de Kaiserslautern, s'est consacré à la définition du concept de „eHub“, ainsi qu'au développement des outils de gestion eEnergy, eParking et eFleet Management

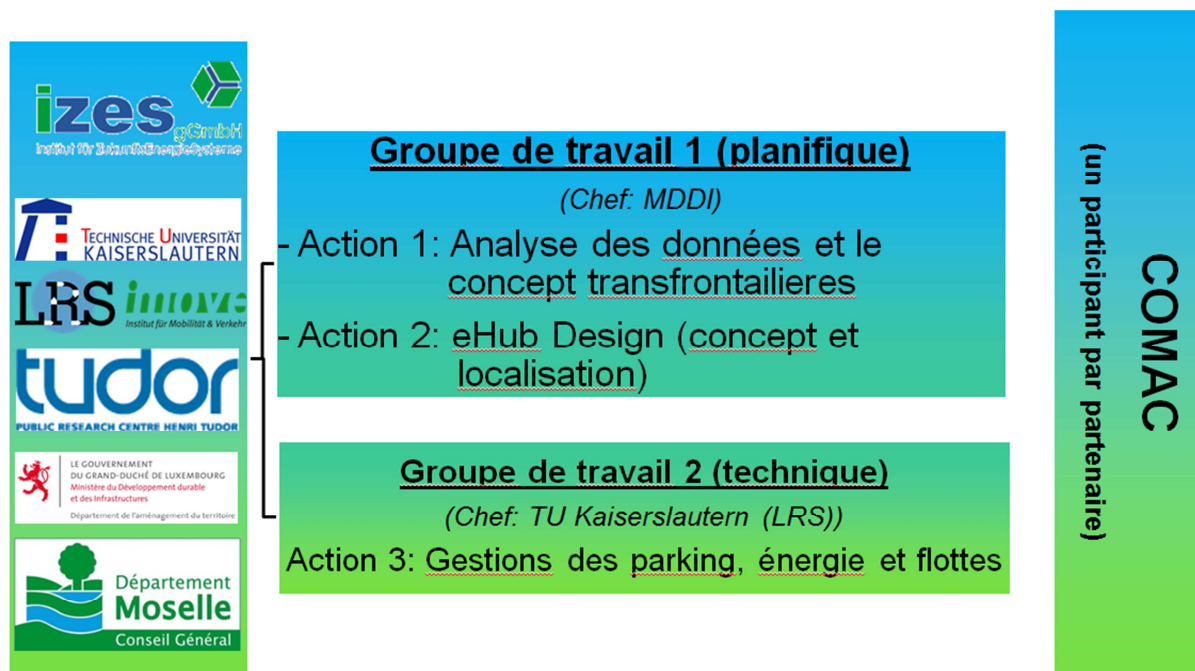


Figure 2: Organisation du travail entre partenaires

1.5. Logo du projet



Figure 3: Logo du projet

Les partenaires du projet se sont accordés pour créer un logo représentatif du projet. Sous des abords abstraits, sa symbolique est multiple.

Il représente tout d'abord deux prises électriques connectées symbolisant la mobilité électrique transfrontalière, le trait blanc s'insinuant entre les prises représentant la collaboration en

miroir entre les partenaires.

La deuxième symbolique est géographique puisqu'il s'agit d'une représentation abstraite des territoires partenaires : Le Luxembourg et la Moselle en vert et la Sarre et la Rhénanie-Palatinat en bleu.

Enfin, pour ce qui concerne le nom du projet, qui est un diminutif d'« Electromobilité Transfrontalière », les lettres ELEC sont inscrites en gras pour souligner le caractère novateur du projet autour de la mobilité électrique.

1.6. Définitions

Un certain de termes utilisés dans le cadre du projet nécessitent d'être définis :

- **Navetteur transfrontalier** : personne se rendant de façon quotidienne dans un pays étranger pour y travailler.
- **Navetteur transfrontalier atypique** : individu, employeur ou salarié, résidant dans un pays étranger et travaillant dans son propre pays. Il circule chaque jour ou presque pour des raisons professionnelles. Il peut également s'agir de travailleurs traversant un pays étranger pour se rendre dans un autre pour travailler (Ex. un Français habitant dans l'est de la Moselle et traversant la Sarre pour se rendre travailler au Luxembourg).^[6]
- **Intermodalité** : traduit l'utilisation d'au moins 2 formes de transport différentes pour voyager d'un point A à un point B. L'intermodalité dépendant de l'itinéraire est une forme particulière de la multimodalité.^[7]
- Multimodalité : se rapporte à l'option de chaque voyageur de choisir de combiner différentes formes de transport pour atteindre sa destination.^[8]
- **e-Hub**: caractérise un point d'interconnexion multimodal comportant des stations de véhicules électriques – voiture, vélo à assistance électrique, voire autobus – permettant l'interconnexion de différentes formes de transport. Par exemple, un parking avec flotte de véhicules électriques, des places de stationnement pour le covoiturage et un arrêt d'autobus (cf. chap. 3.1.).

^[6] Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. P. 17 – in: Gilles et al. (editors): Luxemburg-Studien. Published by Peter Lang Verlag, Frankfurt.

^[7] Von der Ruhren, S. et al. (2003); <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/353986/> (accessed on 1 February 2015)

^[8] ibidem

2. Action 1 – Analyse des données et concept transfrontalier

2.1. Définitions des objectifs

En prélude au projet, la première étape consista en la consignation des objectifs et attentes de chaque partenaire. Le groupe de travail spécialisé s'est entendu sur les points suivants :

- compréhension commune des tâches du groupe de travail
- approche méthodique
- aperçu des études déjà existantes
- définition de « jalons »/d'objectifs pertinents
- calendrier

Ensuite, les objectifs fixés ensemble furent concrétisés au départ de la demande de projet. À ce titre, il s'agissait essentiellement de fixer les concepts de « frontalier », « travailleur frontalier au quotidien », « transfrontalier » en lien avec « intelligent » mais également de définir, en fonction du moyen de transport choisi, les groupes cibles à placer sous les feux de la rampe.

De plus, les questions de recherche essentielles et pertinentes pour l'approche ultérieure furent définies d'un commun accord. Les cinq questions de recherche maîtresses sont listées ci-après (les questions de recherche détaillées figurent dans l'aperçu en annexe a et b) :

1. Où un eHub est-il porteur de sens ? (concept de site / critères de décision)
2. Quelles caractéristiques et quels services devraient-ils proposer ? (caractéristiques d'équipement)
3. Qu'est-ce qu'un design approprié ? (dimensionnement)
4. Quelles sont les attentes des frontaliers en termes de mobilité ? Quelles sont leurs « sensibilités » ? (demande / analyse du marché)
5. Quelles sont les conditions cadres nationales (politiques, économiques, organisationnelles, légales)
6. Qui sont les acteurs principaux et quels intérêts représentent-ils ? (analyse des acteurs)

2.2. Méthodologie et bases de données

2.2.1. Corridors de focalisation et analyse secondaire

Les questions de recherche furent utilisées pour l'opérationnalisation et figurent sous forme de jalons et lots de travaux dans la planification du travail. La focalisation spatiale fut posée sur les quatre corridors suivants :

- Metz – Thionville – Luxembourg
- Trèves – Luxembourg
- Merzig – Luxembourg
- Saarbrücken – Forbach – Sarreguemines

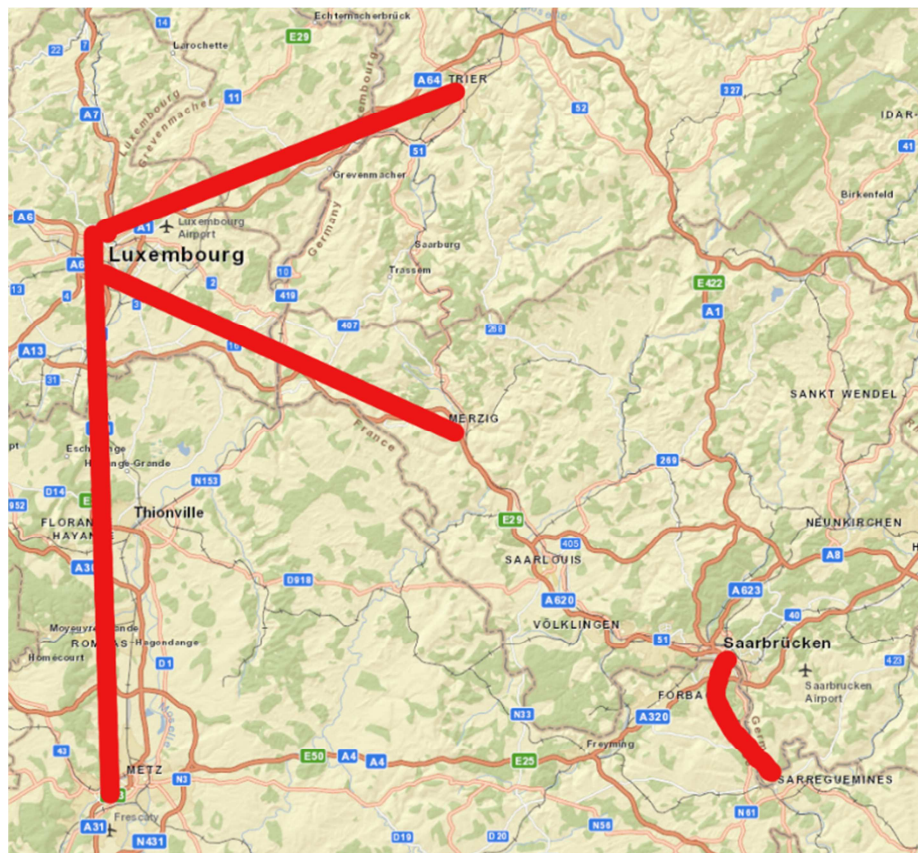


Figure 4: Aperçu des corridors

Nous avons ensuite rassemblé pour chaque région partenaire des études pertinentes en termes de sujet, des statistiques ainsi que d'autres publications et les avons analysées quant au caractère exploitable de leurs contenus. Les contenus furent affectés à divers indicateurs (p.ex. auteur, donneur d'ordre, date de parution, région couverte, contenu) au sein d'une structure élaborée en commun. En guise de résultat, nous avons pu élaborer un aperçu global harmonisé qui montre les zones thématiques de recherche couvertes de manière suffisante et étayée jusqu'à présent ainsi que celles présentant encore des lacunes de recherche, auxquelles il

conviendra encore de répondre ultérieurement au fil du projet en ce qui concerne l'objectif de ce dernier. Le tableau figurant en annexe c offre une vue d'ensemble de ces études tandis que le tableau 2 suivant offre un aperçu des contenus analysés de manière détaillée.

Tableau 2: Analyse des éléments en présence – saisie harmonisée

A				B			C					D			
Analyse stratégiques de locations possible				Analyse des besoins stratégiques			Analyse des prospects					Cadre des conditions			
Infrastructure	Données sociodémographique	Entreprises	Données du trafic	Motivation des navetteurs	Sensibilités	Attentes	Navetteurs	Entreprises	Investisseurs, Operateurs	Décideur	Autre	Politique	Économique	Organisationnelle	Juridique
1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4

Sur la base des résultats de cette analyse (cf. chapitre 2.3.1.) et en lien avec l'idée sous-jacente au projet, un sondage était nécessaire. Ce sondage constituera le premier relevé intégral concernant directement les frontaliers au sein de la Grande Région, aucun n'ayant existé à ce jour selon cette ampleur et avec ce contenu.

2.2.2. Détermination de la population

Grâce à la base de données IGSS contenant l'ensemble des données relatives aux personnes travaillant au Luxembourg, la base sous-jacente à la détermination de la population existait déjà.

Afin de déterminer un échantillon qui en résulte le long des trois premiers corridors, nous avons élaboré un modèle d'accessibilité à plusieurs niveaux. La première étape de ce modèle consiste en la limitation des lieux de résidence des frontaliers à la date de référence du 31 décembre 2013. Ensuite, les limitations utilisées furent sur la base des autoroutes en France et en Allemagne, tant un corridor aérien de 15 km à droite et à gauche des autoroutes qu'une accessibilité routière en 15 minutes

maximum. Cela s'est opéré à l'aide des routes déterminées afin de s'y rendre, ainsi que des vitesses enregistrées pour ces dernières. Ce modèle ne tient toutefois pas compte des accélérations et décélérations et suppose toujours que les vitesses sont respectées. Afin d'opérer une concrétisation plus proche de la réalité, les types de routes furent dotés des vitesses moyennes mentionnées dans le tableau 3.

Tableau 3: Modèle d'accessibilité, vitesses enregistrées

Type de route	Vitesse moyenne supposée en km/h
Route nationale	75
Route départementale	67
Route régionale	65

De même, les chantiers et routes sujettes aux embouteillages ne sont pas pris en compte. La référence exclusive aux autoroutes s'est opérée car elle renferme le plus grand potentiel dans le cadre de l'idée sous-jacente au projet. Pour terminer, nous avons tenu compte de la taille des communes, en supposant une distribution uniforme de la population parmi celles-ci. Les diverses étapes sont représentées de manière résumée dans le graphique 6.

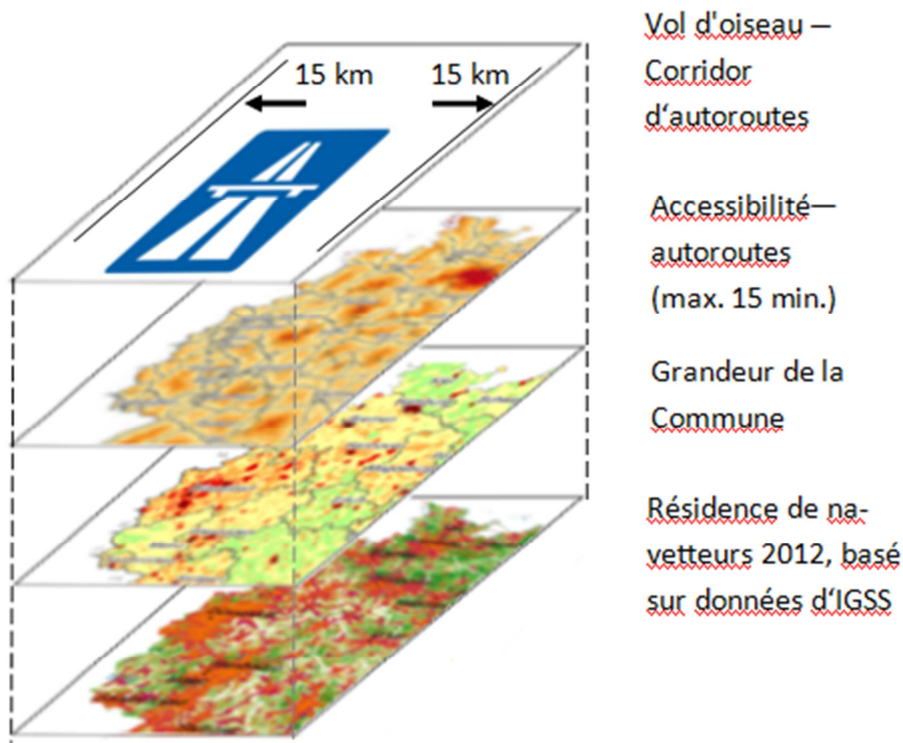


Figure 5: Modèle d'accessibilité

Cela permet une représentation trajets-durée pour chaque endroit. Les durées déterminées furent groupées selon des intervalles de 5 minutes, en vue d'une simplification de la présentation visuelle.

Les nombres absolus de frontaliers étaient donnés par la base de données IGSS, si bien qu'il suffit d'affecter les chiffres aux localités dans le cadre d'une étape supplémentaire. Le résultat obtenu consiste en un échantillon de base représentatif de 55 300 frontaliers domiciliés dans 247 communes utilisé pour les étapes ultérieures. La carte en annexe d montre les communes ainsi que les chiffres absolus de ces frontaliers. Les noms des communes furent déterminés par le biais de l'IGSS. Le tableau 4 montre la répartition de cet échantillon de base.

Tableau 4: Résultat du modèle d'accessibilité

Taille de la commune	Nb de communes	Navette urs abs.	Navette urs RLP	Navette urs SR	Navetteurs Mos	Part RLP	Part SR	Part Mos	Total Distribution
100.000 - 500.000 hab.	3	10.127	6.474	347	3.306	11,90 %	0,60 %	6,10 %	18,60%
20.000 - 50.000 hab.	11	8.254	0	1.834	6.420	0,00 %	3,40 %	11,80 %	15,20%
10.000 - 20.000 hab.	66	14.510	340	2.333	11.837	0,60 %	4,30 %	21,80 %	26,70%
5.000 - 10.000 hab.	101	18.252	1.629	1.797	14.826	3,00 %	3,30 %	27,30 %	33,60%
< 5.000 hab.	66	3.212	1.715	0	1.497	3,20 %	0,00 %	2,80 %	5,90%
Total	247	54.355	10.158	6.311	37.886	18,70%	11,60%	69,70%	100,00%

Afin de préserver la protection des données, nous avons discuté au préalable de manière détaillée avec les personnes en charge de la protection des données ; de même nous avons dû exposer lors d'un entretien avec l'IGSS de manière extrêmement précise dans quel but, à quel instant et dans quel cadre la base de données allait être utilisée.

2.2.3. Indicateurs

Ensuite, les questions de recherche furent détaillées et élaborées pour chaque action, formulées sous forme d'indicateurs avant de faire l'objet d'un accord. Dans ce cadre, la réflexion fut déjà double : un premier questionnaire devait s'adresser aux frontaliers, un deuxième aux 120 plus grandes entreprises en termes de proportion de frontaliers parmi le personnel, une information qui figurait également dans la base de données IGSS.

Indicateurs des frontaliers : les indicateurs furent tout d'abord élaborés à l'aide d'un procédé coopératif et classés en deux groupes thématiques appelés analyse spatiale et analyse fondée sur la demande. Après avoir trié cet aperçu, les 42 indicateurs firent l'objet d'un accord individuel formulé par chaque partenaire au projet au moyen de trois niveaux de priorité (« must have » – « good to have » – « nice to have »).

Indicateurs des entreprises : ici aussi, les questions pertinentes furent opérationnalisées ensemble et également structurées sous la forme de 42 indicateurs répartis en quatre ensembles thématiques avant d'être soumis au choix des partenaires au projet.

Les valeurs moyennes respectives des éléments ayant fait l'objet d'un accord furent intégrées au développement des questionnaires et servirent en parallèle d'information pour l'entreprise de sondage Infas.

2.2.4. Axe 4

Dans le cadre de l'Action 1 « Concept de la gestion de l'e-Mobilité », intervient un bilan des données déjà disponibles ainsi que la mise en œuvre de sondages sous forme d'interviews téléphoniques, menés auprès des grands employeurs et auprès des spécialistes de la circulation. Le résultat de ces mesures fournit une caractérisation de l'Axe 4 et donne lieu au développement de recommandations en vue de l'optimisation des flux transfrontaliers.

Les données de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) de l'année 2010 ont été utilisées pour l'Axe 4. Ces données sont collectées tous les cinq ans au moyen d'une enquête sociologique menée dans toute la France. Cette enquête englobait également des navetteurs frontaliers de Lorraine, ayant leur lieu de travail à l'étranger. Les données ont pu être exploitées pour l'Axe 4.

Dans le cadre d'une thèse de Bachelor⁹, l'exploitation détaillée des données de l'INSEE a également été effectuée pour les autres axes, en tant que valeur ajoutée du projet

Pour l'Axe 4, il s'est par ailleurs avéré qu'un sondage correspondant, tel qu'il fut mené à bien pour les Axes 1 à 3, était impossible. Les données de contact pour les navetteurs des trois premiers axes sont mises à disposition par l'Inspection générale de la sécurité sociale (IGSS) au Luxembourg¹⁰.

Des alternatives potentielles¹¹ ont permis de constater que des données correspondantes sur les adresses des navetteurs frontaliers ne sont pas disponibles ou ne peuvent pas être communiquées en raison de directives strictes en matière de protection des données. Une enquête représentative auprès de tous les habitants (basée sur les assurances sociales) dans le périmètre de l'Axe 4 afin de déterminer les navetteurs frontaliers était irréalisable dans le cadre du budget.

Le groupement de recherche est donc parvenu en commun à la conclusion¹² qu'il fallait plutôt axer les efforts concernant l'Axe 4 sur un design qualitatif de l'enquête. Le groupement du projet a saisi cela comme une opportunité pour projeter les résultats des Axes 1 à 3 sur l'Axe 4 et, inversement, refléter les évaluations qualitatives de l'Axe 4 sur les Axes 1 à 3. L'enquête qualitative a été menée à bien par INFAS (Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH) qui effectuait également l'enquête sur les trois autres axes.

2.2.5. Appel à candidatures

Un appel à candidatures a été lancé pour une enquête à réaliser auprès des navetteurs par un prestataire externe. Le commanditaire en était le Ministère luxembourgeois du Développement Durable et des Infrastructures (MDDI) sous l'égide de la Direction de la Planification de la Mobilité. Lors de la sélection des candidats, le ministère a bénéficié du concours des instituts iMove et IZES.

⁹ Auteur: Valerie Koch (stage pratique du 01/07 au 30/09/2015 chez IZES gGmbH); étudiante de premier cycle à l'Institut Franco-Allemand de Techniques, d'Economie et de Science (ISFATES) de l'école supérieure de l'économie et de la technique de la Sarre (HTW Saar)

¹⁰ dans le cadre d'une convention sur la protection des données.

¹¹ Consultation de la Chambre du Travail de la Sarre (<http://www.arbeitskammer.de>), consultation de l'Eurodistrict SaarMoselle (<http://www.saarmoselle.org>), consultation d'EURES (<http://www.eures-sllrp.eu>), consultation du Comité de défense des travailleurs frontaliers de Moselle (www.frontaliers-moselle.com), consultation du Club des Affaires Saar-Lorraine e.V. (www.clubaffaires.de)

¹² Rencontre des partenaires du projet le 29/04/2014

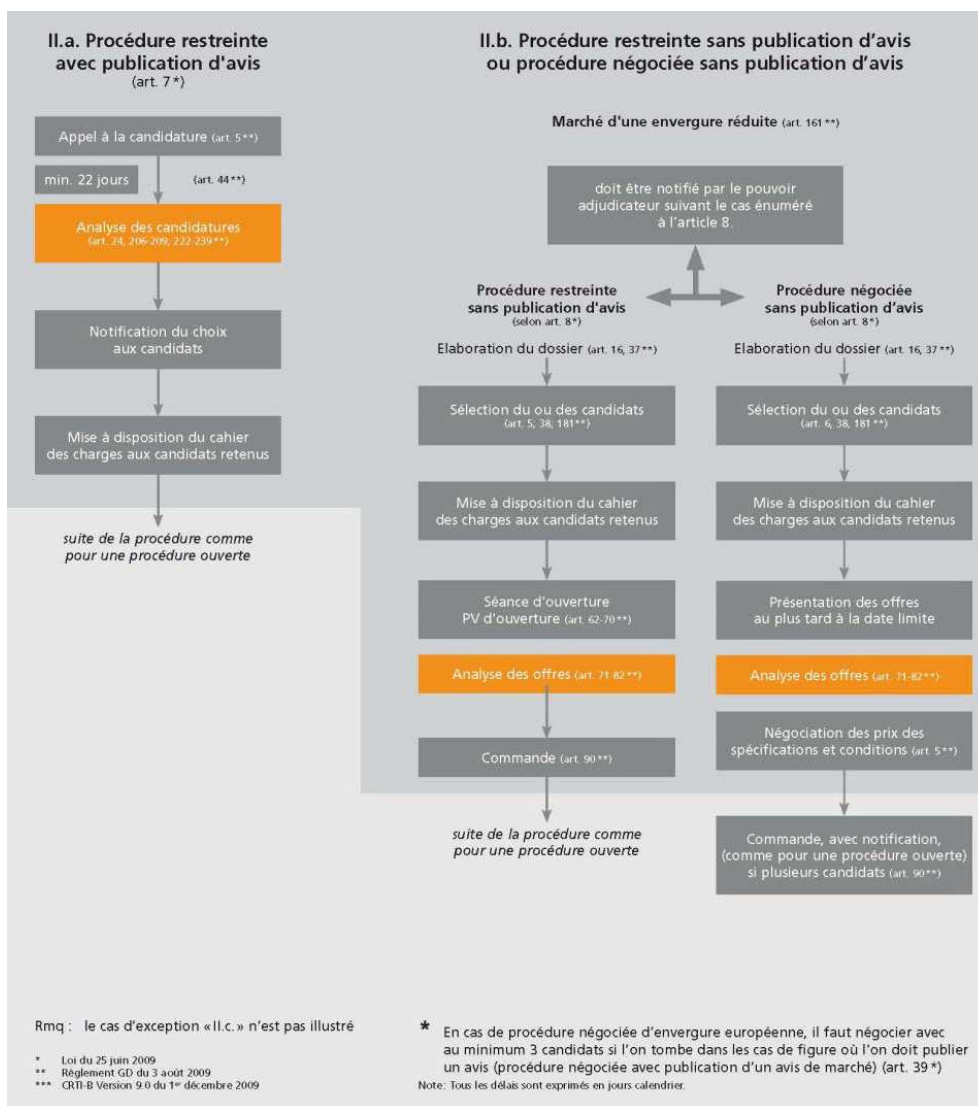


Figure 6 : Procédure restreinte sans publication d'avis

L'appel à candidatures ayant eu lieu au Luxembourg, son déroulement était soumis à la législation de ce pays qui définit les procédures à respecter.¹³ Afin d'accélérer le processus de désignation d'un prestataire et parce que le budget prévu pour l'enquête ne devait pas être dépassé, c'est la procédure restreinte sans publication d'avis¹⁴ qui a été choisie pour l'appel à candidatures.

En collaboration avec les partenaires associés au projet, un cahier des charges a été établi. Celui-ci définit d'une part les modalités générales de l'appel (p. ex. la langue

¹³ loi du 25 juin 2009 sur les marchés publics http://www.legilux.public.lu/leg/textescoordonnes/compilation/code_administratif/VOL_5/MARCHES_PUBLICS.pdf

¹⁴ Article 8 de la loi du 25 juin 2009 sur les marchés publics http://www.legilux.public.lu/leg/textescoordonnes/compilation/code_administratif/VOL_5/MARCHES_PUBLICS.pdf

du projet, les réglementations en matière de confidentialité, les droits d'exploitation) et dresse d'autre part la liste des exigences spécifiquement liées au projet. S'agissant de la méthode de sondage, il était prévu, pour les axes 1-3, de réaliser une enquête à la fois auprès des ménages de frontaliers et des entreprises. Pour l'axe 4, un sondage devait être effectué au sein des entreprises, les responsables des sociétés respectives étant alors à interroger. Pour les axes 1-3, méthodes CATI (par téléphone) et CAWI (basée sur internet) devaient être associées. Les courriers de prise de contact ont été rédigés en français et en allemand ; les enquêtes étaient elles aussi menées dans les deux langues. Afin de permettre une comparaison des différentes offres en termes de prix, des informations devaient être fournies sur la base d'échantillons théoriques. Cette méthode a par ailleurs permis, une fois le marché attribué, de définir la taille des échantillons théoriques définitifs sans dépasser les tranches budgétaires fixées.

Le cahier des charges une fois achevé a ensuite été transmis à huit entreprises francophones et/ou germanophones. Après un délai de candidature de quelques semaines, trois offres ont été présentées.

Les offres soumises ont alors été évaluées par les différents partenaires afin de déterminer l'offre économiquement la plus avantageuse dans le respect de la législation applicable. Parmi les critères d'appréciation, la qualité de l'offre et la description de la méthode ont été retenues à hauteur de 40 %, le degré de spécialisation et le niveau technique, pour 30 % chacun. Après analyse des évaluations par les cinq partenaires associés au projet, l'offre d'Infas a recueilli le plus grand nombre de points. Le marché lui a en conséquence été attribué par décret du ministère compétent.

Offre 1	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Résultat final
Qualité - 40 points	39,00	32,50	30,00	36,60	33,90	34,40
Références du prestataire - 30 points	20,00	15,00	20,00	26,00	24,00	21,00
Prix - 30 points	30,00					30,00
			TOTAL - 100 points			85,40
Offre 2	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Résultat final
Qualité - 40 points	31,30	28,20	33,40	34,50	31,30	31,74
Références du prestataire - 30 points	20,00	12,00	24,00	21,00	20,00	19,40
Prix - 30 points	15,97					15,97
			TOTAL - 100 points			67,11

Figure 7: Évaluation des offres

Etant donné qu'au Luxembourg, l'utilisation de bases de données personnelles comme celle de l'IGSS est soumise à une autorisation préalable, la mise à disposition de la base de données aux fins de définition de l'échantillon ainsi que l'utilisation des données pour contacter le groupe cible et réaliser une enquête étaient subordonnées à l'agrément de la CNPD (Commission nationale pour la protection des données).

Pour l'exploitation des données de l'IGSS, la CNPD édicte les principes suivants : utiliser le moins possible des catégories de données sensibles issues de la base de données ; il faut par ailleurs que la quantité des données soit justifiée (proportionnalité). Les données ultérieurement utilisées pour l'analyse ne doivent en aucun cas provenir de la base de données de l'IGSS, mais avoir été collectées lors de l'enquête. Une demande d'agrément a alors été déposée pour le projet auprès de la CNPD. Il y est tenu compte de toutes les thématiques requises en rapport avec le respect de la protection des données. Le 21 juillet 2014, tous les partenaires du projet avaient signé la clause de confidentialité réclamée si bien que l'échantillon a pu être transmis à Infas.

2.2.6. Concertation avec Infas

Les indicateurs élaborés et ayant fait l'objet d'un accord servirent de guide pour la création des questionnaires. En concertation avec Infas et en se fondant sur les

expériences de cette dernière, un échantillon représentatif de 22 500 frontaliers fut généré avec trois filtres au départ de l'échantillon de base calculé comptant 55 000 frontaliers :

- nationalité
- âge de travailler (16 – 65 ans)
- distribution uniforme des habitants dans les 247 communes

Les méthodes de sondage firent également l'objet d'un accord. Les frontaliers devaient bénéficier du libre choix entre une participation téléphonique (CATI = Computer-assisted telephone interviewing ou entrevue téléphonique assistée par ordinateur) ou par Internet (CAWI = Computer-assisted web interviewing ou sondage en ligne) au sondage.

Après un pré-test concluant de la variante CATI durant 2 heures, durant lequel iMove fut représenté en qualité de partenaire au projet, les derniers détails furent encore apportés aux formulations/au libellé des questions ayant généré des malentendus durant le pré-test. La variante CAWI fut élaborée et testée sur cette base.

2.2.7. Sondage

Le sondage des frontaliers fut précédé par l'envoi aux frontaliers contactés d'un courrier unilatéral ainsi que d'une fiche de protection des données elle aussi unilatérale et rédigés dans la langue nationale respective. Afin de conférer un caractère officiel effectif au sondage, ces deux documents furent dotés de l'écusson officiel du gouvernement luxembourgeois, du logo EU-EFRE ainsi que de l'adresse d'Infas. La fiche de protection des données fut en outre dotée du logo des partenaires au projet. En parallèle, Infas a créé une page d'accueil pour la variante CAWI, sur laquelle les frontaliers pouvaient se connecter au moyen de leur code d'accès personnalisé. Le sondage des frontaliers s'est étalé du 18.09.2014 au 01.11.2014.

Les 120 entreprises ne furent pas informées du sondage mais directement interrogées au moyen de la méthode CATI. La période de prélèvement s'est étalée du 02.10.2014 au 14.10.2014. À ce titre, les interlocuteurs souhaités étaient soit des membres du comité d'entreprise ou des cadres en mesure de s'exprimer quant à la mobilité des frontaliers et aux activités de l'entreprise pour ce qui est de la gestion de la mobilité.

2.3. Résultats

2.3.1. Résultats de l'analyse des données secondaires

En guise de résultat, l'analyse des données secondaires a révélé que c'est essentiellement le Luxembourg qui effectue déjà des recherches au sujet de

l'électromobilité et souhaite développer massivement ses transports publics pour le futur. Le département de la Moselle a également commandé une évaluation des modèles possibles en ce qui concerne l'électromobilité. Au même titre, les endroits susceptibles d'accueillir de futures aires de stationnement P+R le long de l'autoroute Metz-Luxembourg furent étudiés. Le résultat de cette compilation nous permet de constater qu'il existe déjà des informations fondamentales quant aux domaines « Analyse stratégique des sites possibles » et « Analyse des parties impliquées » mais également l'existence de quelques sensibilités dans le chef des travailleurs frontaliers ainsi que des « conditions cadres », en ce qui concerne ici une nouvelle fois avant tout les aspects politiques et organisationnels. Pour le projet, des informations nécessaires et détaillées quant à la quantité et à la répartition des flux de frontaliers spécifiques sur les corridors respectifs au sein de la Grande Région selon les heures et moyens de transports ont cependant fait défaut.

À l'aide de données secondaires, il fut déjà possible de dresser de premières analyses des éléments en présence et de localiser les infrastructures existantes. Cela englobe l'ensemble des données relatives à l'infrastructure, un premier aperçu en a dès lors découlé pour le réseau de chemin de fer, de bus et routier, y compris les gares, les arrêts et aires P+R au moyen d'un système d'information géographique (SIG) (cf. annexe e et f) .

Pour ce faire, les données quotidiennes de diverses stations de comptage autoroutières (KFZ/24h), les nombres de voyageurs absolus des lignes de chemin de fer pertinentes ainsi que les nombres de voyageurs empruntant les lignes de bus régionales transfrontalières furent également établis. Des données supplémentaires furent collectées quant au réseau existant de points de rechargement électriques, à la densité de population, au parc automobile ainsi qu'aux aires de covoiturage dans la région étudiée. Toutes les données ne purent cependant être prélevées ou comparées les unes aux autres de la même manière pour l'ensemble des pays. Soit les données étaient uniquement disponibles pour un pays soit les méthodes de prélèvement divergeaient à ce point qu'une comparaison directe était impossible.

Une source de données supplémentaire prit la forme du registre de la sécurité sociale du Grand-Duché de Luxembourg (IGSS). Cette base de données de l'ensemble des personnes travaillant au Luxembourg mentionne de manière distincte les travailleurs frontaliers selon leur lieu de résidence. Cela a permis de dresser une

première carte qui présente, par commune, le nombre absolu de frontaliers avec un minimum de trois (cf. carte en annexe g). Les données collectées, concernant essentiellement les points de chargement et les aires de covoiturage, joueront un rôle concernant l'analyse de site ultérieure des eHubs possibles dans Action 2, en interaction avec les résultats du sondage des frontaliers et entreprises (à ce titre, cf. le rapport action 2).

2.3.2. Résultats axes 1-3

Par analogie avec la méthodologie du sondage, les résultats sont présentés de manière séparée les uns des autres à l'aide des corridors 1-3 et 4. Un chapitre distinct est consacré aux entreprises.

Dans le cadre du sondage portant sur les corridors Metz-Luxembourg, Trèves-Luxembourg et Merzig-Luxembourg, Infas a réalisé un total de 7 045 interviews complètes. Par rapport à l'échantillon net corrigé de 21 104 frontaliers contactés par courrier en France et en Allemagne, cela correspond à un taux de réponse de 33,38%. 33,6% des réponses venaient de France et 66,4% d'Allemagne. 5 535 personnes ont pris part au sondage via Internet (soit 78,6% des participants). La durée moyenne des interviews était semblable pour les deux méthodes, à savoir 15,5 minutes (CAWI) et 16 minutes (CATI).

Une différenciation s'opère en outre selon les différents corridors. Ci-après, nous abordons uniquement les résultats les plus pertinents pour cette action 1. L'action 3 reflète les autres conclusions qui se fondent sur le sondage.

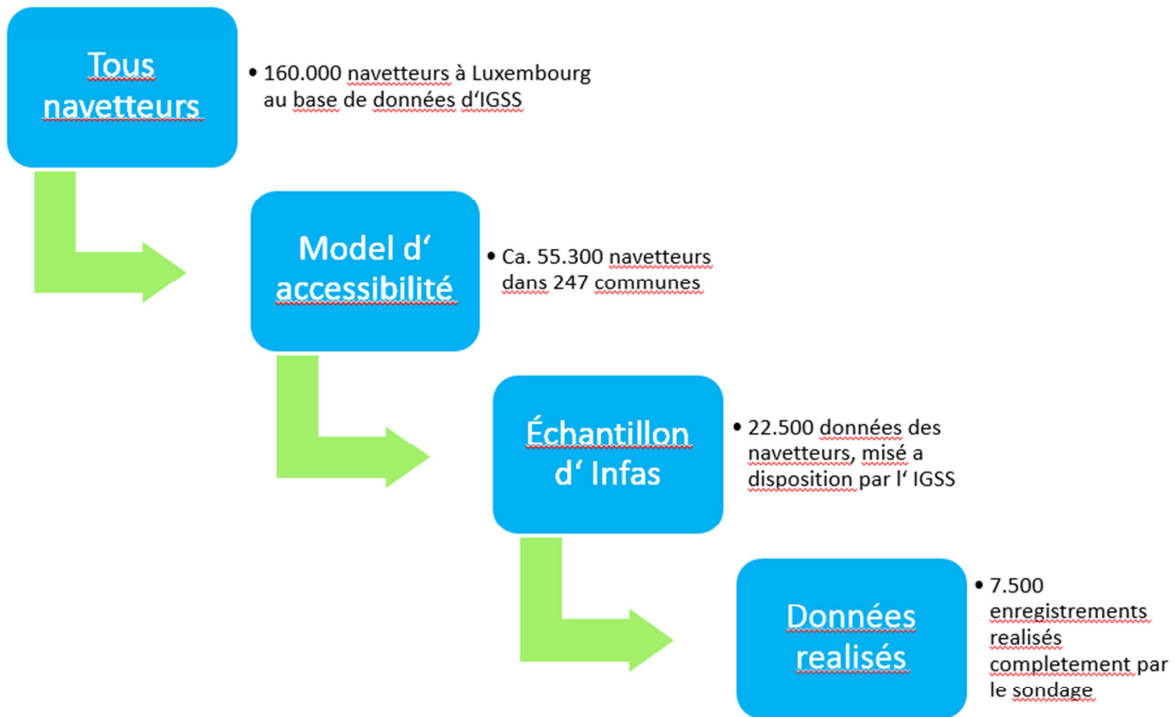


Figure 8: Sélection de l'échantillon représentatif

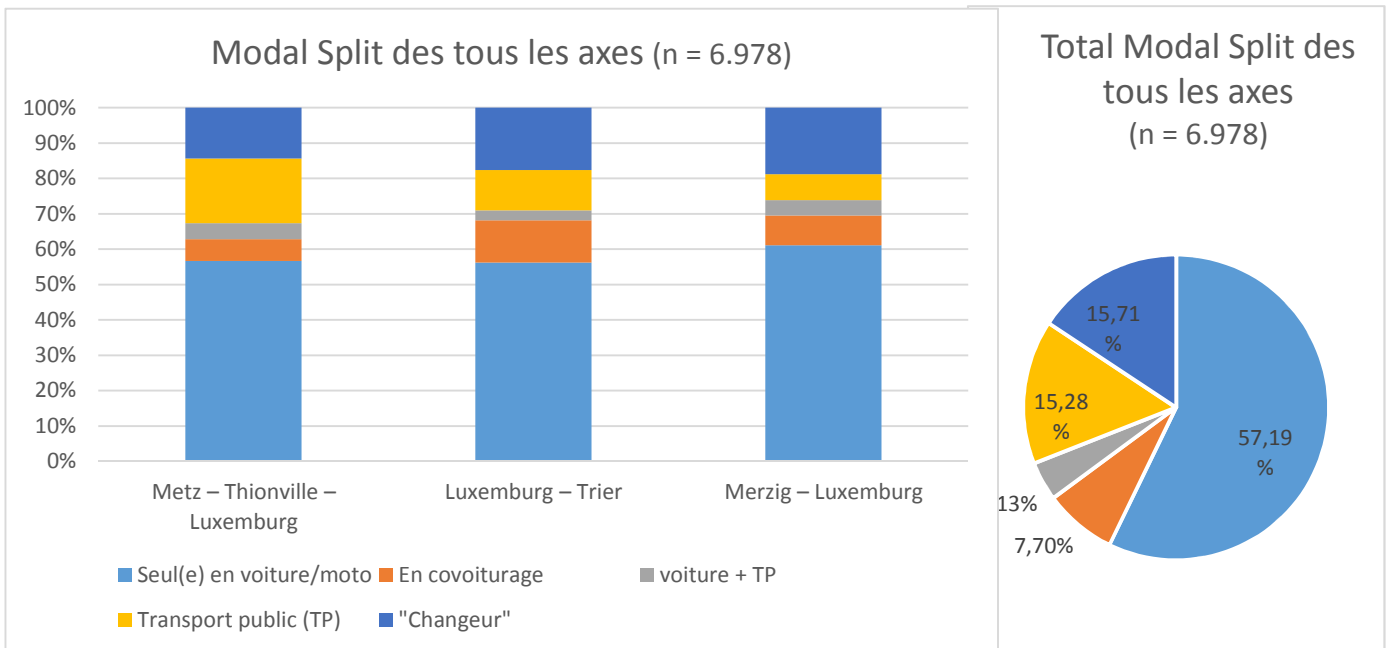


Figure 9: Modal Split des corridors

Si nous regroupons l'utilisation de la voiture/moto en solo et le covoiturage, il s'avère que 65% des personnes interrogées utilisent la voiture comme moyen de transport principal dans chacun des trois corridors. Le deuxième groupe le plus important est celui des « usagers multimodaux ». Il s'agit de frontaliers susceptibles de choisir l'un ou l'autre moyen de transport selon la situation et les besoins. Ce peut-être par

exemple, les transports publics un jour et la voiture un autre, en raison de bagages plus volumineux. 15% des sondés utilisent exclusivement les transports publics, à savoir le bus ou le train. Le plus petit groupe représente 4% des personnes interrogées et se compose de frontaliers intermodaux utilisant la voiture et les transports publics pour se rendre au travail.

Si nous comparons les différents corridors entre eux, nous constatons que le covoiturage est le plus faible mais l'utilisation des transports en commun la plus forte dans le corridor Metz-Luxembourg. Le recours au covoiturage est nettement plus marqué au départ des régions allemandes. La faible utilisation des transports publics dans le corridor sarrois s'explique par l'absence de liaison ferroviaire directe. Des bus express circulent souvent entre Sarrebruck, Merzig et Luxembourg.

Comparativement aux données CEPS¹⁵, nous remarquons que pour chacun des trois corridors, la part du TIM est une nouvelle fois en net recul mais que les rapports fondamentaux de la subdivision modale par corridor n'ont cependant subi aucune modification significative.

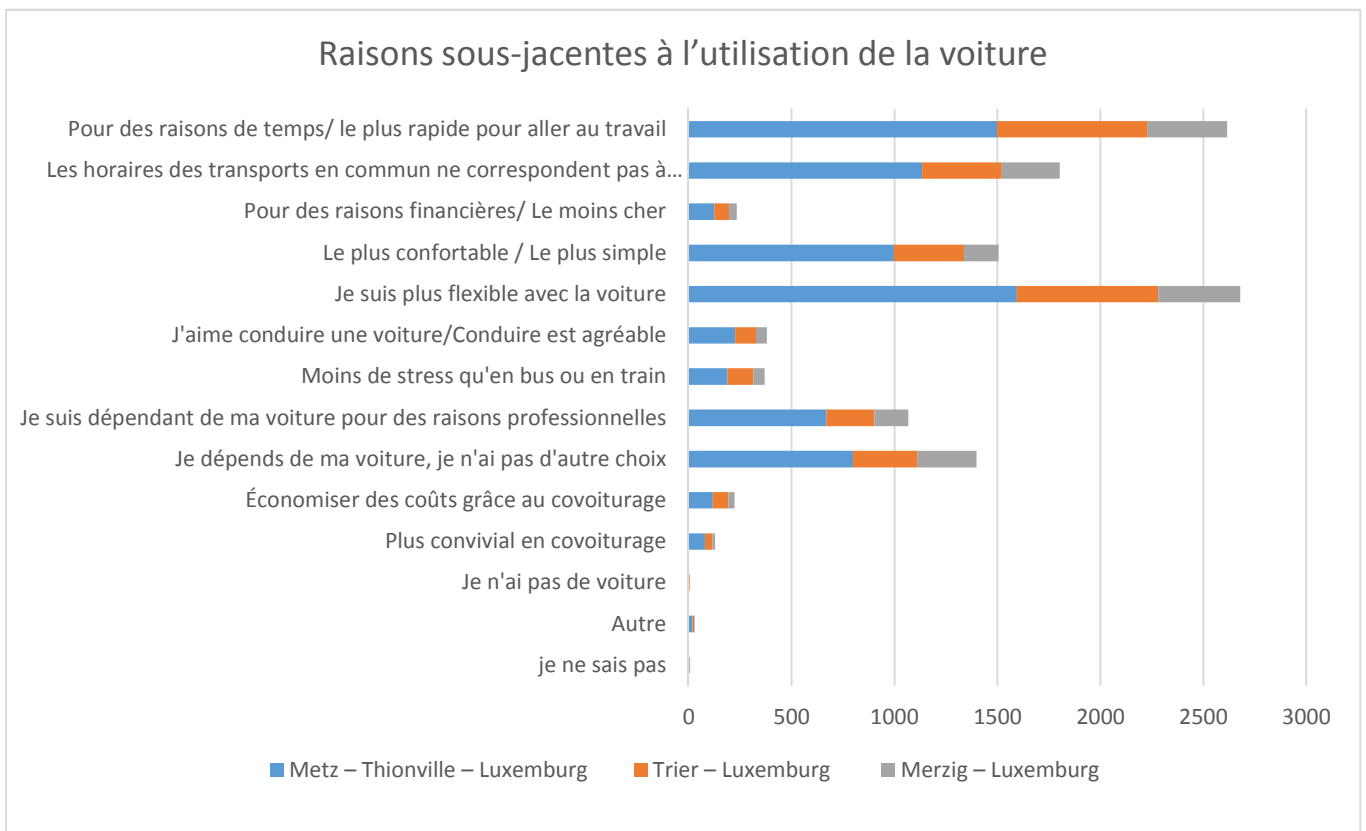
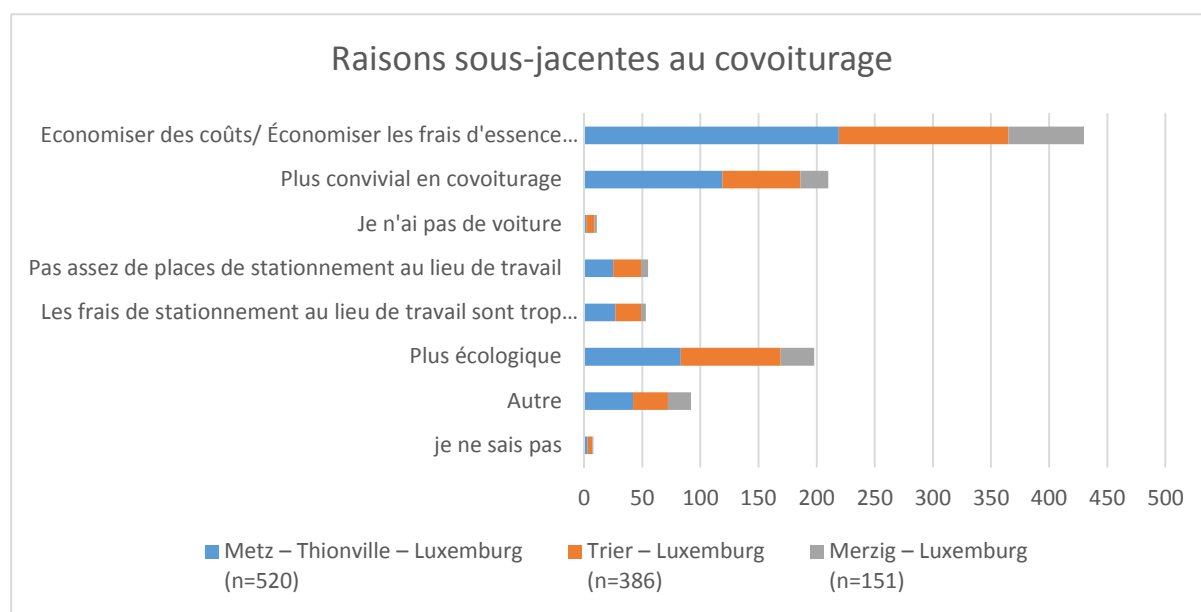


Figure 10: Raisons sous-jacentes à l'utilisation de la voiture

¹⁵ Cf. Schmitz, F. / Gerber, P. (2012): Öffentlicher Verkehr oder Individualverkehr: Wie begeben sich die Grenzgänger 2010 an ihren Arbeitsplatz? – In: CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg. p. 14s.

Les résultats figurant ci-après se réfèrent exclusivement aux frontaliers ayant indiqué la voiture ou la moto comme moyen de transport principal. Cette observation distincte s'opère car les partenaires au projet estiment que ce groupe renferme le plus vaste potentiel de recours au car sharing ou au covoiturage dans le futur.

Les frontaliers ont fourni des réponses très différentes à la question de savoir pourquoi ils utilisent la voiture. Les réponses multiples étaient possibles ici. La première raison avancée est celle de la flexibilité, ce qui signifie que le frontalier peut décider lui-même de l'instant auquel il quitte son domicile pour le travail et inversement. Directement derrière arrive l'aspect temporel, à savoir la durée du trajet entre le domicile et le travail. Le troisième motif évoqué est que les horaires des transports publics ne seraient pas adaptés aux horaires de travail. À ce titre, nous ignorons cependant si la personne interrogée s'est penchée sur les horaires ou suppose d'emblée que la voiture est la meilleure variante. Une autre raison importante est le confort mais il conviendrait également ici d'examiner ses caractéristiques de manière plus détaillée ou de savoir si cela renferme uniquement la qualité de la place assise ou la place disponible. En correspondance avec l'analyse d'infrastructure mentionnée en début de document, quelques sondés ont également indiqué l'absence de correspondance des transports publics à proximité de leur domicile. En outre, certaines personnes interrogées dépendent de la voiture sur le plan professionnel, ce qui exclut par principe le recours à d'autres moyens de



transport.

Figure 11 : Raisons sous-jacentes au covoiturage

Si nous interrogeons en particulier de manière plus précise les frontaliers adeptes du covoiturage quant aux raisons sous-jacentes à leur choix de moyen de transport, nous constatons que les aspects économiques (« économie des coûts », « situation de stationnement ») ou écologiques (« plus écologique ») prioritaires ne sont pas les seuls à compter. La convivialité du covoiturage fut également mentionnée de manière relativement fréquente.

Globalement, les résultats relatifs aux raisons sous-jacentes à l'utilisation d'un moyen de transport sont comparables à ceux de l'étude CEPS¹⁶ de 2012, également en ce qui concerne la méthodologie. Le sondage ELEC'TRA est cependant plus détaillé et permet davantage de déductions.

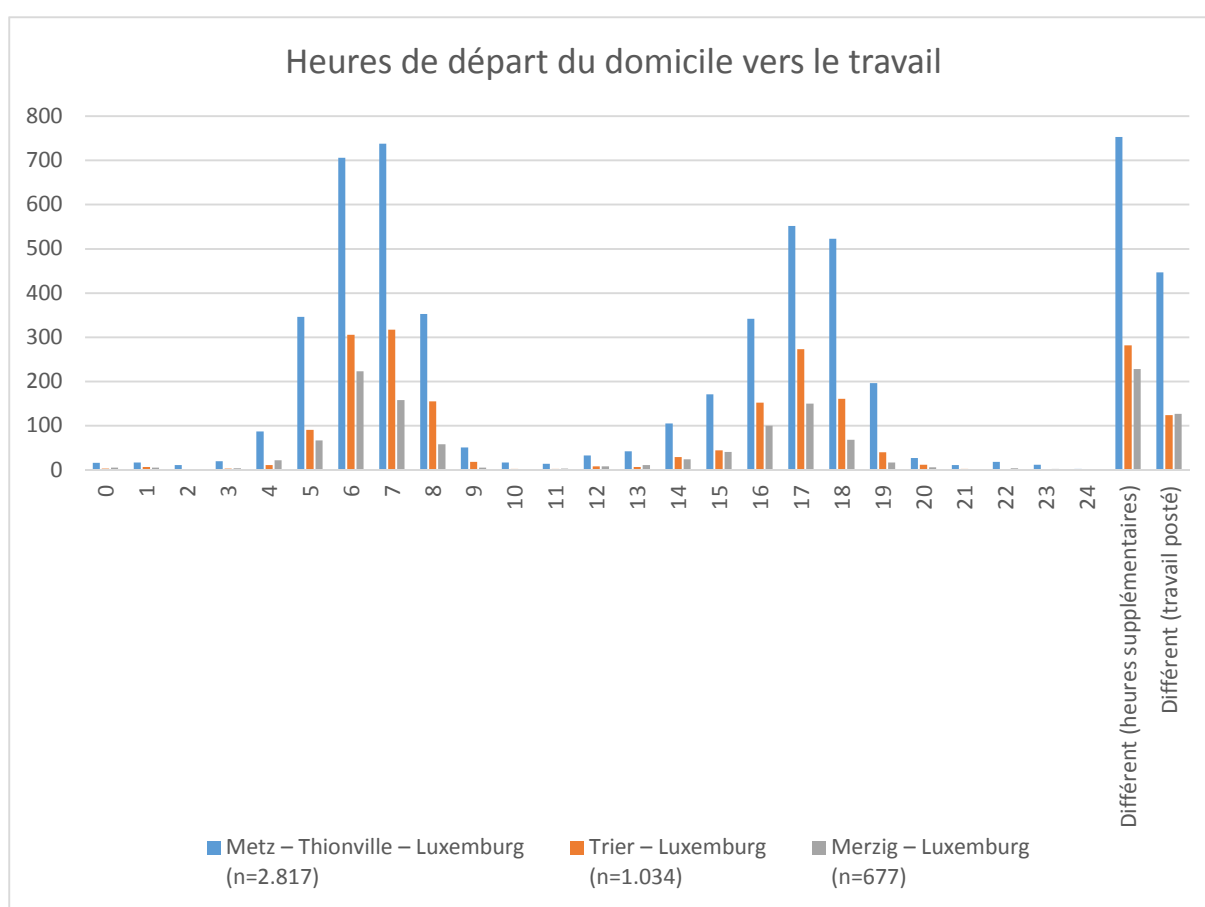


Figure 12: Heures de départ du domicile vers le travail

Les départs vers le travail s'effectuent essentiellement entre 5h00 et 8h00 tandis que les retours se répartissent entre 14h00 et 19h00. Il convient à ce titre d'observer que cette fenêtre temporelle est susceptible de s'élargir et que le nombre de retours à domicile peut en outre s'accroître dans les limites de cette dernière, en raison des heures supplémentaires. Notons aussi le fait qu'il existe un groupe appréciable de

¹⁶ Cf. ibidem

frontaliers (15% de l'ensemble des sondés) travaillant en équipe et n'appartenant pas au secteur des services. Remarquons que la largeur des deux fenêtres temporelles diffère significativement, ce qui devrait avoir une influence considérable dans la suite de la recherche (à ce titre, cf. le rapport d'Action 3, chapitre 3).

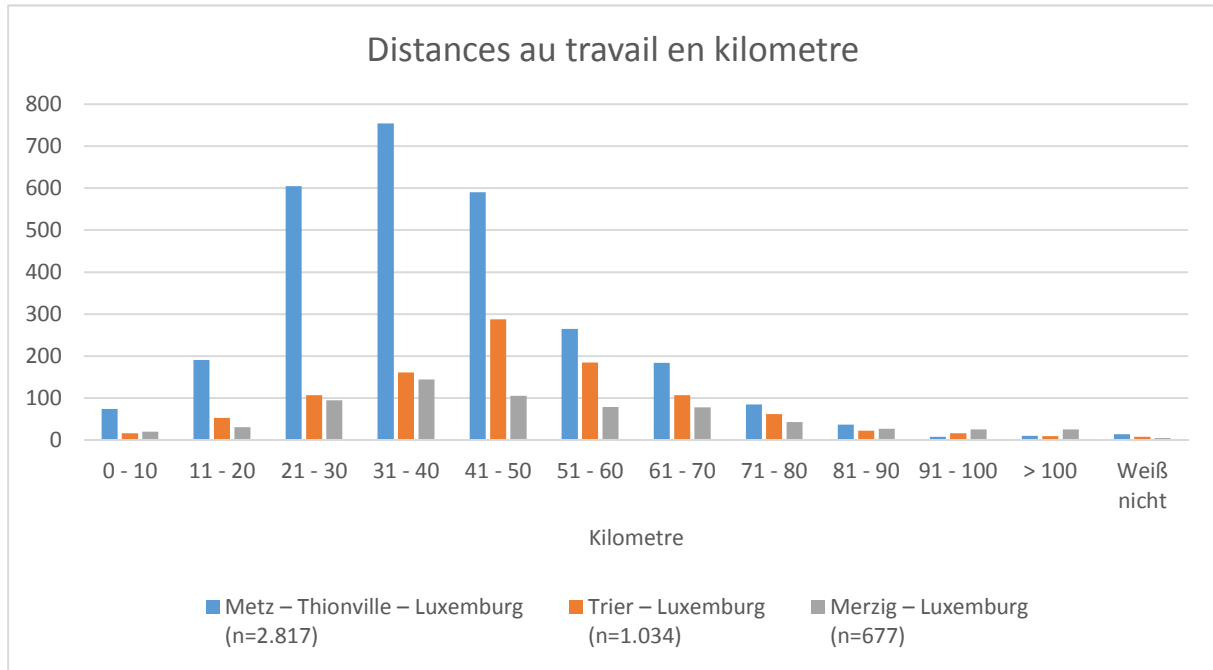


Figure 13 : Distances

En référence aux lieux de résidence des frontaliers figurant en annexe g, les distances séparant le domicile du lieu de travail s'avèrent logiques. En raison de la proximité spatiale de la frontière luxembourgeoise, les distances des frontaliers français sont moins élevées que celles des sondés allemands. Ces derniers résident parfois loin dans le pays, ce qui explique des distances supérieures à 50 km. Nous constatons que la majeure partie (71,5%) des frontaliers interrogés doit parcourir une distance allant jusqu'à 50 km pour atteindre son lieu de travail. Pour ce qui est du concept ELEC'TRA, cela signifie que des bus express ou trains pourraient assumer ces distances en un temps concevable, ce qui accroît à nouveau l'attrait de ces moyens de transport.

Tant la durée des trajets que les distances confirment les données CEPS susmentionnées. Selon les références actuelles, cet élément a de l'importance car les voitures électriques modernes sont en mesure d'effectuer un aller-retour sans nécessiter de rechargement.

Les communes luxembourgeoises dans lesquelles les frontaliers travaillent peuvent très largement être affectées aux corridors considérés. Un axe essentiel commun se compose de la ville de Luxembourg ainsi que des communes en périphérie directe de celle-ci. Pour les frontaliers venant de la région de Trèves, les communes situées le long de l'autoroute vers Luxembourg représentent un pôle spatial en termes d'emploi tandis que l'emploi des frontaliers français se concentre dans tout le Sud-ouest du territoire luxembourgeois. En raison de la quotité élevée de frontaliers atypiques, aucune concentration spatiale précise ne peut être déterminée pour les frontaliers interrogés venant de la Sarre. Leur répartition s'effectue dans tout le Sud du territoire luxembourgeois.

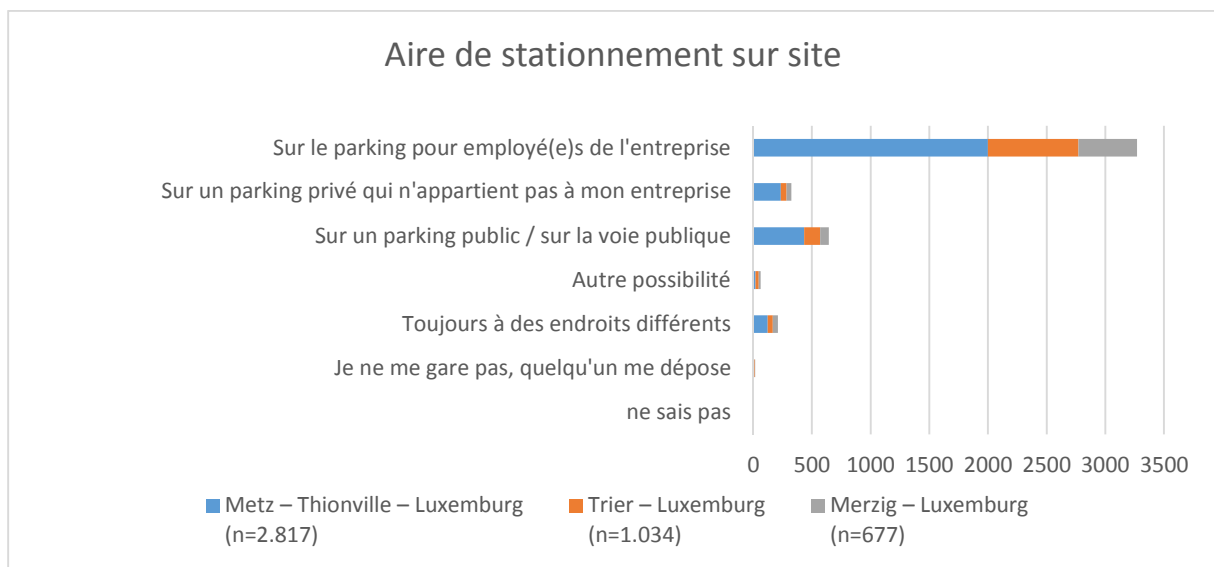


Figure 14: Aire de stationnement sur site

En se basant sur les motifs de la réalisation du projet « ELEC'TRA », la question du stationnement sur le lieu de travail ainsi que des coûts y relatifs fut une donnée importante.

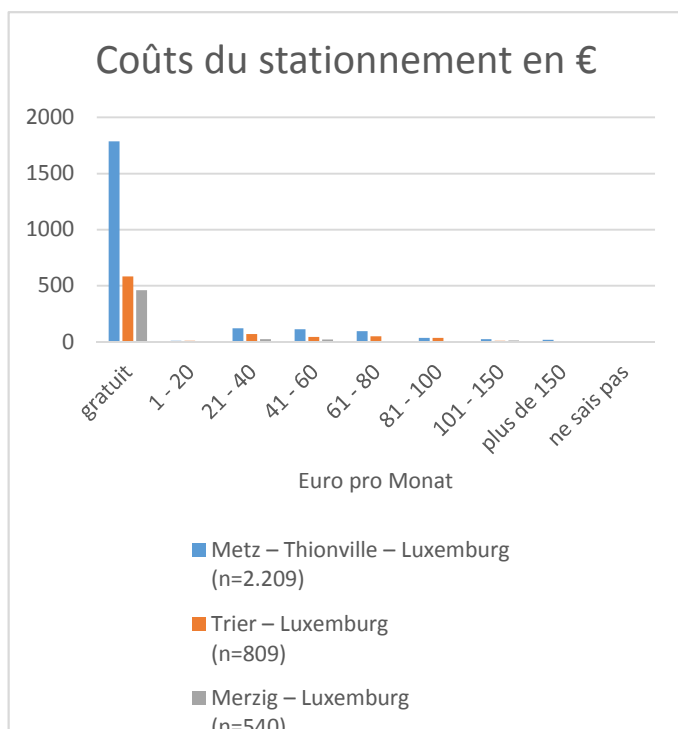


Figure 55: Coûts du stationnement

À ce titre, 72% des frontaliers se déplaçant essentiellement en voiture ont indiqué que leur employeur met un emplacement de stationnement à disposition. 22% doivent stationner leur véhicule en rue ou dans des parkings privés.

Plus de trois quarts (79%) des sondés bénéficient d'un emplacement de stationnement gratuit. Parmi les 21% résiduels qui doivent payer leur stationnement, 60% doivent s'acquitter d'un montant mensuel maximal de 60€.

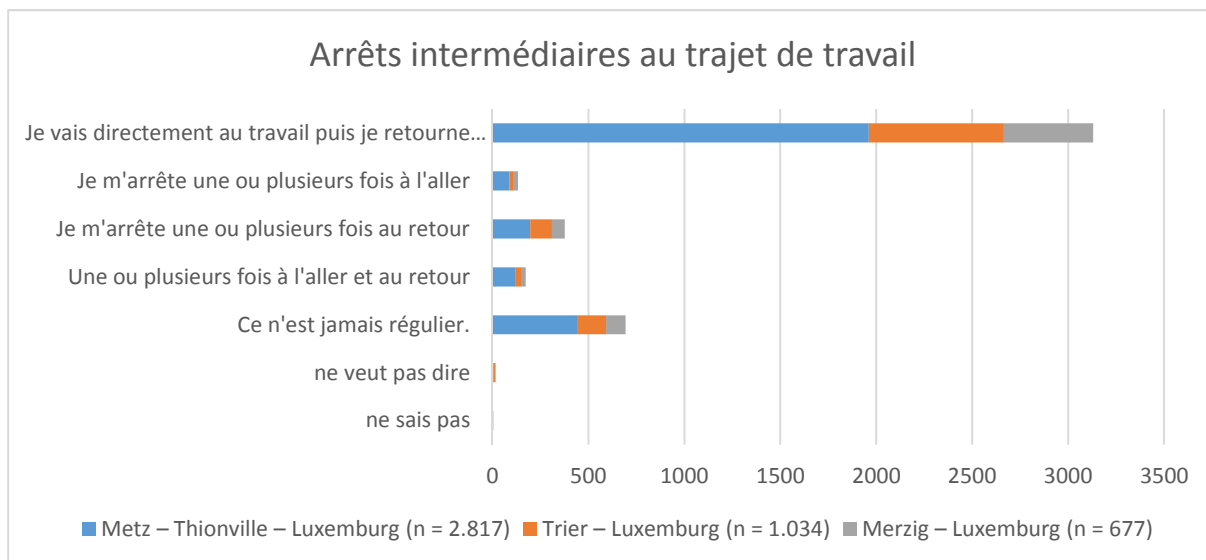


Figure 16: Objectifs intermédiaires

Ces résultats recoupent en partie ceux issus du sondage des entreprises (cf. chapitre 2.3.4.).

Parmi ces dernières, 63% ont indiqué mettre un emplacement de stationnement gratuit à disposition des salariés. Cette prise en charge des coûts de stationnement par les employeurs incite largement les salariés à utiliser leur voiture.

Jusqu'à présent, les éventuelles étapes intermédiaires de frontaliers étaient également inconnues. Les frontaliers furent interrogés afin de connaître le nombre et la raison des étapes intermédiaires qu'ils effectuent au moins une fois par semaine en se rendant au travail ou en en revenant. La question visait les possibles caractéristiques d'équipement des eHubs car la réflexion conceptuelle consistait à les implanter à proximité de centres d'activités industrielles et commerciales ou de les doter de leurs propres petites offres de services.

Le résultat a montré que deux tiers des sondés n'effectuent aucune étape intermédiaire en se rendant au travail ou en en revenant et effectuent dès lors ces déplacements de manière directe. 15% ont indiqué que les étapes intermédiaires varient toujours fortement selon la situation et le déroulement de la journée. Comparativement, les étapes intermédiaires sont nettement plus nombreuses au retour qu'à l'aller. À ce titre, les raisons sont toujours la « dépose et le fait de récupérer des enfants ou adultes ». Le retour vers le domicile est essentiellement l'occasion de faire des courses, raison principale sous-jacente à une ou plusieurs étapes intermédiaires. Ce motif ne fut toutefois pas exploré de manière plus précise, raison pour laquelle nous ignorons si ces courses concernent l'achat de denrées alimentaires ou d'autres marchandises.

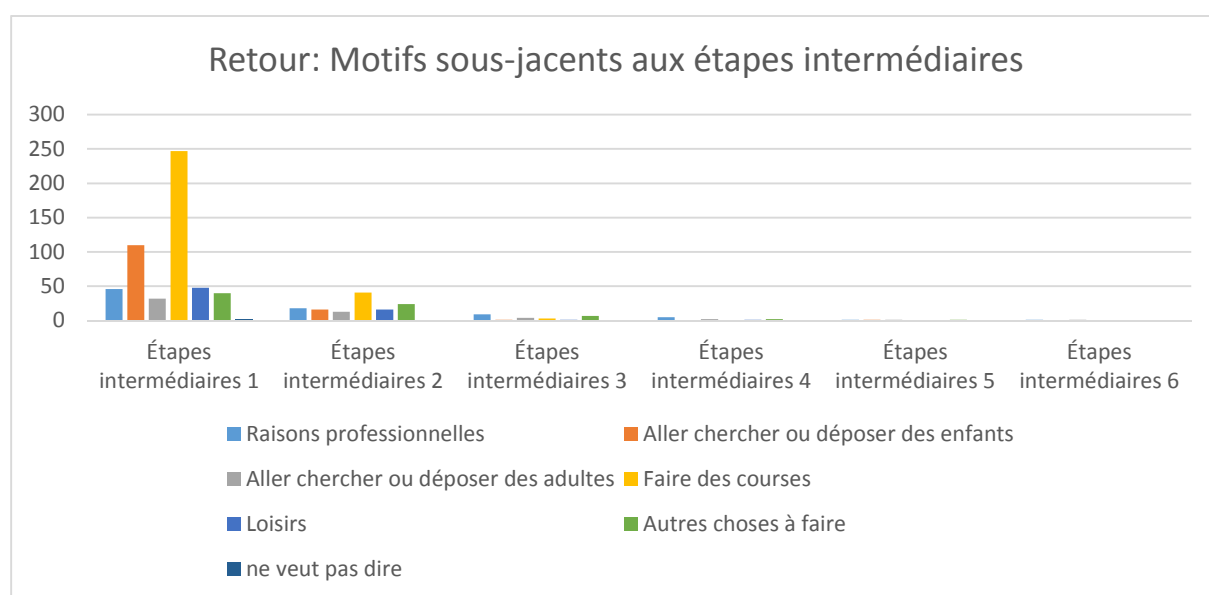


Figure 67: Motifs sous-jacents aux étapes intermédiaires

Jusqu'à présent, les raisons sous-jacentes au fait de faire la navette étaient intégralement inconnues et pouvaient uniquement être déduites de données secondaires. Le sondage ELEC'TRA a posé cette interrogation pour la première fois. Afin de répondre à cette question, les frontaliers étaient libres de donner des réponses multiples. Globalement, les raisons sont très diverses. En premier lieu, nous avons les meilleures perspectives salariales au Luxembourg. Deuxièmement et comme le révèle déjà partiellement l'analyse de la littérature secondaire¹⁷, vient le

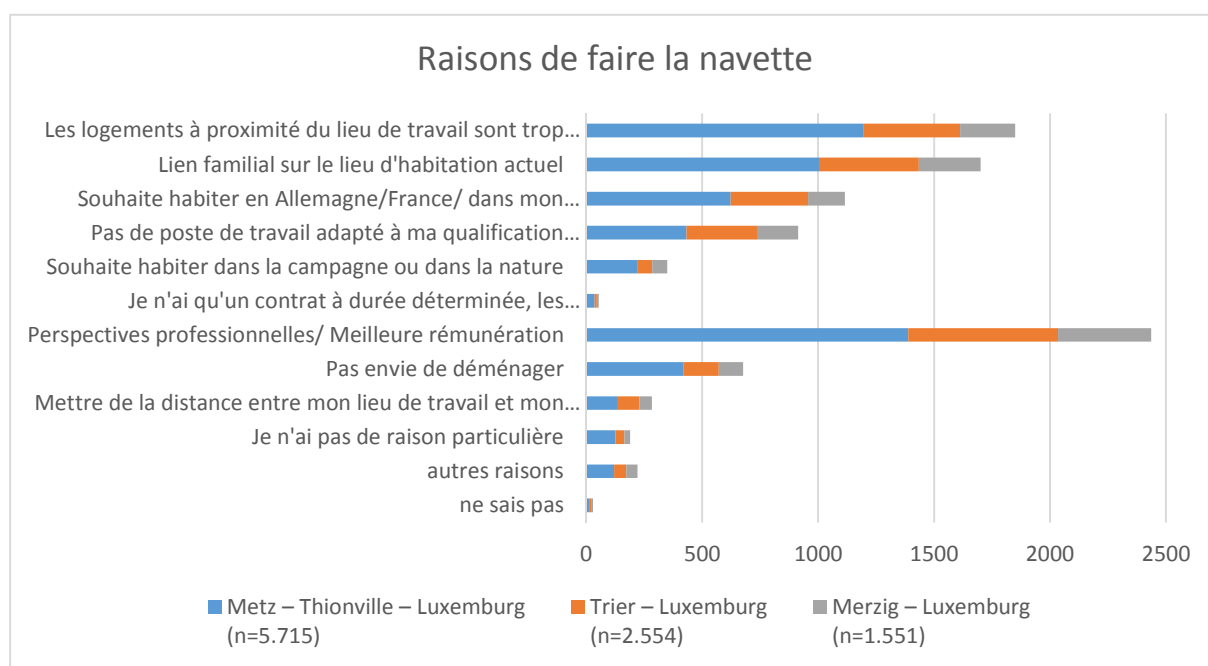


Figure 18: Raisons de faire la navette

prix élevé du logement au Luxembourg en raison duquel certains ressortissants luxembourgeois déménagent vers les communes françaises et allemandes limitrophes (frontaliers atypiques). Cet élément est également un motif d'augmentation des prix à la location et des terrains dans ces communes. Les liens familiaux du lieu de résidence existant furent tout aussi fréquemment mentionnés, suivis par le souhait de vivre dans son pays et, dès lors, d'assumer le fait de faire la navette.

¹⁷ Cf. CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg beschäftigten Grenzgänger : Dynamik und Perspektiven - In : Schmitz et al : Les Cahiers du CEPS/INSTEAD. Géographie und Entwicklung, Luxemburg . p. 12s

De plus, les frontaliers furent interrogés quant à la charge personnelle qu'ils ressentent en faisant la navette. Dans ce cadre, la charge pouvait être évaluée selon une échelle allant de un (= charge absolument nulle) à dix (= charge extrême). Comme le montre le graphique figurant supra, de fortes différences existent entre les frontaliers venant de France et d'Allemagne : plus de la moitié des sondés utilisant le corridor Metz-Luxembourg ressentent le fait de faire la navette au minimum comme étant une charge ou plus (valeur limite de 42%). Pour les deux autres corridors, ces valeurs sont de 62% pour l'axe Trèves-Luxembourg et de 65% pour l'axe relié à la Sarre. En revanche, les différences sont peu marquées entre les corridors reliés à l'Allemagne. Si nous comparons cela aux résultats du « Modal Split » des différents corridors, nous constatons que malgré un pourcentage plus important de transports publics sur l'axe Metz-Luxembourg, le fait de faire la navette y est ressenti comme

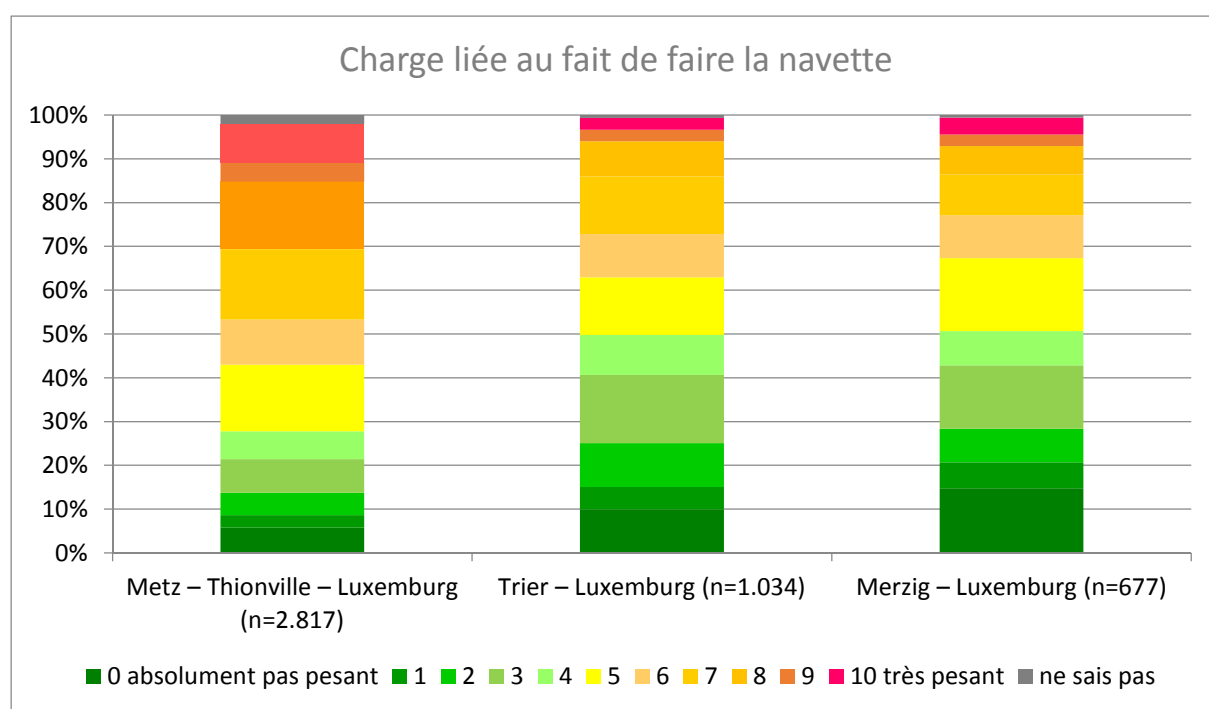


Figure 19: Charge liée au fait de faire la navette

étant davantage pesant. De même, les distances moyennes entre le lieu de résidence et de travail sont les plus faibles sur cet axe. Les raisons sous-jacentes à cette évaluation très subjective des frontaliers n'ont pas été étudiées.

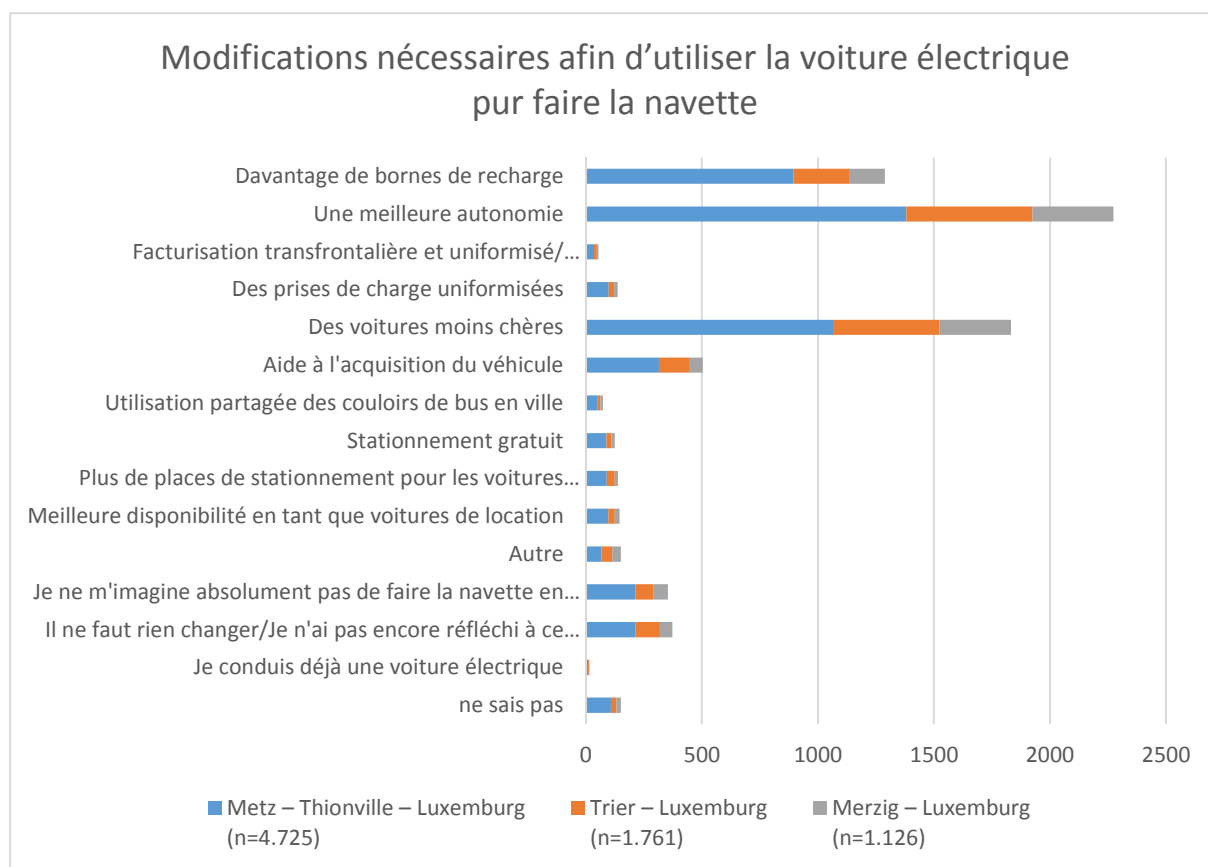


Figure 20 : Modifications nécessaires afin d'utiliser la voiture électrique

En adéquation avec le concept ELEC'TRA, les frontaliers furent interrogés quant à leur position au sujet de la mobilité électrique. À ce titre, les questions ciblées portèrent sur les éléments à modifier afin que les voitures électriques puissent remplacer les automobiles traditionnelles en qualité de moyen de transport équivalent. À ce titre, les sondés eurent la possibilité de mentionner au maximum deux aspects. Les résultats mettent clairement en exergue trois éléments : une meilleure autonomie, des prix des véhicules moins élevés et davantage de points de rechargement. À ce titre, nous ignorons malheureusement si cette image jouit d'un soutien médiatique auprès des frontaliers ou si des connaissances approfondies existent à ce sujet. Comme l'évaluation des distances l'avait déjà révélé, il est possible de couvrir actuellement au moyen de véhicules électriques les distances que les frontaliers parcourent quotidiennement. De plus, les frontaliers souhaitent un soutien financier lors de l'achat de véhicules électriques, à l'image de la « prime environnementale » ayant existé durant une brève période en Allemagne durant l'année 2009. Globalement, toutes ces raisons correspondraient à la satisfaction personnelle des frontaliers. Les éléments concernant l'infrastructure de manière

générale comme des prises de chargement uniformes et un système de décompte uniformisé furent moins évoqués.

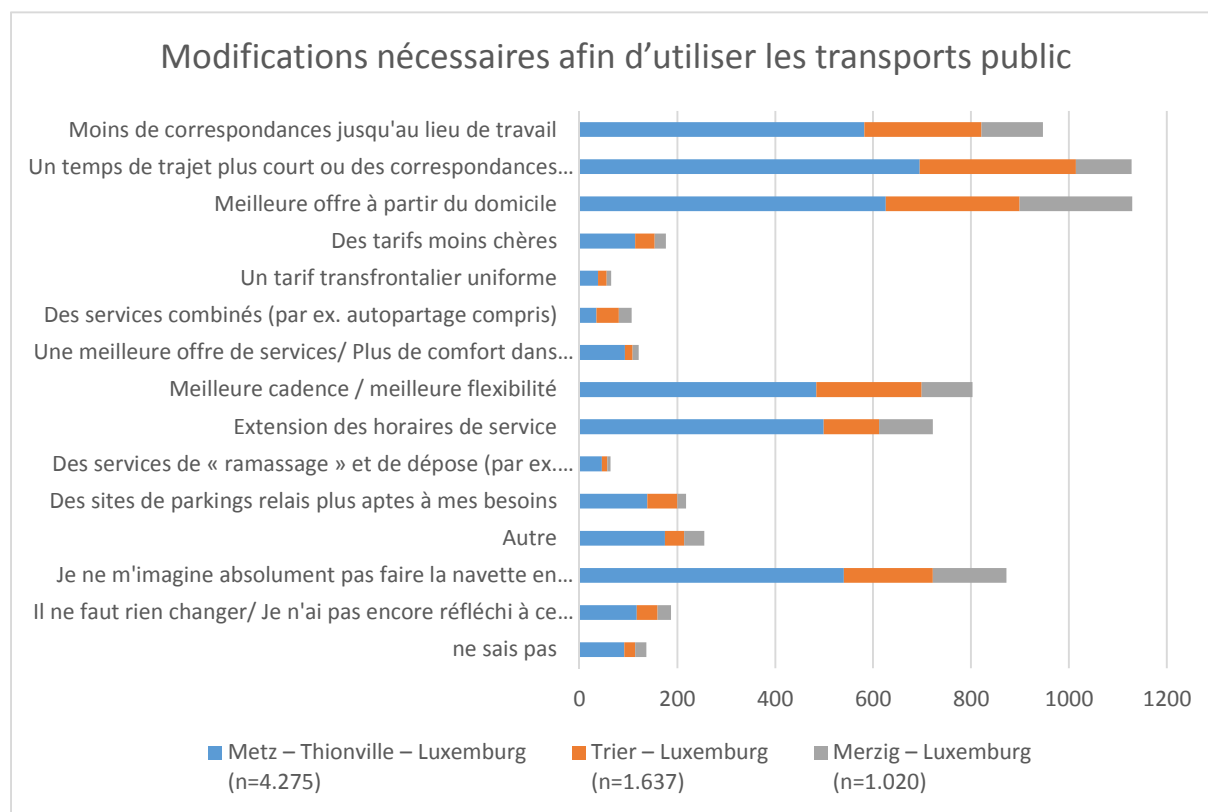


Figure 21: Modifications nécessaires afin d'utiliser les transports en commun

L'idée fondamentale liée au concept du projet est de renforcer les transports publics. Dès lors, les frontaliers qui utilisent la voiture furent interrogés en vue de savoir quelles modifications devraient s'opérer afin qu'ils passent aux transports publics. Un maximum de deux aspects pouvait être mentionné à ce titre également. Les résultats correspondent en partie aux motifs sous-jacents à l'utilisation de la voiture et sont en partie inattendus. L'offre de transport au départ du lieu de résidence ainsi que la durée moins importante furent le plus souvent citées. De même, l'amélioration de la flexibilité / le meilleur cadencement des transports publics semble compréhensible compte tenu des résultats susmentionnés. Un élément surprenant fut le souhait de correspondances moins nombreuses pour rejoindre le lieu de travail. Il convient à ce titre de noter que le Luxembourg a déjà pris, en coopération avec ses départements et Länder limitrophes, des mesures qui seront réalisées dans les années à venir et répondent précisément à ce souhait (p.ex. le développement et la réactivation du « tracé Ouest de Trèves », le nouveau point d'arrêt « Pont Rouge » à Luxembourg). Un autre élément fréquemment mis en exergue et à améliorer fut l'offre de transports publics insuffisante très tôt le matin et très tard le soir. Un autre point étonnant

fréquemment avancé est celui selon lequel il est inimaginable d'utiliser les transports publics pour faire la navette. Les raisons sous-jacentes à cela ne furent pas demandées. À l'opposé de l'impression sociale générale, les prix des trajets, le confort et le tarif transfrontalier furent bien moins pertinents. C'est précisément ce tarif transfrontalier qui fait pour l'instant défaut dans la Grande Région afin de faciliter les déplacements transfrontaliers.

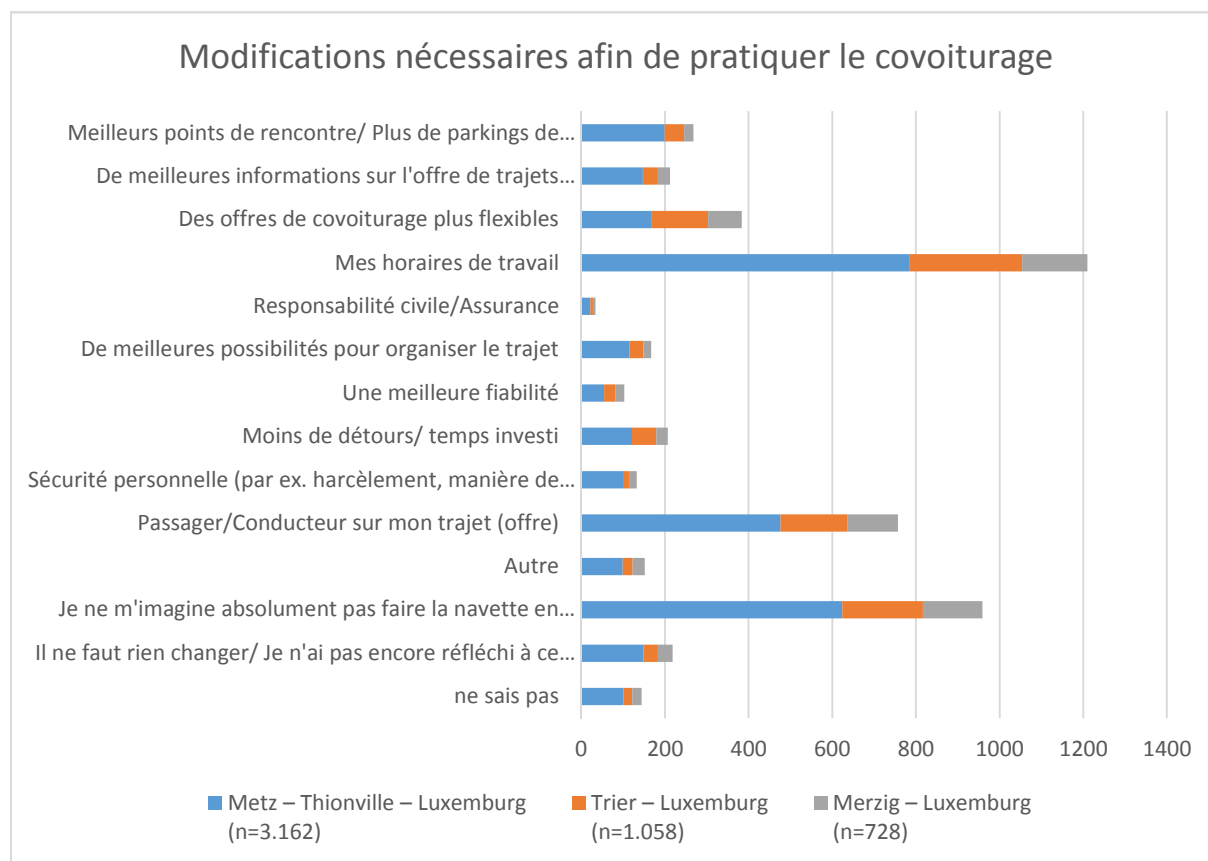


Figure 22 : Modifications nécessaires afin de pratiquer le covoiturage

De même, une autre question porta sur les éléments à modifier en vue de pratiquer le covoiturage, avec une nouvelle fois un maximum de deux éléments par frontalier. La réponse la plus souvent donnée fut « mes horaires ». Afin de procéder à une analyse plus détaillée, il conviendrait d'examiner si les frontaliers se sont déjà penchés sur le sujet du covoiturage (seuls les navetteurs qui ne pratiquent pas le covoiturage ont été interrogés à ce sujet) et savent dès lors si des personnes intéressées par le covoiturage existent par exemple au sein de leur entreprise ou si les aires de covoiturage sont connues. De manière quelque peu surprenante, la deuxième réponse la plus souvent formulée est celle selon laquelle « il est inimaginable de faire la navette en ayant recours au covoiturage ». Cela peut se justifier par l'absence de connaissance quant à la possibilité de recourir au covoiturage ou par le fait que les frontaliers ne sont pas désireux de faire le trajet

avec d'autres frontaliers. La troisième réponse la plus fréquente sur celle de « conducteurs ou passagers le long de son propre trajet ». Les autres possibilités de réponse portant sur des points personnels directs comme la sécurité, la fiabilité ou la responsabilité furent rarement choisies.

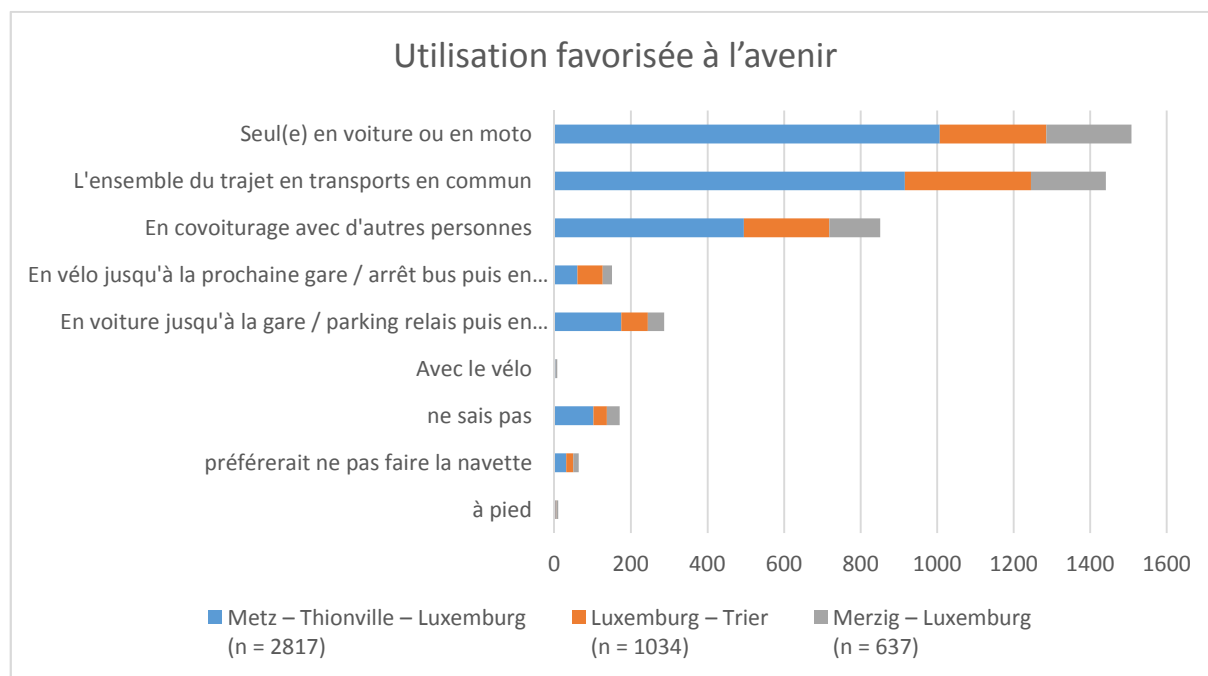


Figure 23 : Utilisation favorisée à l'avenir

À la question de savoir quel serait leur moyen de transport préféré (une seule réponse possible) à l'avenir si l'ensemble des inconvénients mentionnés ci-dessus étaient supprimés si leurs souhaits étaient mis en œuvre, la majorité des frontaliers ayant participé au sondage (1 500 sondés) et utilisant actuellement la voiture indique qu'ils continueront à se déplacer de la même manière. Un nombre légèrement moins important mais cependant considérable (1 450 sondés) passerait intégralement aux transports publics. 840 frontaliers auraient volontiers recours au covoiturage pour se rendre au travail, ce qui correspond à un accroissement de plus de 50% des sondés. Il s'en dégage dès lors un potentiel de transfert significatif en faveur de l'alliance naturelle entre tous les modes de transport écologiques parmi les frontaliers interrogés.

Les frontaliers ayant indiqué que la voiture ou le covoiturage est leur moyen de transport futur préféré furent en outre interrogés afin de savoir s'il est imaginable qu'il s'agisse d'une voiture électrique. Cette question a reçu les pourcentages de réponses positives suivants :

- Corridor Metz-Luxembourg 75,3%

- Corridor Trèves-Luxembourg : 84,7%
- Corridor Merzig-Luxembourg : 75,6%.

D'autres données collectées furent nécessaires pour l'action 3 et ne sont pas exposées plus en détails ici par manque de pertinence.

Conclusion partielle pour les frontaliers des corridors 1-3

Plus de la moitié des frontaliers, voire même bien plus en fonction du corridor, se rendent essentiellement au travail en voiture. Ce comportement est non seulement favorisé par le fait que leur employeur mette un emplacement de stationnement gratuit à leur disposition mais également par le prix des carburants comparativement plus avantageux au Luxembourg. Le « confort » et la « flexibilité » sont deux raisons supplémentaires mentionnées qui servent plutôt la satisfaction personnelle. À ce titre, la distance entre le lieu de résidence et de travail est inférieure à 50 km pour deux tiers des sondés. Sur une telle distance, les transports publics sont légèrement plus lents que le TIM. Le désaccord entre les horaires de travail et l'offre des transports publics réfrène souvent les frontaliers à les utiliser. Tels sont les aspects à changer dans le futur afin que les frontaliers utilisent plus largement les transports publics ou le covoiturage. Dans le futur, la voiture jouera encore un rôle important auprès des frontaliers. Il pourra également s'agir d'un véhicule électrique. Un potentiel significatif d'utilisation plus intense du covoiturage existe, à condition que les conditions cadres soient remplies.

2.3.3. Résultats Axe 4

2.3.3.1. Exploitation des données de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE)

L'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), comparable à l'Office fédéral de la statistique en Allemagne, collecte régulièrement tous les cinq ans des données socio-économiques au moyen d'une grande enquête très détaillée, effectuée à l'échelle de la France entière. Ces données peuvent être interprétées comme un échantillon représentatif. Dans le cadre de cette enquête des aspects relatifs à la mobilité de navetteurs frontaliers sont collectés. Ceci rend les données particulièrement intéressantes dans le contexte du projet ELEC'TRA. Les données brutes¹⁸ peuvent être consultées sur le site web de l'INSEE.

¹⁸

Internet: http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=fd-rp2010&page=fichiers_detail/rp2010/telechargement.htm#RP2010_MOBPRO ; juin 2014

Grâce à l'exploitation des données brutes il a été possible d'exploiter des aspects intéressants concernant l'Axe 4.

Dans l'enquête de 2010, un total de 26 824 navetteurs (ayant leur domicile en Lorraine et leur lieu de travail à l'étranger) a été recensé. Ceci correspond à env. 22 % de la totalité des navetteurs ayant leur domicile en France et leur lieu de travail à l'étranger (nombre total: 121 928).

Si l'on considère la répartition des navetteurs frontaliers sortants de Lorraine, on constate que la plupart font la navette vers le Luxembourg, suivi par l'Allemagne et la Belgique.

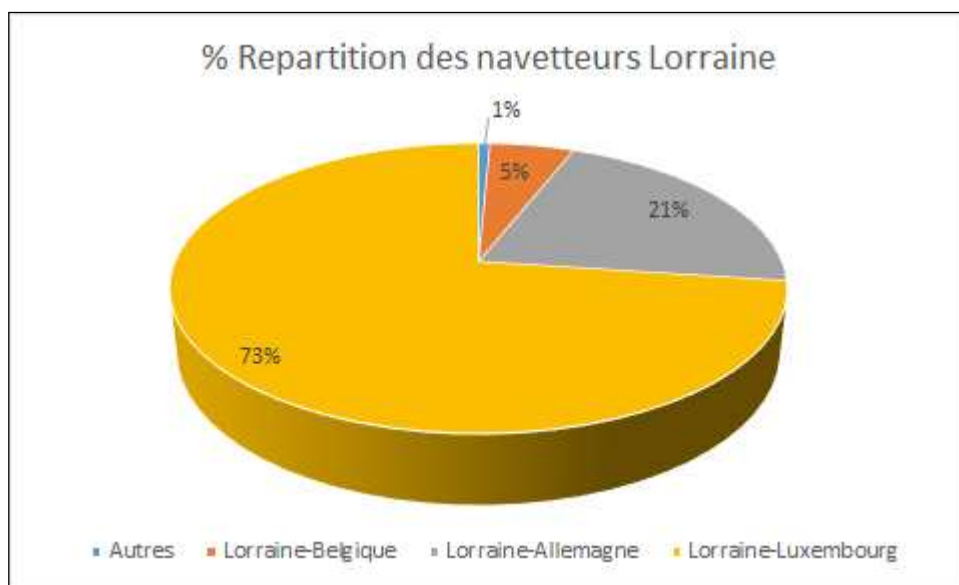


Figure 24: Répartition en pourcentage des navetteurs frontaliers sortants de Lorraine (domicile en Lorraine et lieu de travail à l'étranger)¹⁹

Environ 10 % de tous les navetteurs frontaliers ont un domicile en Lorraine et un lieu de travail à Sarrebruck. Ceci montre que l'Axe 4 constitue une partie significative du volume du trafic des navetteurs frontaliers. Le tableau et le graphique ci-après représentent les lieux de vie en Lorraine avec le plus grand nombre de navetteurs entrants à Sarrebruck pour s'y rendre à leur lieu de travail.

¹⁹ Source : IZES (exploitation INSEE)

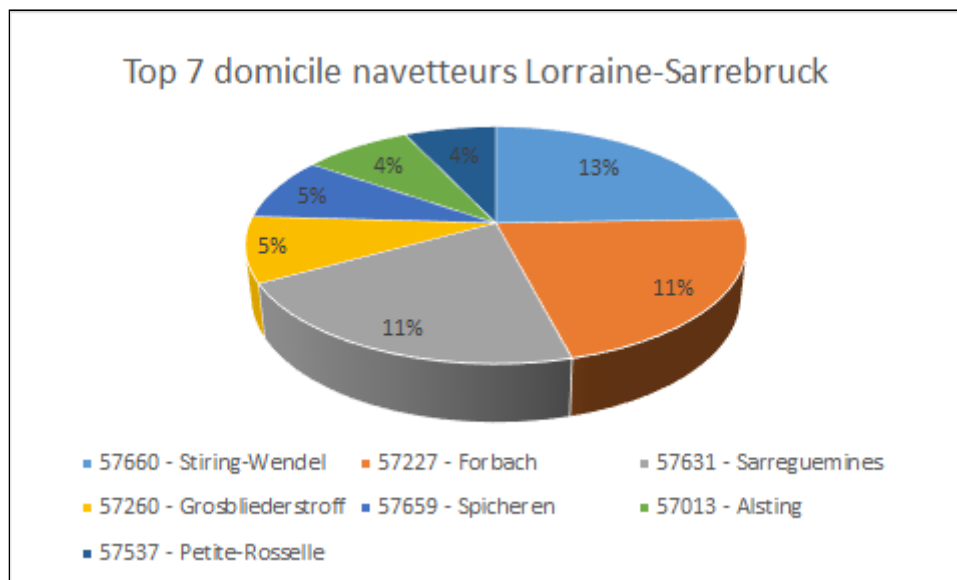


Figure 25: Le top 7 des lieux de vie des navetteurs ayant leur domicile en Lorraine et leur lieu de travail à Sarrebruck²⁰

En fait, 13 % des navetteurs frontaliers travaillant à Sarrebruck ont leur domicile à Stiring-Wendel, 11 % à Forbach et 11 % à Sarreguemines. Le tableau ci-après montre les 12 communes le plus fréquemment habitées par des navetteurs, correspondant à 64 % de tous les navetteurs frontaliers sur l'axe Lorraine-Sarrebruck.

Tableau 5: Top 12 des communes des navetteurs avec domicile en Lorraine et lieu de travail à Sarrebruck²¹

Commune	%	Ø Km (domicile-travail)
57660 - Stiring-Wendel	13%	7,8
57227 - Forbach	11%	13,5
57631 - Sarreguemines	11%	20,4
57260 - Grosbliederstroff	5%	11,7
57659 - Spicheren	5%	8,7
57013 - Alsting	4%	12,1
57537 - Petite-Rosselle	4%	17,8
57638 - Schœneck	3%	8,2
57240 - Freyming-Merlebach	3%	20,7
57521 - Œting	2%	12
57484 - Morsbach	2%	15,6
57058 - Behren-lès-Forbach	2%	15,4
Total du top 12	64%	13,7

²⁰ Source : IZES (exploitation INSEE)

²¹ Source : IZES (exploitation INSEE)

En particulier les trois premières communes sont importantes. Elles font partie de l'Axe 4 et présentent la plus forte densité de navetteurs frontaliers. Les communes suivantes se trouvent à proximité immédiate, c.-à-d. que la plupart des navetteurs circulent sur un axe de trafic similaire ou identique.

La carte suivante vise à souligner cet aspect.

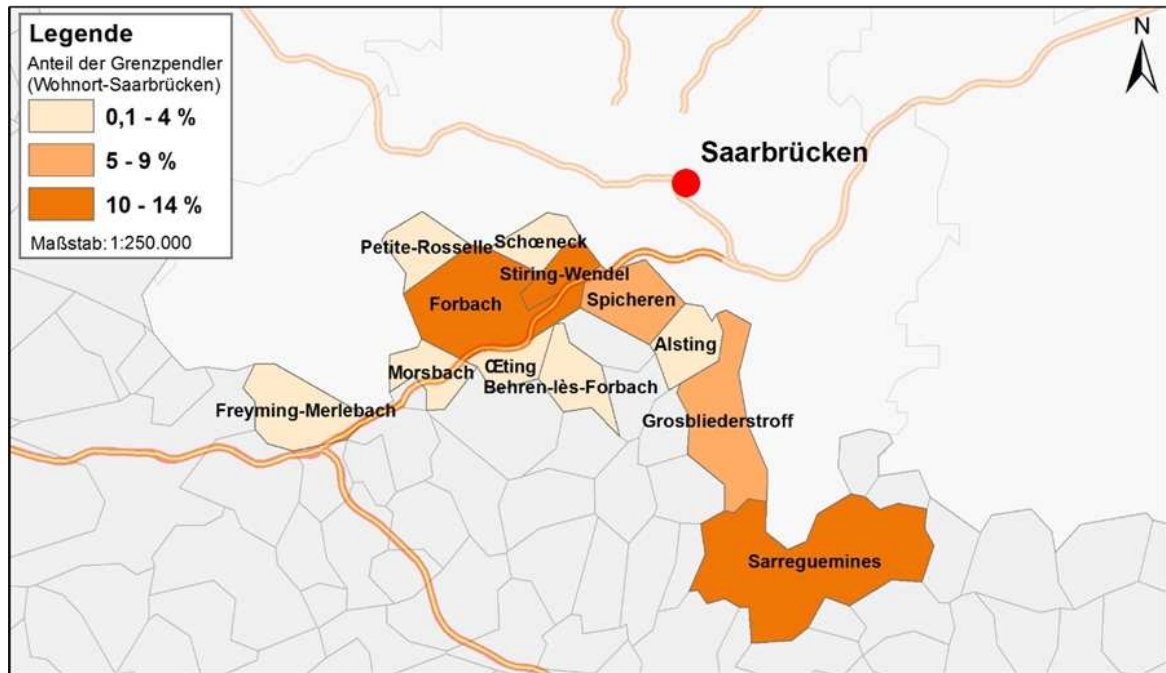


Figure 26 : Carte avec les communes des navetteurs avec domicile en Lorraine et lieu de travail à Sarrebruck²²

Un aspect important dans le contexte du projet est constitué par les modes de transport utilisés par les navetteurs frontaliers. Les graphiques ci-après illustrent de manière impressionnante à quel point le rôle des transports publics et du vélo est secondaire. Le mode de transport dominant est l'automobile.

²² Source : imove / IZES (exploitation INSEE)

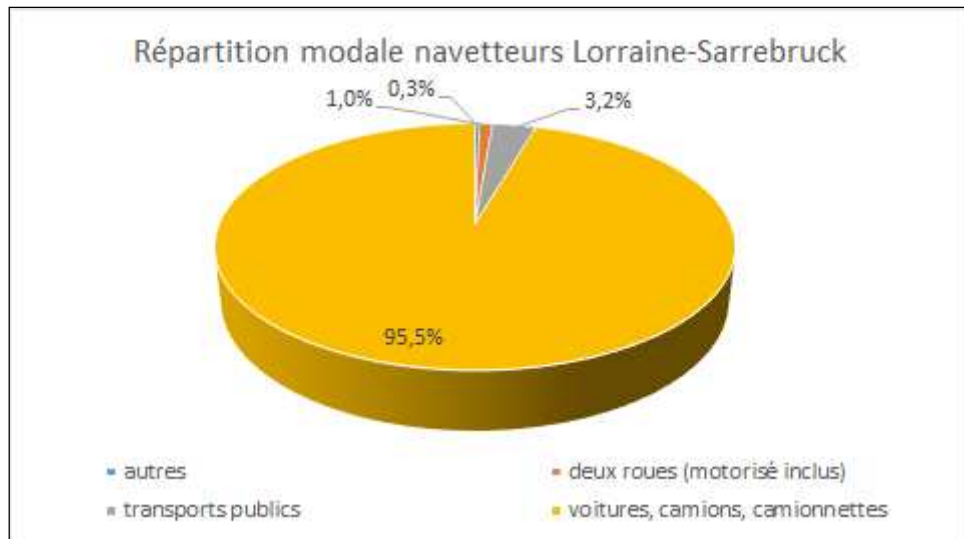


Figure 27 : Répartition modale des navetteurs avec domicile en Lorraine et lieu de travail à Sarrebruck²³

Dans les deux graphiques ci-après, une distinction a été faite dans la répartition modale entre les navetteurs sortants de Forbach et les navetteurs sortants de Sarreguemines.

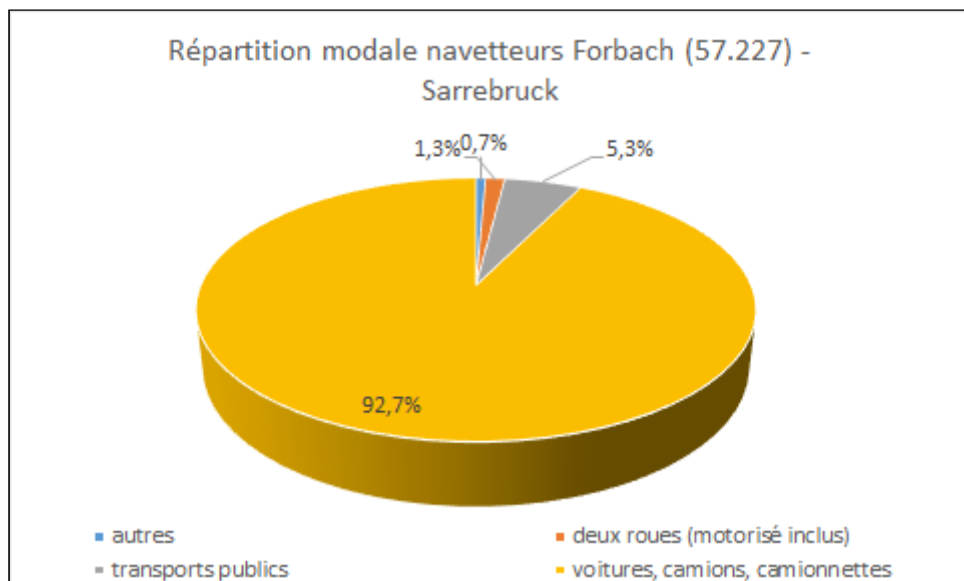


Figure 28 : Répartition modale des navetteurs avec domicile à Forbach (57227) et lieu de travail à Sarrebruck²⁴

²³ Source : IZES (exploitation INSEE)

²⁴ Source : IZES (exploitation INSEE)

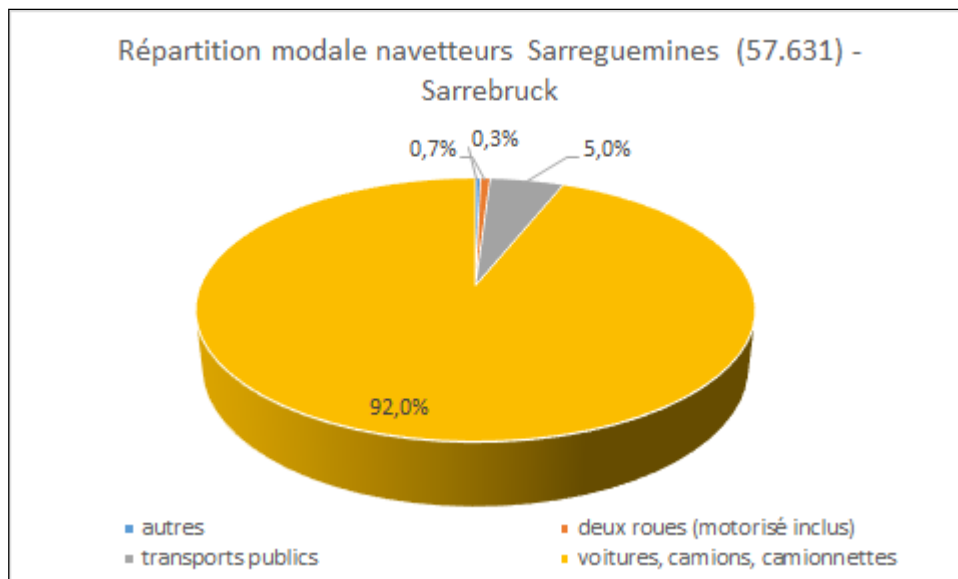


Figure 29: Répartition modale des navetteurs avec domicile à Sarreguemines (57631) et lieu de travail à Sarrebruck (IZES)

Les deux communes ont des caractéristiques similaires. De manière positive, on peut constater que le pourcentage des transports publics est légèrement au-dessus de la moyenne (env. 5 % au lieu de 3,2 %), mais l'automobile domine nettement avec 92 %. Pour la commune de Sarreguemines, ceci constitue pour le moment un résultat étonnant, car elle est reliée à la Saarbahn. Entre autre l'accès à la Saarbahn de direction ouest (p. ex. de Grosbliederstroff) pose un problème pour les transfrontaliers, la Sarre constitue comme un obstacle naturel. Si l'on compare la répartition modale avec l'Axe 1 (Metz-Thionville-Luxembourg), le pourcentage des transports publics y est nettement plus élevé (24 %).

La question essentielle est de savoir pourquoi le pourcentage des automobiles est particulièrement élevé sur l'axe 4 en comparaison par rapport aux axes 1 à 3.

Ce qui est déterminant pour l'utilisation de l'automobile sur l'Axe 4 est la proximité immédiate du lieu de travail. Sarreguemines est à 20 km de Sarrebruck, Forbach à environ 13 km, Stiring-Wendel à environ 8 km. En moyenne, les navetteurs frontaliers du top 12 des communes en Lorraine doivent parcourir 13,7 km. Par ailleurs, la situation en termes de places de parking chez les employeurs à Sarrebruck ne semble pas critique (voir résultats infas page 13).

Une utilisation des transports publics sous-entend qu'ils doivent être accessibles à proximité du domicile et qu'il y ait une bonne liaison (directe) jusqu'au lieu de travail. Ceci ne va pas de soi et ne peut pas non plus être garanti. Généralement, les pôles secondaires et majeurs sont reliés entre eux de manière centralisée. Cela signifie

que le lieu de travail, dans la mesure où il ne se trouve pas au centre du pôle majeur, pourra uniquement être atteint moyennant des correspondances en périphérie. Ceci se fait au détriment du confort et de la durée, surtout en cas de distances courtes pour se rendre au travail.

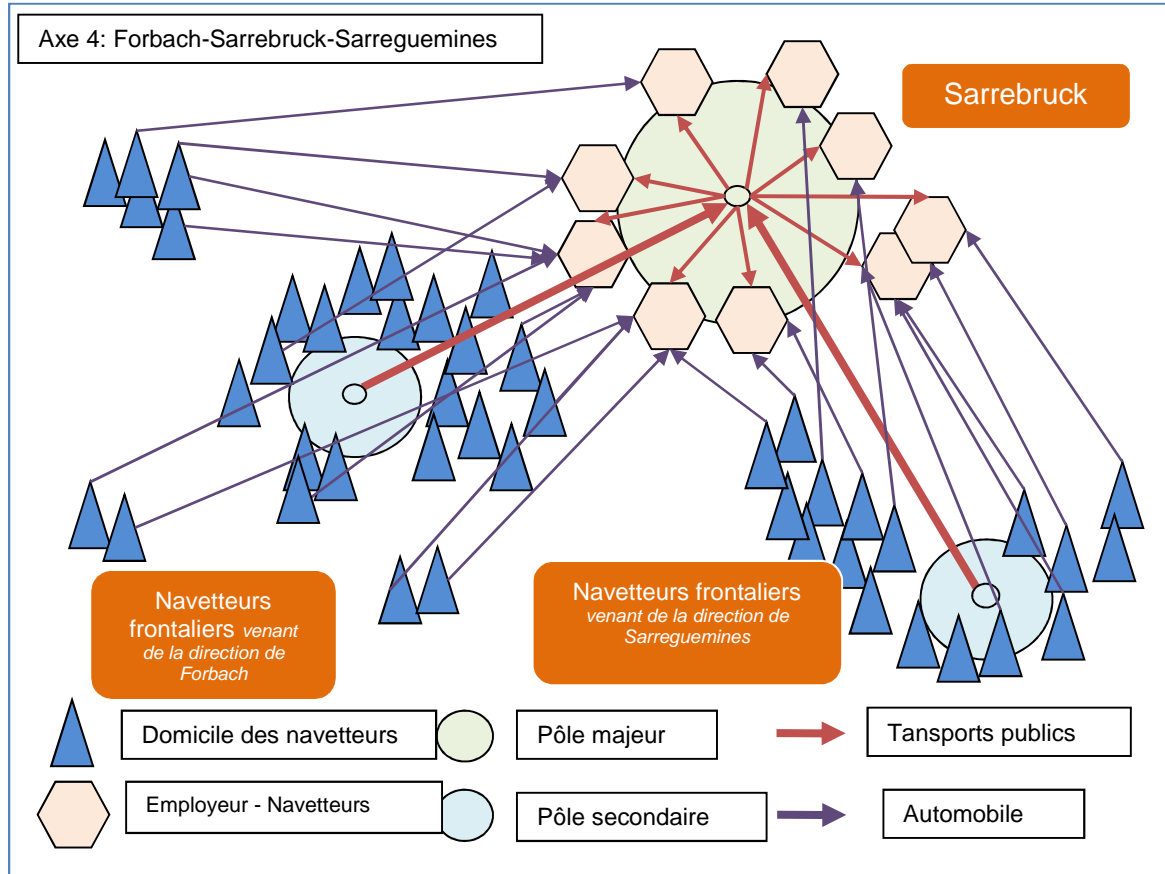


Figure 30 : Exemple²⁵ pour trajets courts domicile/lieu de travail des navetteurs avec transports publics/automobile

Si le trajet pour se rendre au travail est toutefois caractérisé par des parcours longs, l'attractivité est alors inversée et les transports publics obtiennent de bons résultats. Ceci se reflète aussi en partie sur l'Axe 1 (Metz-Thionville-Luxembourg). Le trajet à partir de Metz est d'environ 68 km, et de Thionville, il reste tout de même encore 41 km jusqu'à Luxembourg. La bonne fréquence des trains sur la ligne Metz-Thionville-Luxembourg, une bonne offre en matière de transports publics et la situation tendue en termes de places de parking, reflètent le bon pourcentage des transports publics d'environ 24 %.

Ceci montre que la distance ainsi que la situation du trafic vers et à Luxembourg diminuent l'attractivité de l'automobile.

²⁵ Remarque: La représentation a seulement valeur d'exemple. En fait, on peut partir du principe que les flux automobiles sont encore bien plus prononcés et chaotiques.

Résultat intermédiaire :

Les situations et les conditions cadres des axes étudiés sont différentes. L'axe 4 (Forbach-Sarrebruck-Sarreguemines) est caractérisé par des trajets courts d'une longueur moyenne de 13,7 km entre les lieux de résidence des navetteurs et Sarrebruck. Plus de 95 % des navetteurs frontaliers résidant en France et travaillant en Allemagne utilisent leur voiture privée comme mode de transport. Seulement 5 % utilisent les transports publics. Les arguments sont évidents : le confort, la flexibilité et, surtout, la rapidité grâce à une bonne infrastructure routière, constituent des avantages évidents de la voiture par rapport aux transports publics.

A cet égard, il faut évidemment souligner que l'utilisation d'automobiles classiques engendre assurément des avantages d'ordre privé, mais plutôt négatifs pour la communauté :

→ Problèmes de trafic avec bouchons, accidents et problèmes de parking au centre de la ville de Sarrebruck

→ Dépendance et consommation de types d'énergie conventionnels

→ Emissions (CO₂, hydrocarbures, oxydes d'azote, masses de particules, bruit)

Si l'on veut modifier les habitudes de mobilité, il faut développer des nouveaux concepts attrayants. L'électromobilité peut constituer à cet égard un élément de soutien.

Pour l'axe 4, deux défis peuvent être formulés :

→ Comment augmenter le taux d'utilisation des transports publics ?

→ Comment rendre le transport individuel plus durable ?

A l'aide des données de l'INSEE, des exploitations supplémentaires ont été possibles :

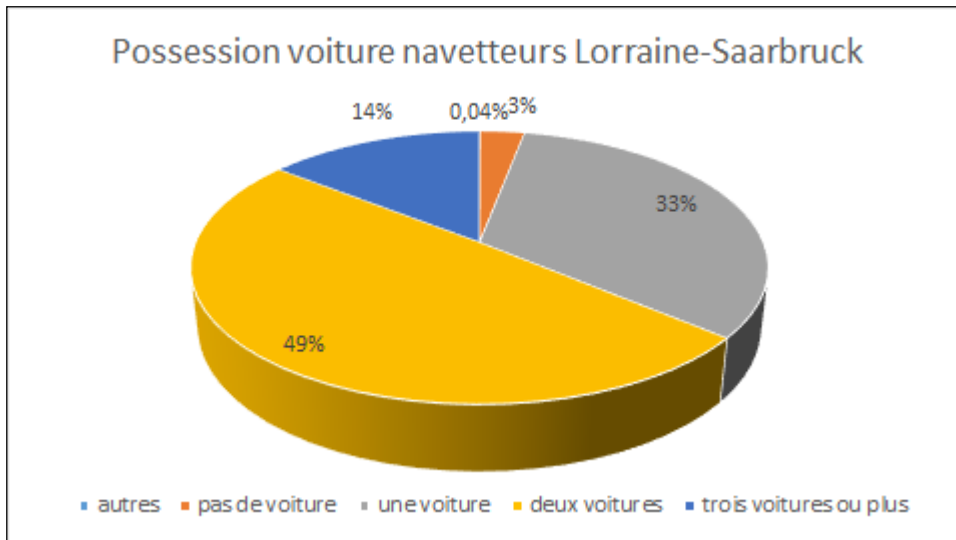


Figure 31 : Possession voiture navetteurs Lorraine-Sarrebruck²⁶

En raison du pourcentage élevé de voitures, le graphique ci-dessus montre de manière explicite que 96 % des membres d'un ménage possèdent au moins une à trois voitures !

Le graphique suivant montre les secteurs d'emploi des navetteurs frontaliers. Les activités dominantes sont le commerce, le transport, les services et l'industrie manufacturière.

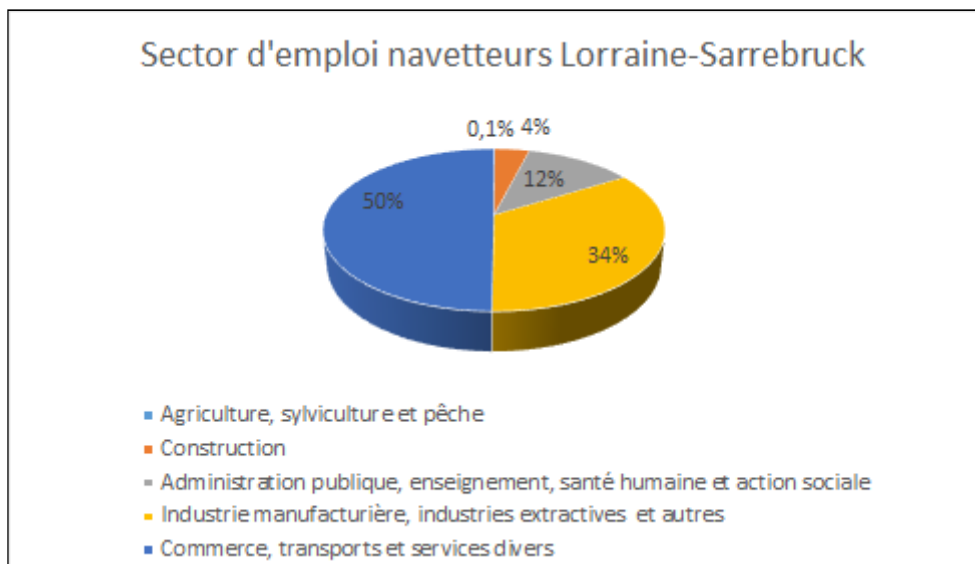


Figure 32 : Secteurs d'emploi des navetteurs frontaliers de Lorraine (domicile en Lorraine et lieu de travail à l'étranger)²⁷

²⁶ Source : IZES (exploitation INSEE)

²⁷ Source : IZES (exploitation INSEE)

En ce qui concerne les conditions de logement, 66,1 % des navetteurs frontaliers vivent dans leur lieu de résidence dans une maison, 33,6 % dans un appartement.

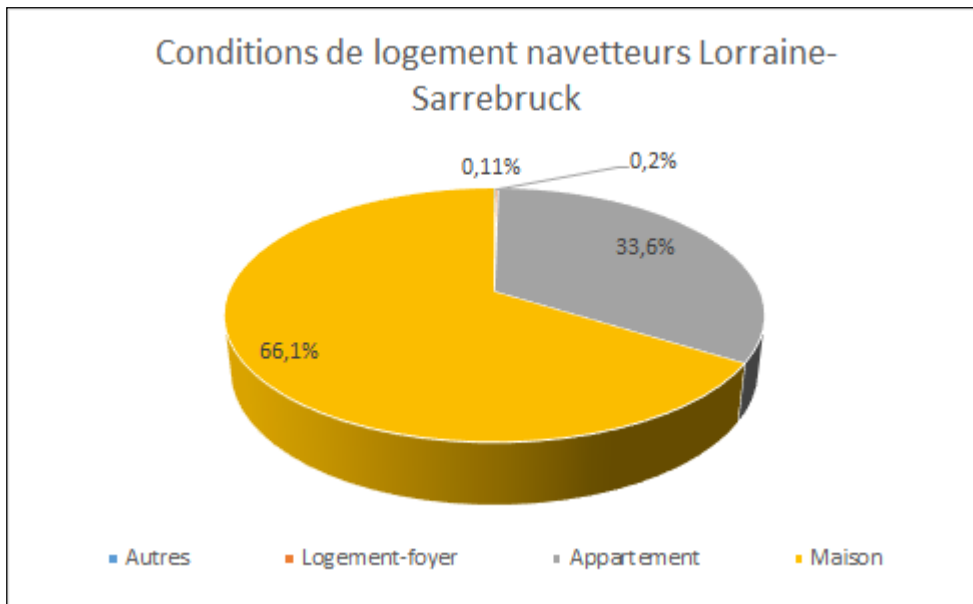


Figure 33 : Conditions de logement navetteurs Lorraine-Sarrebruck²⁸

On peut partir du principe que la plupart des habitants vivant dans une maison disposent de leur propre emplacement pour leur(s) automobile(s). Ceci signifie que la plupart des navetteurs pourraient également installer un dispositif de chargement pour l'utilisation d'un véhicule électrique pour se rendre au travail. Les autonomies de véhicules électriques courants devraient s'avérer suffisantes pour cette distance (aller et retour de 27 km en moyenne).

D'autres aspects relatifs à l'exploitation des données de l'INSEE, également pour les autres axes d'analyse, ainsi que les conclusions correspondantes, peuvent être consultés dans la thèse de Bachelor mentionnée ci-dessus.

²⁸ Source : IZES (exploitation INSEE)

Résultats et mesures :

A l'aide des données de l'INSEE, il a été possible de dégager des résultats importants pour l'Axe 4.

1. L'un de résultats est que la substitution de véhicules conventionnels par des véhicules électriques est parfaitement possible en cas de conditions cadres correspondantes²⁹. Cela permettrait de résoudre des problèmes d'émission³⁰, à défaut de problèmes de trafic.

2. Une possibilité pour réduire les modes de transport individuels réside dans la pratique du covoiturage. On peut partir du principe qu'il existe encore des potentiels importants sur l'Axe 4, vu que domiciles et lieux de travail³¹ de la plupart des navetteurs sont peu éloignés les uns des autres. Des aires de covoiturage pourraient jouer à cet égard un rôle de support. Surtout dans l'industrie manufacturière mais aussi dans le commerce et dans les services le travail en service en roulement est un modèle répandu ce qui pourrait faciliter l'installation des services de covoiturage.

3. L'un des points faibles des transports publics à Sarrebruck est leur structure en forme d'étoile. On atteint très rapidement le centre de Sarrebruck, mais pour rejoindre ensuite son lieu de travail, éventuellement situé en périphérie, il faut une, voire plusieurs correspondances et donc beaucoup de temps. L'idéal serait la création de lignes périphériques plus ou moins étendues, avec une interconnexion vers des pôles à structure en étoile. Les jonctions seraient alors des points de correspondance pour pouvoir rejoindre rapidement son lieu de travail en périphérie.

4. Une autre mesure serait l'utilisation de bus d'entreprise fournis par l'employeur ayant un nombre important de salariés³². Si cela pouvait constituer une offre attrayante et avantageuse pour les navetteurs, un nombre significatif de navetteurs changerait son mode de transport. Le bus d'entreprise pourrait ramasser les salariés de façon ciblée et groupée, à des arrêts³³ spécifiques.

5. Des voies de trafic alternatif comme des vélos ou des pedelecs peuvent aider à améliorer la situation.

En résumé : le problème avec la plupart des concepts de mobilité durables (hormis l'utilisation à 100 % de l'automobile) pour le trajet quotidien domicile/lieu de travail réside dans les premiers et les derniers tronçons du trajet :

- Comment atteindre les grands axes de trafic ?
- Comment rejoindre rapidement mon lieu de travail ?

Le projet de recherche ELEC'TRA a développé à cet effet la notion du « **e-Hub** », qui n'est rien d'autre qu'un point de correspondance avec différentes caractéristiques pour surmonter des obstacles à la mobilité. Pour cela, l'e-Hub doit être adapté aux besoins locaux, c.-à-d. être pourvu d'une interopérabilité transfrontalière.

Le concept de l'eHub a pour ambition de faciliter et accélérer le changement du mode de transport dès les premiers tronçons du trajet, et d'englober les derniers tronçons du trajet !

²⁹ En relation avec des frais d'achat raisonnables pour les véhicules électrique, la durabilité des batteries, etc.

³⁰ En relation avec des énergies renouvelables

³¹ De façon idéale en coopération avec de grands employeurs tels que p.ex. ZF Friedrichshafen AG à Sarrebruck

³² Par exemple particulièrement efficace en cas de modèles de travail en équipe

³³ Par exemple des aires de covoiturage, des places centrales, des gares et des arrêts/stations

2.3.3.2. Le concept de l'enquête qualitative

Dans le cadre du projet de recherche ELEC'TRA, il était prévu d'effectuer auprès des navetteurs frontaliers une enquête sur la mobilité pour l'ensemble des quatre axes.

Pour des raisons mentionnées ci-dessus, l'institut infas, Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, qui a effectué une enquête sur la mobilité sur les axes 1 à 3 ne pouvait pas procéder de la même manière sur l'axe 4. C'est pourquoi un concept de sondage qualitatif modifié a été choisi.

Le motif pour l'enquête qualitative est le partage modal pour l'Axe 4. Plus que 90% des navetteurs utilisent leur véhicule pour se rendre à leurs lieux de travail. Les questions qui écoulent de ce phénomène sont donc les suivantes : Quels sont les raisons pour lesquelles l'automobile est tellement préférée, et comment sont évalués les modes de mobilité alternatifs ? Dans le cadre de l'enquête, des interviews d'experts³⁴ ont donc été entrepris. Par ailleurs, des tables rondes (groupes de réflexion) de navetteurs frontaliers salariés avaient été prévues. En raison du désintérêt, il n'a pas été possible de constituer des groupes de réflexion. En lieu et place, des interviews supplémentaires avec des experts sarrois en transports ont été effectuées.

Les interviews ont été menées à bien d'octobre à décembre 2014. Au total, 14 interviews ont été effectuées, dont 9 avec des experts en mobilité appartenant à des entreprises concernées, et 5 avec des experts en transports.

³⁴ Représentants d'entreprises ayant leur siège à Sarrebruck et ayant un grand nombre de navetteurs frontaliers parmi leurs effectifs

Experts dans des entreprises à Sarrebruck	Experts en transports
<p>Durée du terrain : 21/10/2014 - 03/12/2014</p> <p>Groupe cible : Interlocuteurs dans des entreprises avec navetteurs venant de France et en mesure de s'exprimer sur la structure des effectifs et les conditions cadres sur place</p> <p>Nombre : 9 interviews</p> <p>Secteurs : Industrie Commerce (automobile) Logistique/Transport Institution de recherche Divertissement/Gastronomie</p> <p>Taille des entreprises (pôle économique de Sarrebruck) : > 1 000 salariés - 2 entreprises ≈ 300 salariés : 1 ≈ 200 salariés : 4 < 200 salariés : 2</p>	<p>Durée du terrain 04/12/2014 - 15/12/2014</p> <p>Groupe cible : Experts en transports pour la zone de Sarrebruck</p> <p>Nombre : 5 interviews</p> <p>Entreprises/institutions, où les interlocuteurs travaillent : Chambre du Travail de la Sarre Chambre de Commerce et d'Industrie de la Sarre (CCI) Centre d'innovation pour la mobilité et le changement sociétal (InnoZ) Transport publics de la Sarre (saarVV) Club automobile (VCD), section de la Sarre</p>

Figure 34 : Caractéristiques de l'étude ³⁵

³⁵ Source: infas, Rapport INFAS sur ELEC'TRA, Axe 4; illustration page 7

Les résultats de l'enquête qualitative :

Voici, sous forme résumée, les résultats dégagés par INFAS³⁶:

1. *Le transport transfrontalier est surtout caractérisé par un transport individuel motorisé (TIM). L'accessibilité des entreprises dans la région de Sarrebruck est considérée comme étant très bonne en raison de la densité du réseau routier.*
2. *Etant donné que la situation en matière de stationnement ainsi que la circulation automobile dans la région de Sarrebruck ne présentent pas de problèmes, les frontaliers ne voient guère la nécessité de changements.*
3. *Les transports publics dans la ville de Sarrebruck sont évalués comme étant positifs, tandis que l'offre en milieu rural est considérée tant du côté allemand que du côté français comme insuffisante pour le trajet entre le domicile et le lieu de travail. La structure dispersée de l'habitat dans la région frontalière est présentée comme un obstacle supplémentaire pour les transports publics.*
4. *La liaison entre Sarrebruck et Sarreguemines par la Saarbahn (Tram-Train de Sarrebruck) est considérée comme très positive. Les transports en commun de l'axe Forbach – Sarrebruck bénéficient d'une évaluation moins positive en raison de l'absence de liaison avec la Saarbahn et de la faible fréquence des trains. Globalement, il n'y a pas assez de liaisons directes, entre Metz et Sarrebruck, permettant d'éviter les correspondances à Forbach ou à la gare centrale de Sarrebruck. Pertes de temps en raison de transports « fractionnés » et de l'absence de lignes directes vers les grands employeurs de la région de Sarrebruck sont désignées comme principal obstacle pour les transports en commun.*
5. *La plus grande problématique des transports publics frontaliers invoquée est surtout le manque de communication entre les entreprises de transport allemandes et françaises et les autorités publiques, l'absence d'orientation stratégique commune, le système tarifaire compliqué ainsi que le coût trop élevé pour les utilisateurs.*
6. *Les entreprises ne refusent pas catégoriquement le thème de l'électromobilité en liaison avec leurs propres véhicules d'exploitation ou de service, mais considèrent pour le moment que les avantages liés aux véhicules traditionnels prédominent. Les obstacles sont essentiellement la faible autonomie, l'absence d'offre ainsi que la longue durée de charge.*
7. *Les experts en transports évaluent le potentiel de véhicules électriques privés comme étant faible. Cependant, les e-Vélos ou e-Véhicules pourraient être amenés à jouer un rôle plus important dans l'avenir en relation avec l'autopartage.*
8. *Le concept de l'e-Hub (des parcs de covoiturage multimodaux accueillant des services pour véhicules électriques) est considéré en particulier comme complémentaire par rapport à l'infrastructure existante. Pour les navetteurs entre la France et Sarrebruck, le concept est considéré comme peu pratique en raison de la faible distance des trajets à parcourir. Dans les zones industrielles, les e-Hubs pourraient cependant compléter de manière rationnelle l'offre en mobilité pour les entreprises.*

³⁶ Source : Rapport INFAS sur ELEC'TRA, Axe 4; Résultats, page 9

Les affirmations suivantes des entrepreneurs et des experts en transports sont également intéressantes:

e-Mobil Saar était en avance sur son temps. La Sarre n'est pas encore prête pour cela.	La mise en exergue d'une image de gagnant (pour l'utilisateur des transports publics et du vélo) doit avoir le même poids que le développement des infrastructures.	Je ne vois pas de potentiel pour des trajets réguliers de navetteurs avec un véhicule électrique.
Le changement démographique joue également un rôle: on n'est pas obligé d'utiliser un grand nombre de bus qui resteront quasiment vides dans certaines régions où habitent uniquement des seniors.	Le choix en matière de mobilité personnelle pour se rendre au travail, faire ses courses etc., sera toujours plus rapide que la réaction politique.	Le concept des bornes publiques de recharge est une mauvaise approche. En principe, il y a déjà une infrastructure parfaite, parce que l'électricité peut être captée à chaque prise de courant.
Dans les transports en commun locaux, il faut accepter des détours relativement importants en cas d'absence de ligne directe.		Les Sarrois sont très réalistes.
		Les moteurs à combustion ne sont pas prêts de disparaître.
Les transports publics sont impopulaires. Il faudrait donc créer un modèle particulièrement attrayant, pour vaincre les réticences des navetteurs et amener ces derniers à les essayer.	Le navetteur attache une grande importance à sa mobilité individuelle. La seule chose que l'on peut donc faire, c'est de renforcer encore l'amélioration de la circulation et des possibilités de parking.	La Sarre présente la particularité que l'on peut rejoindre rapidement par autoroute toute destination au sein de la région, car il s'agit d'un Land relativement petit.
Nous sommes en Sarre. Ici, il n'y a pas d'embouteillages, sauf quand il neige ou quand la Sarre déborde. Ceux qui affirment avoir été retenus par un embouteillage en Sarre ne sont jamais sortis de leur région ! Ils n'ont qu'à se rendre à Cologne ou à Francfort pour voir ce qu'est un vrai embouteillage.	Grâce à l'autoroute urbaine, l'accessibilité est très bonne, quel que soit l'endroit d'où vous venez. L'accessibilité à partir de la France est en partie encore meilleure qu'à partir du Nord de la Sarre.	La Saarbahn pénètre assez profondément en France, mais une fois à destination, on constate soit l'impossibilité d'emprunter une correspondance en bus, soit un déficit de coordination entre les horaires.
		L'A620 affiche un trafic dense. Ceci entraîne régulièrement des ralentissements aux heures de retour des navetteurs. Mais ceci est aussi dû à l'existence de plusieurs chantiers.

Figure 35 : Affirmations des experts sur la thématique des transports³⁷

³⁷ Source: infas, Rapport INFAS sur ELEC'TRA, Axe 4; ill. page 17 et ill. page 17

Ces affirmations qualitatives ne sont peut-être pas directement représentatives, mais elles montrent que l'on peut partir du principe que le réseau routier menant à Sarrebruck est excellent pour l'automobile. De même, la disponibilité de places de parking chez les employeurs ne semble pas problématique. Par contre, il y a des avis différenciés concernant le trafic : certaines personnes interrogées indiquent qu'elles n'apprécient pas les embouteillages quotidiens sur le chemin du travail, d'autres estiment qu'ils sont plus supportables que dans d'autres agglomérations. Les transports publics sont plutôt décrits comme étant compliqués et impopulaires, surtout en ce qui concerne les interconnexions avec les lignes transfrontalières.

Les experts sont plutôt réservés au sujet des approches alternatives en mobilité, alliées à l'e-Mobilité:

	Très probable	Peu probable	Plutôt improbable	Tout à fait improbable	Offre déjà existante	Sans objet
Participation financière aux transports publics			■	■	■	
Participation financière aux frais de voiture			■	■	■	
Plateforme de covoiturage		■	■	■		
Emplacements pour vélos		■			■	■
Bornes de recharge sur le site de l'entreprise	■	■	■	■	■	
E-véhicules sur le terrain de l'entreprise	■	■		■		■
E-véhicules comme voitures de service		■	■	■		
Places de parking pour covoiturages		■		■		
Partage de voitures de service			■	■		
Plateforme d'autopartage		■		■		

1 à 2
 3 à 4
 5 à 6
 7 à 8 mentions

Figure 36 : Evaluation relative aux développements futurs dans les entreprises³⁸

Il est intéressant de noter que les thèmes « Plateformes de covoiturage », « Emplacements pour vélos » et « Bornes de recharge sur le site de l'entreprise » sont considérés comme « plutôt probables » : l'offre en parcs de stationnement pour vélos existe déjà. Il en va de même pour l'offre en bornes de recharge sur le site de l'entreprise, ce qui est d'ailleurs assez surprenant.

Cette dernière affirmation montre qu'il existe éventuellement le potentiel pour les navetteurs frontaliers d'effectuer le trajet quotidien pour se rendre au travail avec leur

³⁸ Source: infas, Rapport INFAS sur ELEC'TRA, Axe 4, ill. page 13

propre véhicule électrique privé³⁹. Les « Places de parking pour covoiturage », le « Partage de voitures de service » et la « Plateforme d'autopartage » ont été estimés comme absolument improbables. Ces affirmations ne facilitent évidemment pas la mise en place de nouvelles approches et systèmes en matière de mobilité.

Conclusion succincte :

Les affirmations qualitatives ainsi que le penchant très développé en faveur de la voiture pour se rendre quotidiennement au travail compliquent la planification conceptuelle pour des systèmes de mobilité alternatifs et leur acceptation.

Néanmoins, le « concept de l'e-Hub » doit permettre d'élaborer des propositions utiles également pour l'Axe 4.

2.3.3.3. Approches alternatives en mobilité pour l'axe 4

Pour l'amélioration des aspects de la mobilité sur l'axe 4, trois graphiques avec des approches différentes sont présentés ci-après : Les illustrations suivantes peuvent être interprétées comme des exemples systémiques. A cet égard, il s'agit de créer la possibilité d'itinéraires complets intermodaux⁴⁰ et de les rendre attrayants. Pour y arriver, tout arrêt/station ou parking de covoiturage déjà en place pourra être transformé en e-Hub.

³⁹ En relation avec des frais d'achat raisonnables pour les véhicules électrique, la durabilité des batteries, etc.

⁴⁰ Exemple 1 : Premier tronçon en voiture, puis prendre le train ou le bus, puis dernier tronçon en bus circulaire

Exemple 2 : Premier tronçon en vélo, puis prendre le bus ou le train, puis dernier tronçon en vélo de location/Pedelec

Exemple 3 : Premier tronçon en covoiturage, puis prendre le bus ou le train, puis dernier tronçon en e-Autopartage (e-Mobil Saar www.e-mobil-saar.de)

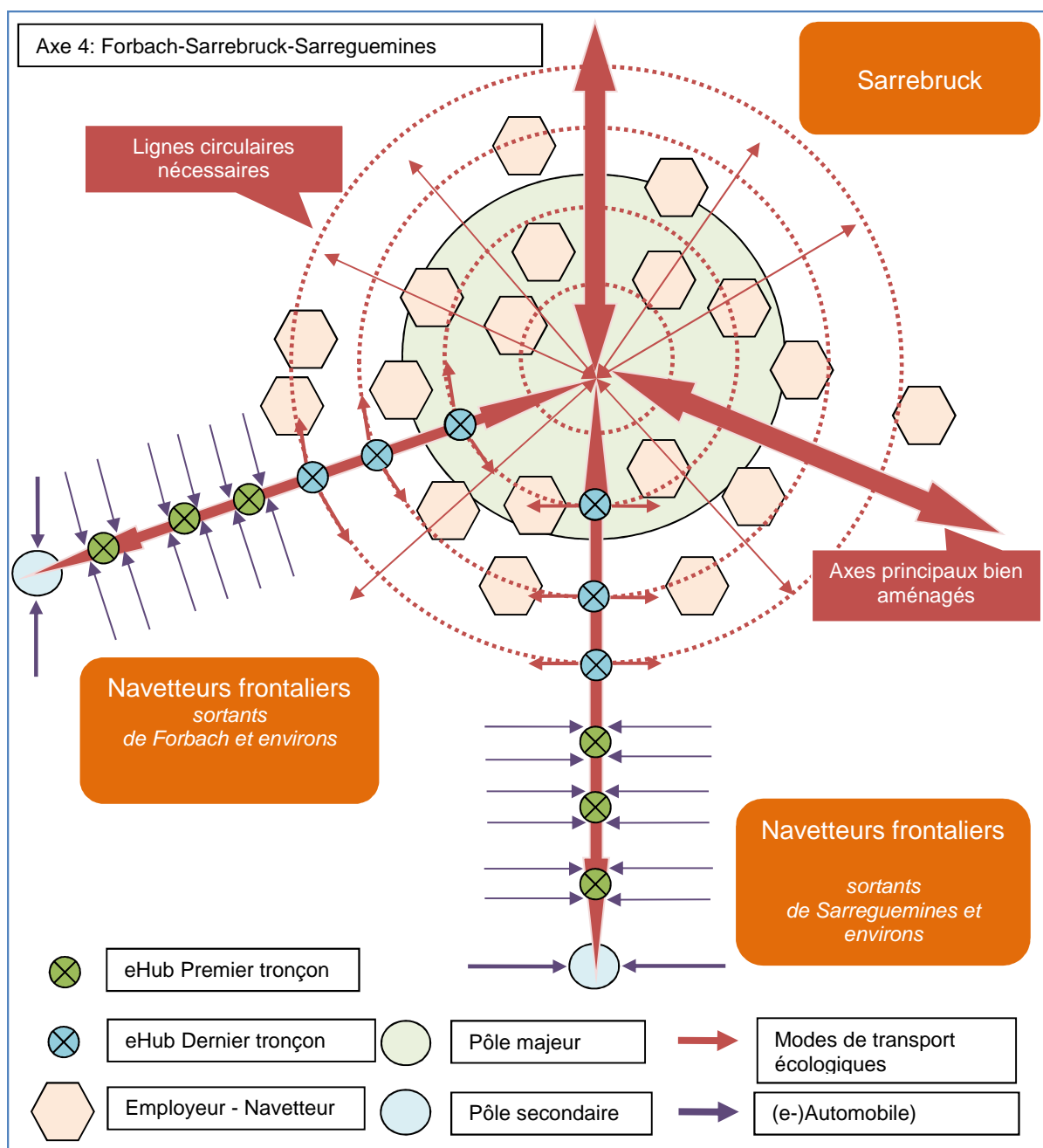


Figure 37 : Schéma concept de mobilité transports publics, y compris e-Hubs, pour Axe 4⁴¹

La prochaine illustration combine le transport individuel avec les modes de transport écologiques (Umweltverbund : transports en public). Si l'on part du principe de transports bien développés au sein du pôle majeur de Sarrebruck, il est possible de garer les voitures en périphérie de la ville, là où il est possible d'emprunter des transports en commun (Umweltverbund). Ceci se traduit en particulier par les avantages suivants : diminution des encombrements au centre-ville et sur les

⁴¹ Source : IZES

principaux axes de transport grâce à un transport individuel le matin et le soir, essentiellement composé de navetteurs⁴².

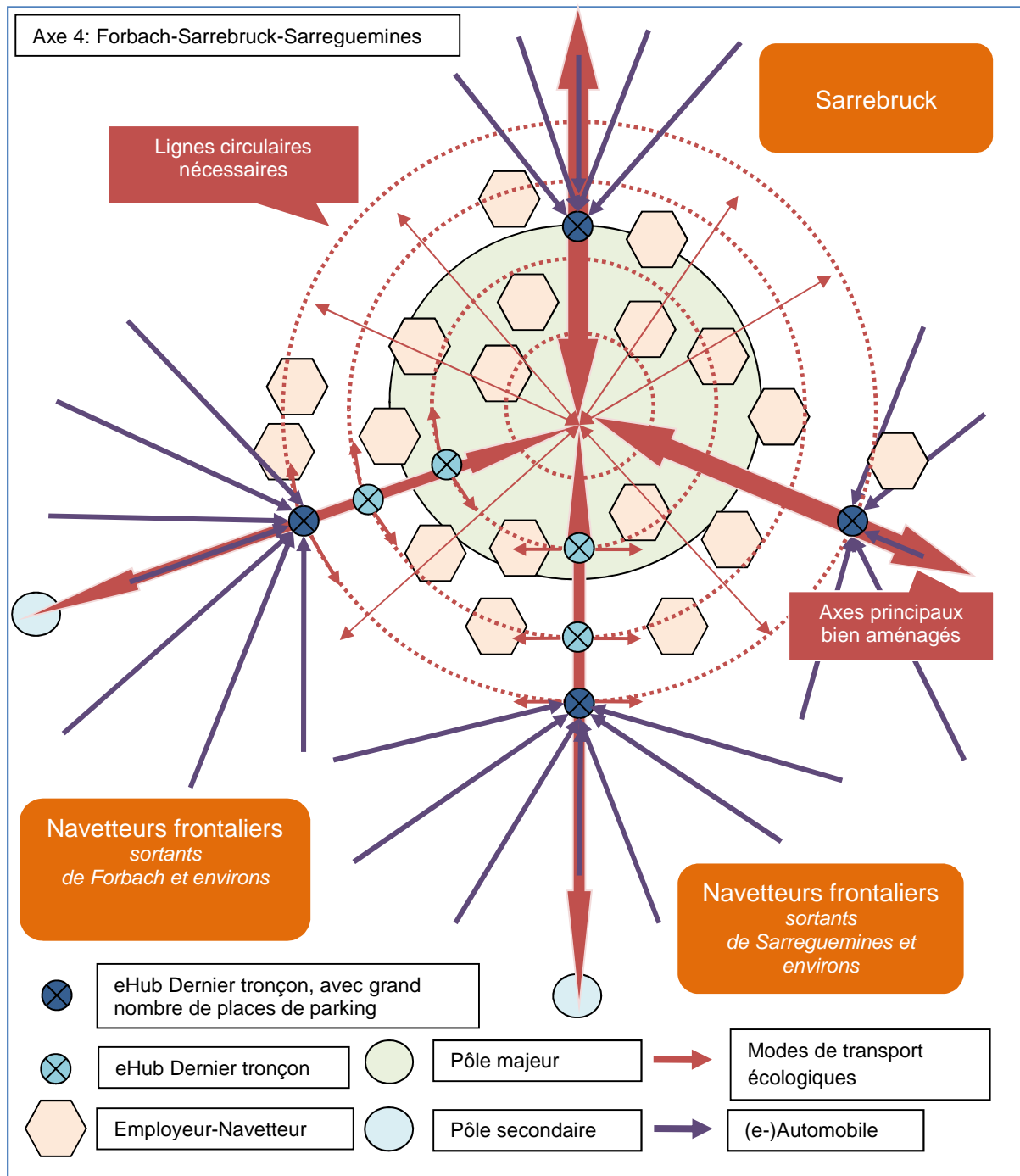


Figure 38 : Schéma concept de mobilité individuel/transports publics, y compris e-Hubs, pour axe 4⁴³

Il s'agit de suivre en sus ou en tant qu'alternative l'outil des covoiturages en vue de la concentration des flux de transport, et ceci d'ailleurs aussi en raison des résultats de

⁴² Concept particulièrement intéressant pour la ville de Luxembourg (Axes 1-3)

⁴³ Source : IZES

l'enquête qualitative. Le nombre des parkings de covoiturage est restreint, en particulier sur l'Axe 4. Il s'agit donc de miser sur les potentiels d'utilisation.

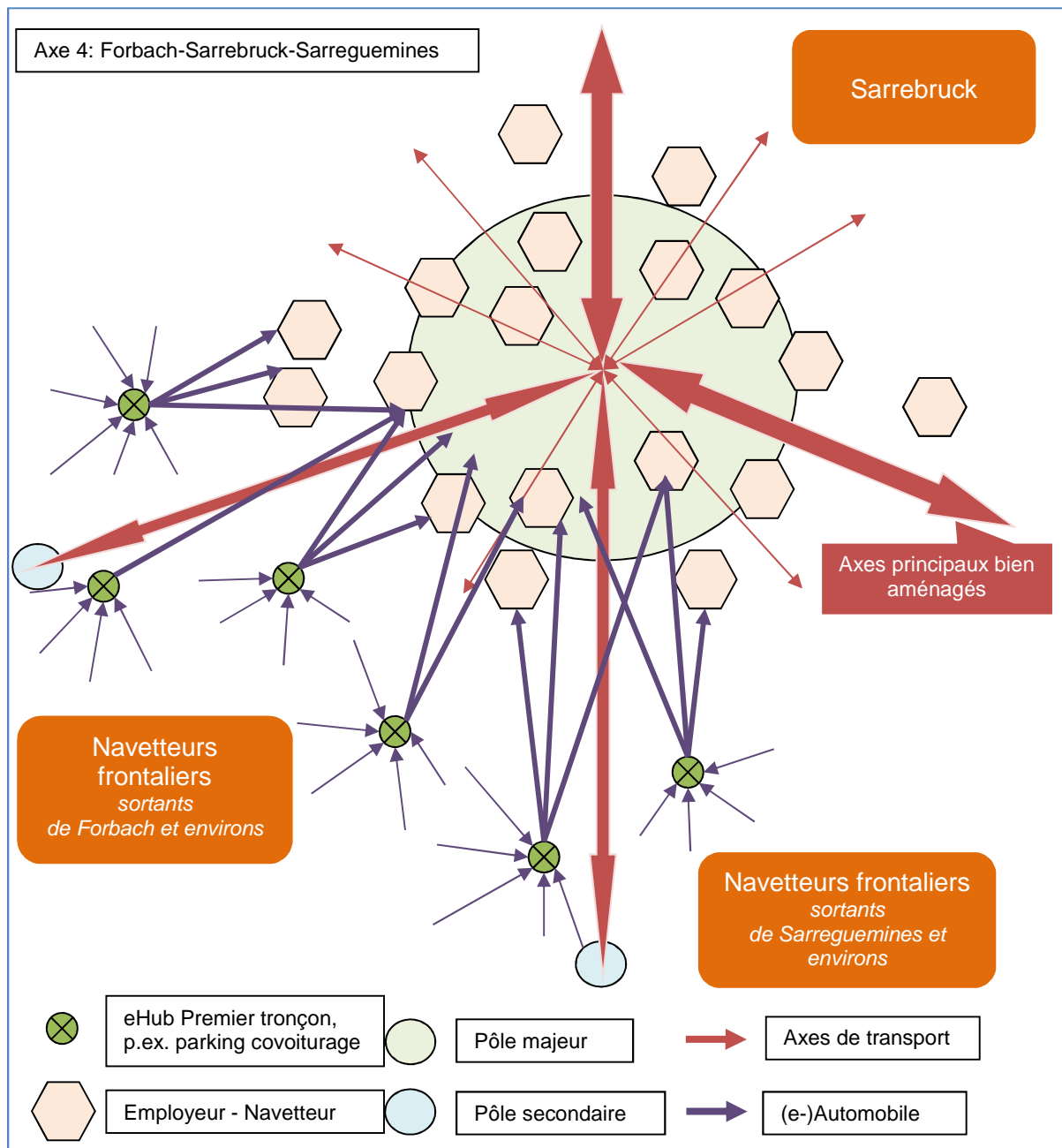


Figure 39 : Schéma concept mobilité individuelle, y compris e-Hubs, pour axe 4⁴⁴

Une combinaison des trois schémas sous forme d'un système de mobilité concerté peut être considérée comme une solution optimale pour répondre à tous les besoins en mobilité.

Il est impossible de procéder à une localisation de l'eHub (comme pour les axes 1-3) pour l'axe 4. En effet, ceci n'est pas réalisable sans les données de base

⁴⁴ Source : IZES

nécessaires (relations exactes trajets-destination). De ce fait, il est uniquement possible d'émettre des recommandations générales pour cet axe.

Néanmoins, le trafic transfrontalier sur l'axe 4 offre la possibilité de tester et d'établir de manière démonstrative et dans le but de montrer de bons exemples des systèmes de mobilité nouveaux et durables. A cet égard, le financement et la mise en œuvre constitueront un véritable défi.

2.3.4. Résultats des entreprises

Une sélection ultérieure a également généré un échantillon net en ce qui concerne les entreprises. Sur les désormais 116 entreprises luxembourgeoises sélectionnées, 47 ont participé au sondage, soit un taux de réponse de 40,5%. La durée de la conversation téléphonique fut en moyenne de 16,5 minutes.

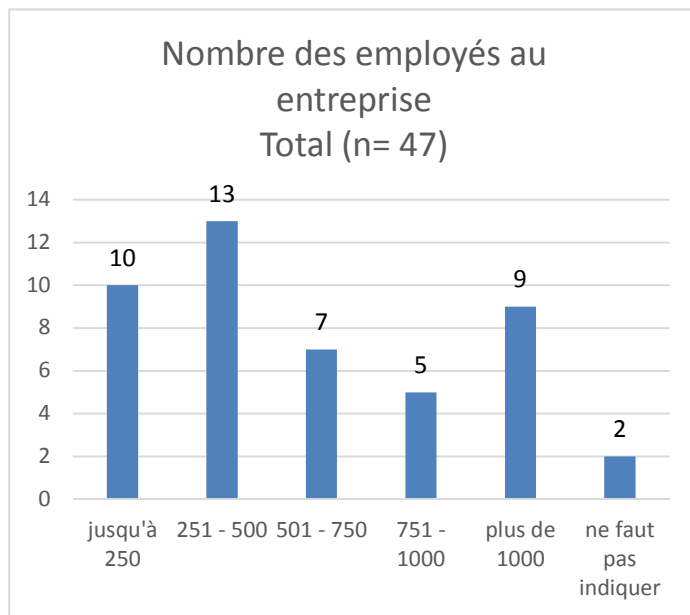


Figure 40 : Répartition des travailleurs

Avec une fourchette de 130 à 4 000, le nombre de personnes employées au Luxembourg est très variable. À ce titre, dix des entreprises comptent 1 000 collaborateurs ou plus au Luxembourg. Le secteur d'activité des entreprises n'a pas été relevé.

Du côté des entreprises, les accessibilités par le biais de divers moyens de transport prennent une forme très différente. Seules huit entreprises ont indiqué être difficilement accessibles en voiture et 29 ont estimé leur accessibilité en voiture comme étant bonne ou très bonne. Il est remarquable que quatre des entreprises comptant plus de 1 000 travailleurs affirment elles-mêmes que leur accessibilité en voiture est plutôt mauvaise ou mauvaise. Les petites entreprises estiment que leur accessibilité est tout à fait positive. Un tiers des entreprises, qui occupent toutes moins de 1 000 personnes, furent d'avis que le lieu de travail était difficilement ou pas du tout accessible via les transports en commun. De manière générale, 75% des

entreprises sondées ont estimé l'accessibilité en voiture comme étant bonne à très bonne, tandis que tel fut le cas via les transports publics uniquement dans la moitié des cas pour les deux catégories de réponses. Un tableau semblable découle de l'accessibilité à vélo ou à pied : près de la moitié des entreprises ont indiqué être difficilement ou pas du tout accessibles à vélo ou à pied, indépendamment du nombre des personnes employées. En complément, 90% des entreprises sondées ont indiqué qu'au moins la moitié des collaborateurs arrivent au travail en voiture et 25% ont même signalé qu'au moins 95% de leur personnel se rend au travail en voiture.

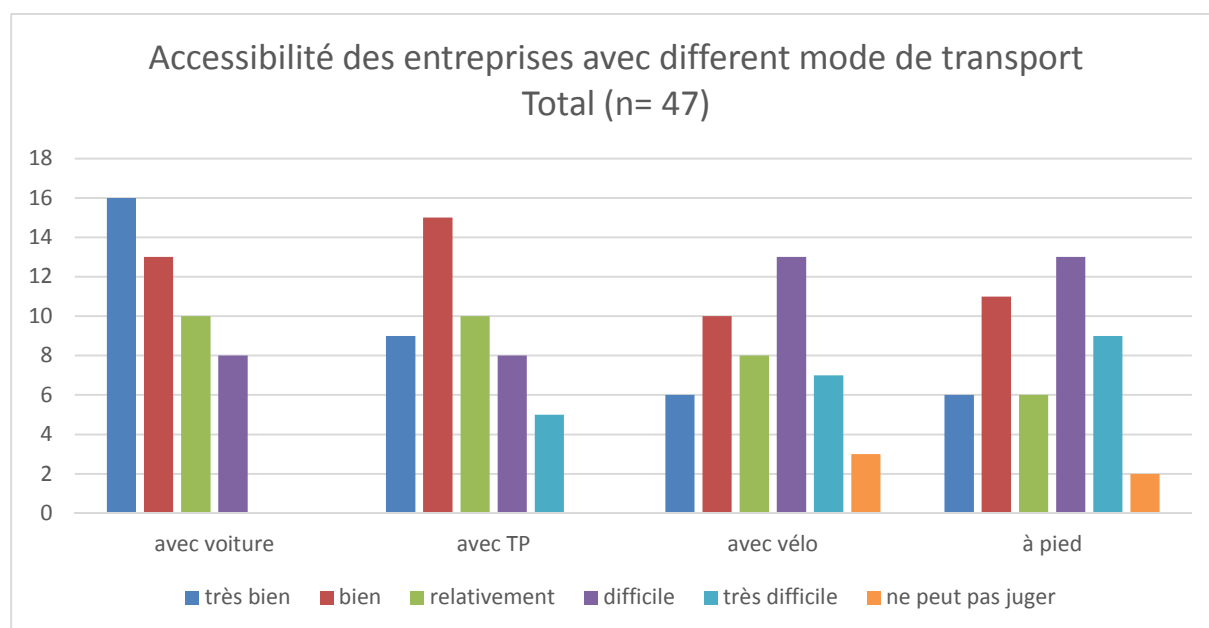


Figure 41 : Accessibilité des entreprises

Une raison sous-jacente à cela pourrait être que les entreprises permettent uniquement à leurs employés de pratiquer le télétravail de manière isolée. Cela dépend également du secteur d'activité de l'entreprise sondée, à savoir le secteur des services ou par exemple le secteur de produits manufacturés. Une gestion de la mobilité au niveau des entreprises pourrait prendre le relais à ce titre et faciliter ainsi le covoiturage. Une autre possibilité serait d'améliorer l'accessibilité via les transports en commun, par exemple au moyen d'un eHub situé à proximité. Les emplacements des lieux de travail sont également pertinents. Selon *Schmitz/Gerber*, les travailleurs employés à Luxembourg-ville utilisent plus souvent les transports publics (33%) que

ceux se rendant dans l'agglomération de Luxembourg (65) ou dans le reste du pays (2%)⁴⁵.

D'un autre côté, une bonne accessibilité constitue un motif attrayant afin d'utiliser la voiture. Le résultat de la question portant sur les emplacements de stationnement pour les collaborateurs va de pair avec cet élément mais diverge légèrement du sondage des frontaliers. Environ 60% des entreprises ont indiqué les mettre gratuitement à disposition (contre environ 78% des frontaliers). Lorsque l'emplacement de stationnement génère un coût dans le chef du travailleur, un soutien financier forfaitaire ou en pourcentage est octroyé pour les emplacements de stationnement mais n'excède globalement pas 100 €. La question relative à l'utilisation des véhicules de service à des fins privées a induit des réponses semblables. Ici aussi, 65% des entreprises proposent à leurs employés d'utiliser leur véhicule de service à des fins privées, avec tous les avantages et inconvénients y relatifs.

Par contre, les entreprises sont moins actives au niveau des aides financières, écologiques et durables en faveur de leur personnel. Seulement 40% des entreprises ont indiqué fournir un soutien financier à l'acquisition du « M-Pass » ou octroyer des allocations générales pour l'utilisation des transports publics. Lorsque tel est le cas, elles soutiennent cependant leurs employés au minimum à concurrence de 50% des coûts. L'aide au covoiturage est nettement moins marquée et concerne seulement 20% des entreprises interrogées. Il convient en outre de mentionner que 30 des 47 (64%) entreprises interrogées proposent des emplacements pour vélo, ce qui signifie, compte tenu des résultats relatifs à l'accessibilité à vélo, que l'offre est au moins plus importante que la propre estimation en termes d'utilisation sécurisée et pratique. 20% des entreprises interrogées possèdent un gestionnaire de mobilité, une personne chargée de la mobilité.

⁴⁵ Cf. Schmitz, F. / Gerber, P. (2012): Öffentlicher Verkehr oder Individualverkehr: Wie begeben sich die Grenzgänger 2010 an ihren Arbeitsplatz? – In: CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg. beschäftigten Grenzgänger: Dynamik und Perspektiven. Les Cahiers du CEPS/INSTEAD. Geographie und Entwicklung. Luxemburg. p. 14s

Pour ce qui est du concept ELEC'TRA, la question portant sur l'existence de points de rechargement sur le site de l'entreprise à l'instant du sondage et sur la présence de véhicules électriques parmi les véhicules de service fut posée. Huit entreprises répondirent déjà positivement quant à la présence de points de rechargement mais aucun véhicule électrique n'est utilisé actuellement. Trois entreprises sont très proches du concept sous-jacent au projet en promouvant à la fois le covoiturage et en proposant des points de rechargement sur leur site.

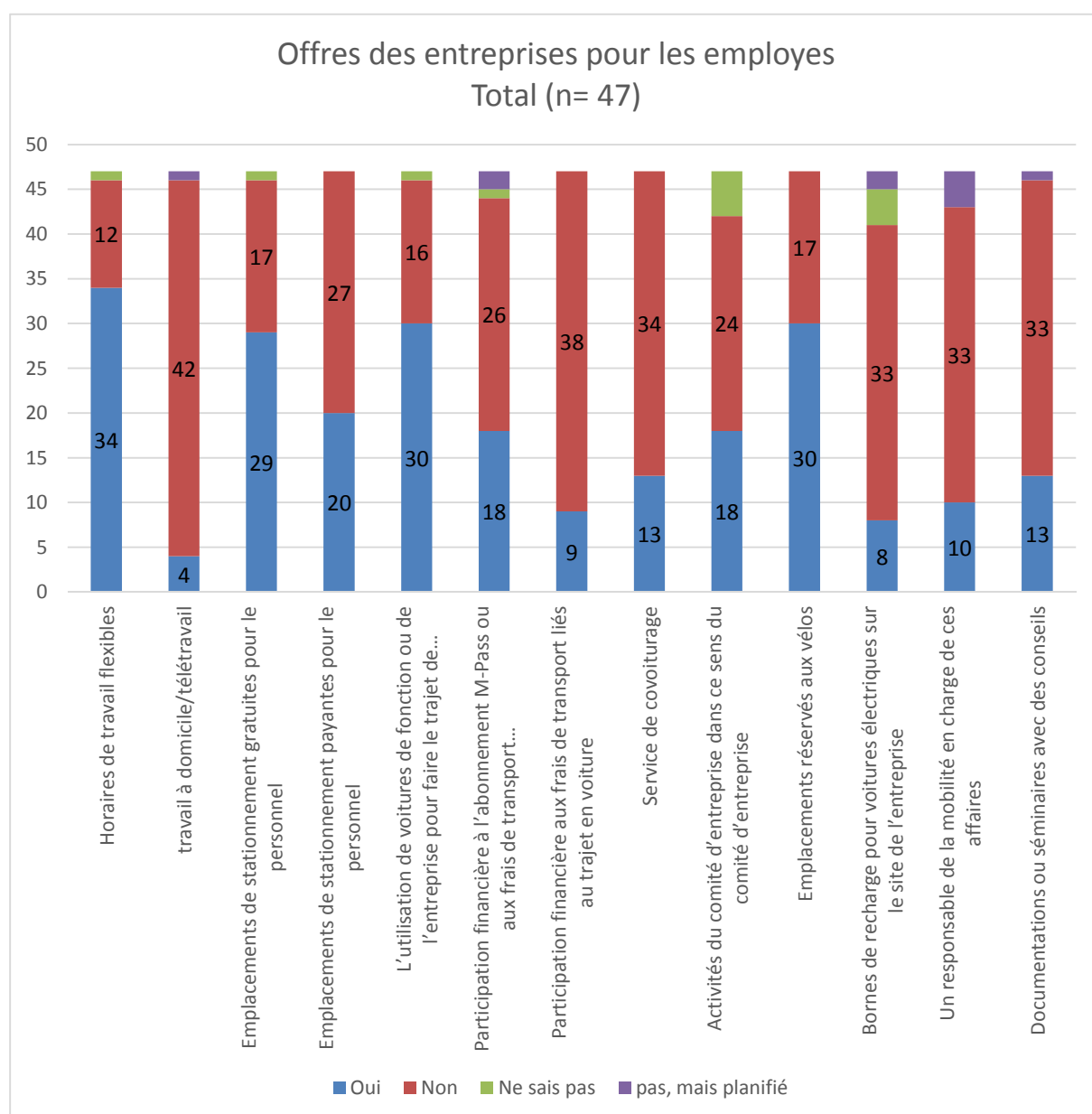


Figure 42 : Offre actuelle pour le personnel au sein des entreprises

Dans le futur, seules cinq entreprises supplémentaires envisagent de participer aux frais de déplacement des travailleurs qui utilisent les transports publics. Cependant,

trois quarts des entreprises confirment nourrir un intérêt envers une utilisation accrue des transports publics au lieu de la voiture par leurs travailleurs. Outre les 12 qui le font déjà, 15 entreprises supplémentaires envisagent de soutenir le covoiturage. La promotion de l'utilisation de la voiture n'est pas envisagée. Six entreprises supplémentaires aspirent à développer les emplacements pour vélo, ce qui ferait passer le nombre des entreprises qui en proposent à 36 sur 47.

En revanche, la mobilité électrique est considérée de manière sceptique. La mise à disposition de points de rechargement sur le site de l'entreprise fait seulement partie des projets de 11 entreprises supplémentaires et leur mise en œuvre n'est pas prévue de manière immédiate. La même observation s'applique à l'acquisition de voitures électriques comme véhicules de service. Les raisons précises devraient être examinées en vue de mesures supplémentaires. Est-ce dû au manque de popularité de la mobilité électrique ou à ses coûts et prix d'achat ? Un type d'insécurité joue-t-il un rôle ou est-ce dû à une mauvaise information ?

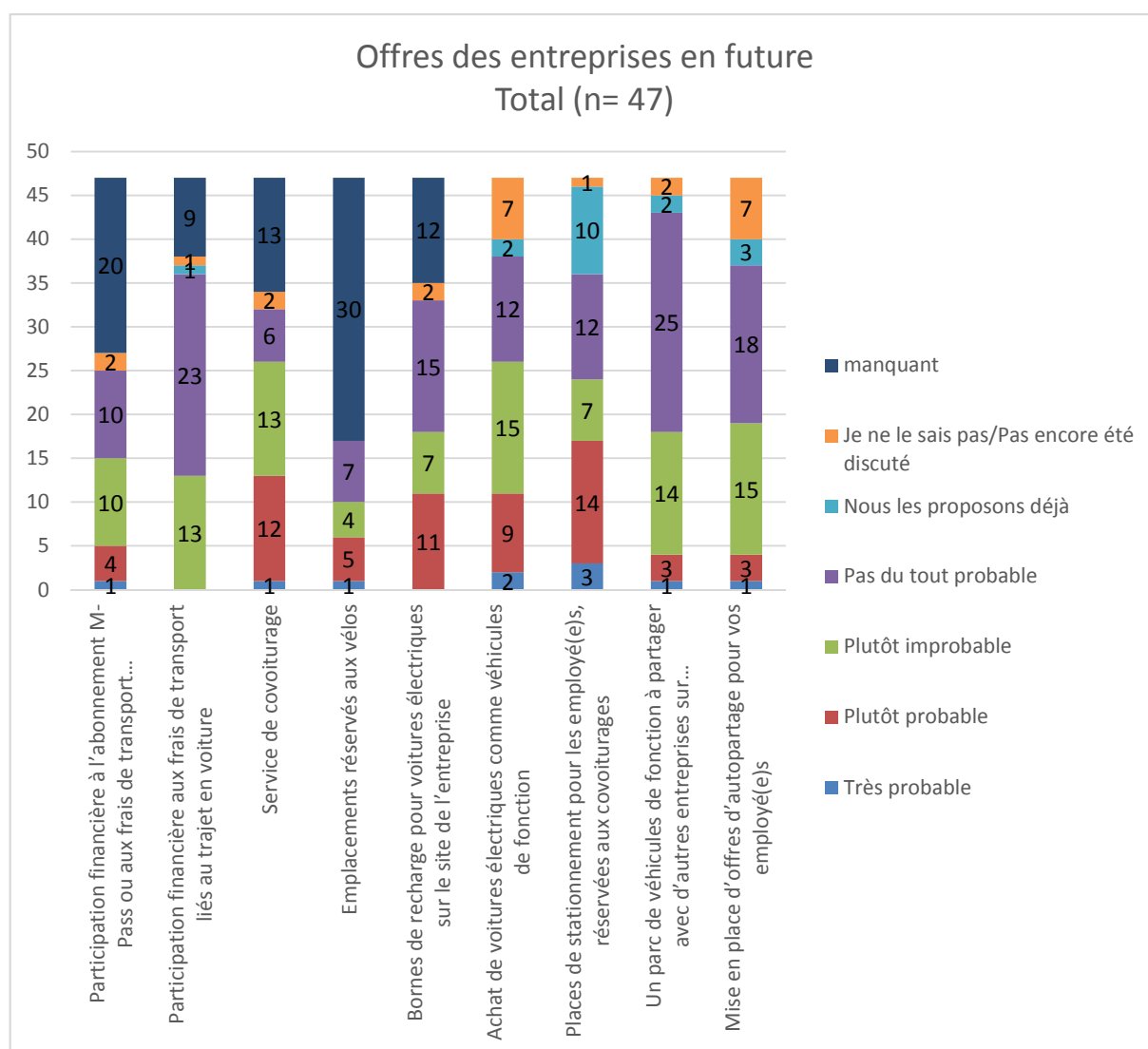


Figure 43 : Offre future pour le personnel au sein des entreprises

Conclusion partielle pour les entreprises

Indépendamment de la taille des entreprises, ces dernières sont de leurs propres aveux nettement plus accessibles en voiture et via les transports publics qu'à vélo ou à pied. Malgré tout, au moins la moitié des travailleurs se déplace en voiture. Cet élément peut être lié à l'emplacement et au secteur d'activité de l'entreprise. Des incitants sont cependant déjà créés : deux tiers des entreprises sondées proposent des emplacements de stationnement gratuits à leur personnel ou l'utilisation du véhicule de service à des fins privées. La mobilité électrique joue un rôle subordonné, que ce soit à l'heure actuelle ou dans le futur. En lieu et place, les entreprises prévoient d'investir dans la gestion de la mobilité en assurant par exemple la promotion du covoiturage.

3. Action 2 et 3 – Interopérabilité transfrontalière et eHub-Design

3.1. eHub-Design

Dans l'idéal, une plateforme d'échange multimodale « eHub » devrait être installée le long des principales autoroutes ou bien à une bretelle d'accès, ce qui permettrait d'atteindre à tout moment et le plus rapidement possible la masse critique à ces endroits, pour ensuite mutualiser le trajet avec plusieurs passagers sur le mode du covoiturage ou de l'autopartage.

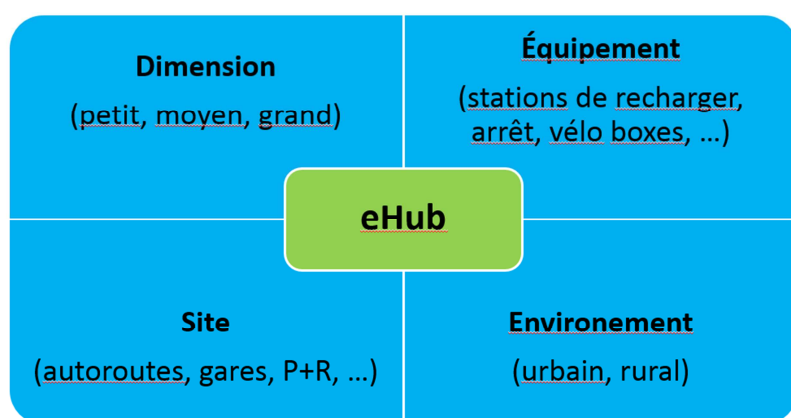


Figure 44 : Schéma d'une plateforme multimodale „eHub“

Il devrait également être possible de placer des « eHubs » à une station ferroviaire. C'est surtout près des gares et des points d'arrêt situés en périphérie que peuvent ainsi être créés des emplacements de stationnement où les

voitures électriques ou les vélos à assistance électrique peuvent être rechargés en l'absence de leurs propriétaires. Mais des « eHubs » peuvent aussi être installées dans les centres villes.

Il existe trois tailles de « eHub » : petite, moyenne et grande, en fonction du secteur, urbain ou rural, de l'équipement nécessaire et des particularités du lieu. Afin de limiter autant que possible les coûts de construction et d'entretien, les plateformes multimodales devraient être modulaires pour permettre non seulement de rajouter différents modules à l'instar des conceptions par blocs-éléments, mais aussi de les retirer si les flux de circulation venaient à changer. Une grande partie de l'énergie électrique nécessaire pour recharger les vélos à assistance électrique ou les voitures électriques peut être produite par des installations photovoltaïques sur les toitures des « eHubs ». L'illustration suivante montre une configuration possible en liaison avec un arrêt d'autobus.



Figure 45 : Dessin d'une plateforme multimodale „eHub“

Les résultats de l'analyse ont permis une accumulation spatio-temporelle des navetteurs transfrontaliers, de sorte qu'il a été possible de représenter un scénario de saturation du réseau routier au sein de la Grande Région, lequel scénario a servi à la simulation.

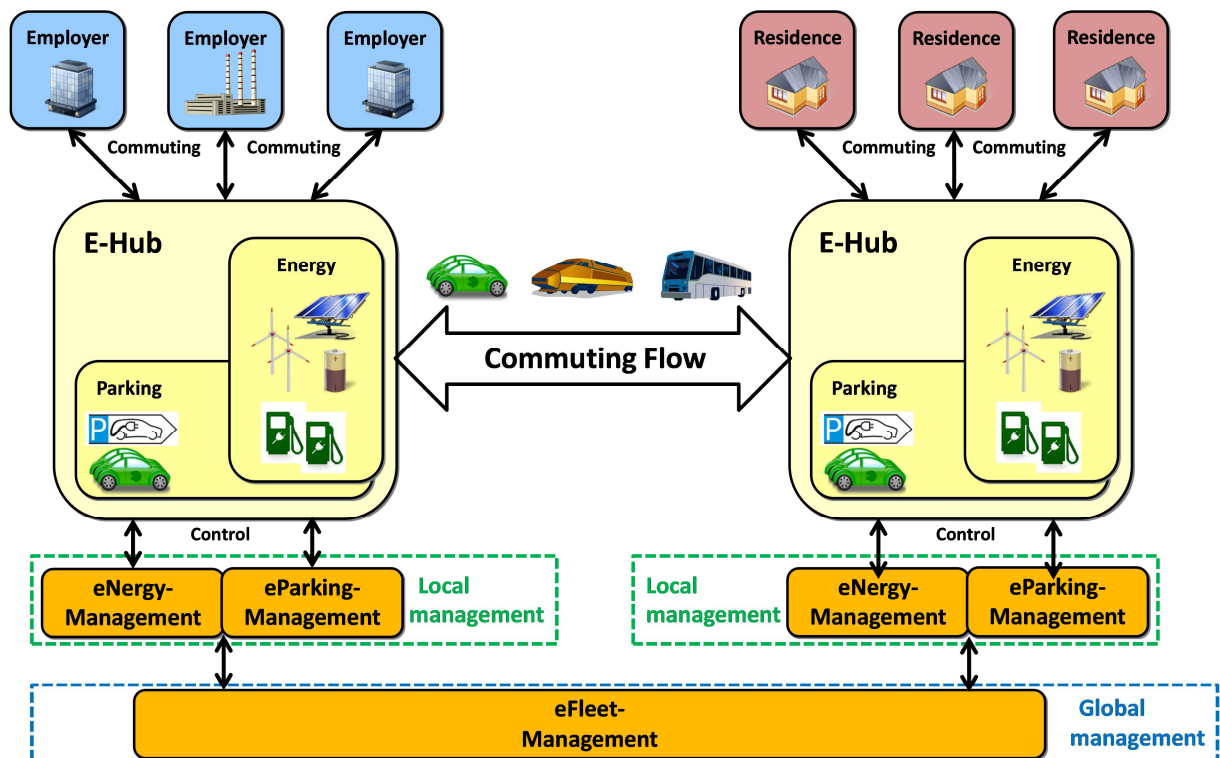


Figure 46 : eHub au concept d'ELEC'TRA

Les résultats ont été intégrés dans l'estimation du potentiel d'utilisateurs de covoiturage, dans le meilleur des cas au moyen de voitures électriques.

3.2. Préparation des résultats pour la simulation

En préparation de la simulation et de l'estimation du nombre d'utilisateurs potentiels, on a calculé, sur la base des résultats de l'enquête, une valeur de potentiel sous forme d'une moyenne pondérée pour chaque axe de circulation. Cette valeur est à deux niveaux : le premier niveau est le potentiel d'utilisation par les covoitureurs, sur la base des questions 1 ; 5.2 ; 6.1 ; 6.4, 17 ; 34, moins les questions 35.2 ; 36. Les éléments de réponse à ces questions ont été pondérés et hiérarchisés une fois que les réponses ont été comparées les unes aux autres et mises en relation. Le deuxième niveau intègre la volonté éventuelle d'utiliser à l'avenir une voiture électrique pour le covoiturage. Pour ce niveau, les éléments de réponse aux questions 23 et 26 ont été utilisés, pondérés et les questions ont encore une fois été mises en relation entre elles.

3.3. Environnement de Simulation et Placement des eHubs

3.3.1. Simulation de Trafic

3.3.1.1. Simulation basée sur les agents

De nos jours, la simulation basée sur les systèmes Multi-Agents (MAS), est utilisée dans un nombre grandissant de secteurs, remplaçant progressivement les diverses techniques de micro-simulation et simulation orientée objet. Cela est dû en partie à sa capacité à modéliser différents styles d'individus, des plus simples entités aux plus complexes (tels que les agents cognitifs). La facilité avec laquelle les différents niveaux de représentation peuvent être manipulés dans le modèle est aussi un de ses avantages par rapport aux automates cellulaires. Cette polyvalence évidente fait du MAS un moyen privilégié pour la simulation des systèmes complexes et s'appliquant à un nombre croissant de domaines : sociologie, biologie, physique, chimie, écologie, économie, etc.

D'après Fishwick⁴⁶, la simulation informatique peut être assimilée à la combinaison des trois activités suivantes:

- Modèle de conception d'un système réel ou théorique
- Implémentation et exécution de ce modèle sur un ordinateur
- Analyse des résultats de l'exécution

La conception du modèle associe une réalité à une représentation, en utilisant des données formalisées. Elles peuvent être issues d'observations réelles (valeurs numériques) ou de connaissances théoriques sur le sujet. Ces données d'entrée sont traduites en algorithmes qui peuvent être exécutés afin de produire des données compatibles avec les observations, si le but est de reproduire des évènements/données/résultats de comportement qui sont réels/existants/connus.

La simulation basée agent commence généralement par une approche top-down. Cette approche consiste à identifier d'une part les entités comprenant les faits réels à reproduire, et d'autre part les relations entre ces entités. Chaque entité est alors modélisée comme un agent en faisant des hypothèses simplificatrices. Comme toutes les approches, modéliser les agents est donc une approximation. Dans certains cas, cette approximation peut mener à des divergences importantes entre la

⁴⁶ Paul A. Fishwick. *Model Design and Execution: Building Digital Worlds (1st ed.)*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 1995.

réalité et la simulation, ce qui provoque des interprétations, analyses et résultats erronés. Il y a donc un réel problème autour de l'identification des entités critiques à modéliser et dans la définition du niveau de détail de leur modélisation.

3.3.1.2. Simulation du Transport

Les modèles d'affectation du trafic traditionnels deviennent de plus en plus complexes et il n'est plus possible d'utiliser des formulations mathématiques, notamment lorsque la dépendance au temps s'applique. Dans ces situations, la simulation est une des alternatives et particulièrement l'utilisation de modèles basés sur les activités à travers les simulations basées agent. Vovsha et Bradley⁴⁷ énumèrent plusieurs arguments en ce sens.

Pour la simulation du transport, certaines notions doivent être prises en compte: les déplacements de véhicules, les attentes aux croisements, la dépendance au temps, l'itinéraire que l'agent emprunte, etc. Dans le modèle, les agents planifient leur journée. Ils doivent prendre des décisions telles que : quand quitter la maison et aller au travail, y aller en voiture ou à vélo, quelle route prendre, où aller déjeuner, faire ou non des courses sur le chemin du retour, etc. Balmer⁴⁸ classe ces décisions qu'un agent doit prendre de la manière suivante:

- Choix du mode : “Dois-je marcher ou prendre le bus ?”
- Choix du trajet : “Quelle route vais-je emprunter pour aller au travail ?”
- Choix du lieu : “Dois-je faire des courses près de la maison ou plutôt au centre commercial ?”
- Choix du type d'activité : “Dois-je rendre visite à mon ami ?”
- Choix de la chaîne d'activité : “Dois-je aller nager avant ou après le travail ?”
- Choix du début de l'activité : “Quand dois-je faire du sport aujourd'hui ?”
- Choix de la durée de l'activité : “Puis-je prendre une autre bière avant de rentrer à la maison ?”
- Choix de la composition du groupe : “Qui dois-je prendre avec moi ?”

⁴⁷ Mark Bradley, John L. Bowman, Bruce Griesenbeck, SACSIM: An applied activity-based model system with fine-level spatial and temporal resolution, Journal of Choice Modelling, Volume 3, Issue 1, 2010, Pages 5-31, ISSN 1755-5345

⁴⁸ Balmer, M. (2007). Travel demand modeling for multi-agent transport simulations: Algorithms and systems (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

3.3.1.3. MATSim

MATSim est un outil open source de simulation de transport basé multi-agent, qui a été développé initialement au sein du projet TRANSIMS⁴⁹. MATSim offre un environnement pour la modélisation de la demande, pour la simulation de mobilité basée agent (simulation de flux de trafic), pour la replanification, ainsi qu'un contrôleur pour lancer itérativement des simulations, et des méthodes pour analyser les résultats générés par les modules. MATSim représente chaque entité du monde physique (personnes, voiture,...) par un agent individuel. Cette approche est décrite principalement par les trois concepts suivants :

- L'activité journalière d'un agent est décrite par un plan. De manière itérative, un agent essaie d'optimiser son plan, en changeant ses intentions (heure de départ, itinéraire,...).
- La simulation de la mobilité (également appelée simulation des flux de trafic) qui consiste en l'exécution concurrente des plans des agents en respectant les limites fixées par les contraintes physiques réelles (limitations de vitesse, capacité des routes, position et direction des routes, capacité des véhicules, temps de parcours....).
- Le concept d'apprentissage, qui permet aux agents d'améliorer leurs choix. Le système itère entre la génération de plan et la simulation de la mobilité. Une fonction de score est utilisée pour évaluer la performance d'un plan. Les agents choisissent normalement le plan qui a le score le plus élevé, mais aussi plusieurs heuristiques sont utilisées pour favoriser la diversification (choisir un plan qui a un mauvais score, recherche locale en copiant un plan existant,...)

3.3.1.3.1. Les données d'entrée de MATSim

MATSim a besoin de quelques données initiales pour exécuter les simulations, généralement le réseau de transport et la demande initiale. La demande initiale met en évidence les plans journaliers personnels primaires.

Plans: Chaque personne est représentée par un plan qui contient ses activités journalières et segments (étapes routières). Une activité est représentée par un type

⁴⁹ Smith, L., R. Beckman, and K. [and others] Baggerly. 1995. TRANSIMS: Transportation Analysis and Simulation System. United States. doi:10.2172/88648. <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/88648>.

(maison, travail, magasin,...), des coordonnées géographiques et une date de fin qui représente le moment où l'agent doit finir l'activité (et quitter cet endroit pour l'activité suivante). Le segment entre deux activités indique le mode que l'agent utilisera pour aller de la première activité à la suivante.

Le réseau de transport: Le réseau de transport est un ensemble d'infrastructures décrivant les interconnexions entre les éléments géographiques (routes, stations, villes,...). Les informations sont généralement liées à un mode spécifique (marche à pieds, véhicule, transport public,...). Dans MATSim, les réseaux sont représentés par des fichiers xml qui contiennent des liens et des nœuds. Un nœud est un point géographique spécifié par ses coordonnées cartésiennes (WGS84, ED50, NAVD88 ...). Un lien est une possibilité de connexion entre deux nœuds. Les attributs les plus importants d'un lien sont sa longueur, sa capacité, en véhicule par heure, la vitesse à vide en mètre par seconde (*freespeed*) et le nombre de voies (*permlane*). Récemment, un attribut spécifiant le mode de transport utilisable sur ce lien a été ajouté (*modes*).

Les installations: Les installations sont des éléments d'entrée optionnels qui représentent toutes les lieux de construction réels ou artificiels, où les agents peuvent réaliser une activité. Il est également possible d'ajouter des options de configuration spécifiant les heures d'ouverture de chaque activité hébergée par l'installation.

3.3.1.3.2. Les résultats de MATSim

Le principal résultat de MATSim est un ensemble d'évènements. Ce concept est présenté en détails dans la littérature scientifique. Un évènement est un petit élément d'information temporelle décrivant le changement de situation d'un agent. Les informations disponibles pour un évènement sont l'agent lui-même, le temps, le type d'action et si possible, la localisation du déroulement de l'action. Le module de simulation MATSim crée un fichier-évènement chaque n itérations (n est configurable, sa valeur par défaut est 10), qui contient toutes les informations qui pourraient être utilisées pour le traitement ultérieur des résultats de simulation.

MATSim offre également un autre moyen d'inspecter les résultats de simulation, à savoir l'utilisation de l'analyse intégrée qui est automatiquement exécutée quand le contrôleur marche. Les analyses principales disponibles sont :

- Le calculateur de temps de trajet des liens : Selon la situation du trafic sur un lien, il calcule le temps de trajet sur la journée.
- L'analyseur de volumes : C'est une sorte de compteur qui mesure le volume de trafic par lien et par heure.
- Statistique des scores : Génère des statistiques basées sur les scores de chaque agent, à savoir le meilleur, le pire et le plan utilisé. Cela permet de suivre la progression de l'optimisation.
- Arrêt sur image : Cela aide à obtenir des informations sur la durée des étapes du processus de simulation (replanification, écriture des fichiers, exécution des flux de trafic,...)

3.3.2. Estimation de la demande en énergie

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, les véhicules électriques (VE) ont habituellement une faible autonomie par rapport à un véhicule à moteur à combustion interne (MCI) et nécessite davantage de temps pour restaurer l'autonomie. Par conséquent, lors de l'utilisation des VE pour l'autopartage comme prévu dans le projet, cela peut ne pas être suffisant de les recharger uniquement à domicile ou sur le lieu de travail, les VE doivent alors être rechargés également à des ePlateformes ce qui implique que les ePlateformes soient équipées d'une infrastructure de recharge comme des bornes de recharge et un raccordement au réseau électrique. L'objectif de l'estimation de la demande en énergie est de voir à quelles ePlateformes les VE doivent être rechargés et de donner une idée du dimensionnement des ePlateformes.

Comme nous l'avons vu dans l'introduction, les résultats de la simulation du trafic sont utilisés pour l'estimation de la demande en énergie dans chaque ePlateforme. Les données obtenues à partir de la simulation comprennent chaque trajet effectué par un VE entre ePlateformes ou ePlateformes et lieux de travail. Pour chaque trajet, sont donnés un identifiant (ID) VE du véhicule utilisé, la distance parcourue, le lieu de départ, le lieu de destination, l'heure de départ et d'arrivée. Ces données doivent dans un premier temps être prétraitées. Grâce aux informations concernant les lieux de départ/destination, les véhicules peuvent être dirigés vers les ePlateformes. Les heures d'arrivée et de départ au niveau d'une ePlateforme peuvent être déduites des heures de départ et d'arrivée des trajets. Grâce aux ID des VE, l'équipement technique tel que la capacité de la batterie ou la consommation moyenne de chaque VE peut être défini. Ainsi, en combinaison avec le niveau d'énergie à l'heure de départ et la distance parcourue, il est possible de calculer le niveau d'énergie de la

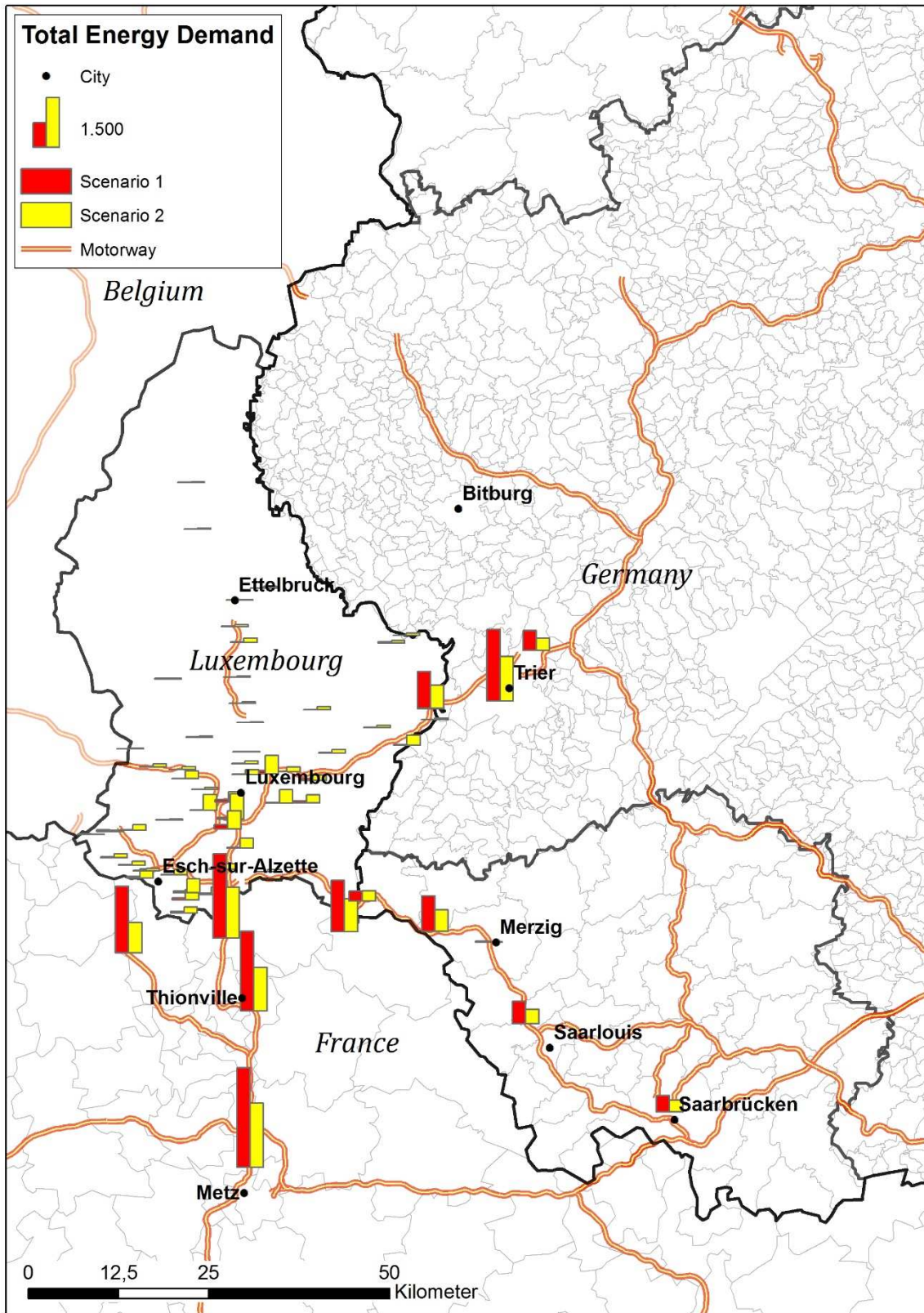
batterie à l'heure d'arrivée à l'ePlateforme finale. La détermination du niveau d'énergie de la batterie à l'heure de départ à l'ePlateforme de départ est une tâche plus difficile étant donné que cela ne dépend pas uniquement d'aspects techniques mais également des exigences des utilisateurs. Les utilisateurs peuvent demander un VE complètement chargé au début du trajet. Au moment de la préparation des questions de l'enquête, le groupe de travail a décidé qu'il n'était pas raisonnable d'inclure une question sur le niveau d'énergie souhaité à l'heure de départ d'un VE dans l'enquête dans l'action 1 du fait de la mauvaise distribution des véhicules électriques aujourd'hui. Aucune information n'est par conséquent disponible. En revanche deux scénarios ont été discutés. Dans le premier (dans la suite appelée scénario de charge 1 (SC1)), dans chaque ePlateforme, les véhicules sont seulement rechargés pour atteindre la destination suivante. Ces informations peuvent être directement déduites de la distance du prochain trajet et de la consommation électrique moyenne d'un VE. Dans le deuxième scénario (dans la suite appelée scénario de charge 2 (SC2)), les VE sont toujours chargés autant qu'il est possible de le faire pendant le temps passé à l'ePlateforme. Cela dépend du temps que les VE passent à l'ePlateforme, de la capacité maximum et de la technique de charge utilisée (Prise de type 1, prise de type 2, etc.). De plus, on suppose qu'au début de la journée, le niveau d'énergie des batteries est à son maximum étant donné que les véhicules sont chargés la veille. C'est également la raison pour laquelle les véhicules doivent être rechargés à la fin de la journée.

Pour tous les véhicules de la simulation, on suppose qu'il existe suffisamment de places de stationnement et de bornes de recharge dans chaque ePlateforme étant donné que l'objectif est de voir quelle est la demande si tous les utilisateurs doivent être satisfaits. Ainsi il serait possible de déduire par exemple du nombre de VE rechargés à une ePlateforme donnée le besoin en termes de nombre de bornes de recharge.

Pour tous les VE, un type de véhicule est pris en compte pour des raisons de simplicité, bien que l'outil de simulation soit capable de prendre en compte différents types de VE parallèlement. La capacité, la puissance de charge (prise de type 2 22kW) et l'efficacité de charge proviennent des données du constructeur d'une voiture compacte type.

La consommation électrique à chaque ePlateforme pour le SC1 et le SC2 est décrite à la figure 46. Manifestement, en utilisant le SC1, la demande en énergie dans les ePlateformes au Luxembourg est très faible tandis que la demande en énergie en France et en Allemagne est élevée. Cela confirme l'hypothèse que les VE sont rechargés pendant la nuit et que cette énergie est suffisante pour la plupart des VE pour couvrir les trajets effectués dans la journée. Lorsqu'ils arrivent dans les ePlateformes en Allemagne et en France le soir, ils sont complètement rechargés pour le lendemain. Par conséquent, la demande en énergie dans les ePlateformes proches des lieux de travail (c'est-à-dire au Luxembourg) est bien plus faible que dans ceux proches des lieux d'habitation (c'est-à-dire en Allemagne et en France).

Dans le SC2, la demande en énergie au Luxembourg est plus élevée par rapport au SC1 étant donné que de nombreux VE présentent de longues périodes où ils sont inutilisés aux ePlateformes pendant la journée et peuvent être rechargés pendant ce temps-là. De plus, la demande en énergie aux ePlateformes en Allemagne et en France est plus faible étant donné que les VE commencent leur trajet retour avec un niveau d'énergie plus élevé que dans le SC1.



© Göran Glauer & Felix Berkel, IMOVE & LRS, 2015

Stand: 04/2015

Figure 47 : Estimation des besoins énergétiques des eHubs (basé sur des données de simulation de circulation)

3.4. Schéma conceptuel de „eHub” management

3.4.1. Motivation

Dans la plupart des VE, l'énergie pour induire le mouvement est stockée dans les batteries des véhicules. Cette énergie provient principalement du réseau électrique. Ainsi, du point de vue du système d'alimentation électrique, les véhicules électriques peuvent être considérés comme une charge supplémentaire. Cependant, étant donné que les véhicules électriques sont mobiles, la demande en électricité est difficile à prévoir vu que les VE peuvent être branchés à différents endroits. De plus, la demande en énergie des VE est difficile à déterminer à l'avance du fait des circonstances imprévisibles liées au trafic, telles que détours, bouchons, fermeture de route. Il existe par conséquent un lien direct indissociable entre le trafic et l'exploitation du réseau électrique.

Un autre point à prendre en compte est que dans les scénarios de trajets quotidiens étudiés dans le cadre de ce projet, où les ePlateformes servent de plateforme pour changer de moyens de transport, de nombreux véhicules peuvent arriver à une ePlateforme en même temps le matin. Ils commencent alors à recharger leurs batteries simultanément. Cela peut entraîner de fortes demandes en électricité par les VE auxquelles les centrales électriques doivent répondre et qui sont indésirables de plusieurs points de vue. Un inconvénient majeur est que les puissances de charge élevées peuvent entraîner une exploitation temporaire des centrales électriques, ce qui est inefficace et peut entraîner des coûts élevés. Habituellement, un fonctionnement uniforme est recherché. Par ailleurs, des investissements importants dans le réseau peuvent être nécessaires car le système d'alimentation électrique doit être conçu pour répondre à ces charges élevées.⁵⁰ De plus, les fortes demandes en électricité des VE peuvent avoir une forte incidence sur la qualité énergétique dans le réseau électrique, comme des variations du voltage, harmoniques, etc.

De plus, la mobilité électrique offre la possibilité d'une mobilité respectueuse du climat avec l'utilisation d'une énergie renouvelable. La combinaison des sources d'énergie renouvelables et de la mobilité électrique est bénéfique à plusieurs égards. Les sources d'énergie renouvelables sont habituellement extrêmement volatiles et

50

K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, « The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid », IEEE Transactions on Power Systems, vol. 25, n° 1, p. 371–380, 2010.

une prédiction précise de l'alimentation en électricité est difficile. Les véhicules électriques peuvent absorber et stocker l'énergie générée en excès dans leurs batteries quand ils sont connectés au réseau via des convertisseurs qui peuvent adapter leur consommation électrique. L'autoconsommation d'une ePlateforme peut ainsi être augmentée et les pertes de transmission dans le réseau électrique peuvent être évitées. De plus, la puissance opérationnelle des véhicules électriques est produite avec une faible consommation en carbone par les sources d'énergie renouvelables, ce qui permet une performance environnementale améliorée des VE par rapport aux autres véhicules. Dans le cadre de ce projet, un objectif est de déterminer comment les énergies renouvelables peuvent être intégrées dans le concept d'ePlateforme.

Un autre aspect à prendre en compte est que dû à leur autonomie limitée, les VE doivent être rechargés non seulement au domicile mais également dans des aires de stationnement publiques, c'est-à-dire que des aires de stationnement nécessitent une infrastructure électrique complexe et coûteuse. Les VE sont habituellement branchés à une borne de recharge lorsqu'ils arrivent à leur destination et ne sont pas utilisés pendant une longue période ce qui implique que l'infrastructure de charge est également inutilisée pendant une longue période⁵¹.

Pour relever les défis de l'électromobilité découlant du concept de l'ePlateforme d'ELEC'TRA mentionné ci-dessus, un système de gestion est proposé. La structure du concept de gestion de l'ePlateforme devrait comprendre

- la gestion de l'eNergie,
- la gestion de l'eStationnement et
- la gestion de l'eFlotte.

À l'aide d'un système de gestion de l'eNergie, des puissances de charge élevées aux ePlateformes peuvent être évitées et les coûts d'infrastructure et d'exploitation du réseau électrique peuvent être réduits. Pour cela, il est primordial que les VE soient

51

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE), "Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf," Studie, avril 2010, <http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=21f73d14-ad26-4188-a62e-0793af440806>.

rechargés systématiquement, c'est-à-dire que la charge soit répartie dans le temps et que tous les véhicules ne soient pas rechargés en même temps. Ainsi les besoins en énergie des véhicules peuvent être satisfaits tout en maintenant à un niveau faible la demande en énergie. Les périodes habituellement longues où les VE sont inutilisés aux ePlateformes peuvent être exploitées et en rechargeant les véhicules de manière sélective la surcharge du réseau peut être évitée. En outre, une inclusion efficace des sources d'énergie renouvelables volatiles devient possible.

Afin d'accroître l'utilisation de l'infrastructure de charge, une expansion du système de gestion eNergie avec une gestion du stationnement peut être intéressante pour répartir les VE vers les lieux de stationnement en fonction de leur état de charge à l'arrivée et de leurs besoins techniques. Étant donné que la répartition des VE dans les espaces de stationnement est en rapport avec leur énergie et leur besoin en électricité, les systèmes de gestion de l'eNergie et de l'eStationnement doivent être combinés. Grâce à cette combinaison, il existe de plus grands degrés de liberté dans la gestion.

3.4.2. Méthodologie

Le plan de gestion global présenté ci-dessus se divise en

- gestion locale comprenant la gestion de l'eNergie et de l'eStationnement,
- gestion globale comprenant la gestion de l'eFlotte.

La gestion de l'eNergie et de l'eStationnement concerne le niveau local, c'est-à-dire qu'il existe dans chaque ePlateforme un plan de gestion locale traitant des aspects de stationnement et d'énergie dans cette ePlateforme. Ici les principaux objectifs sont la charge contrôlée des VE et le stationnement des VE en fonction de leurs exigences techniques.

La gestion de l'eFlotte a un effet au niveau global étant donné qu'elle prend en compte les flux de circulation entre les ePlateformes. Le principal objectif est la conception d'un service pour le transport intermodal.

Un aspect très important est bien sûr l'intégration des gestions locale et globale. Cette combinaison est nécessaire étant donné que les plans de gestion s'influencent l'un l'autre. Dans le cadre du projet, la gestion locale et la gestion globale ont été conçues séparément ; le plan de gestion locale par LRS et la gestion globale de l'eFlotte par LIST utilisant différents outils de simulation. Néanmoins un protocole

d'échange de données entre les plates-formes a été conçu dès le début de la réflexion du groupe de travail. Pour une gestion en ligne du plan de gestion intégrée, il y a une dépendance entre les plans de gestion, c'est-à-dire que les résultats de la gestion de l'eFlotte affectent directement les résultats de la gestion de l'eNergie et de l'eStationnement. Étant donné la durée limitée du projet, cela n'a pas pu être réalisé. Dans la recherche effectuée dans la suite, le plan de gestion locale reçoit des données de la gestion globale mais pas l'inverse. Une recherche détaillée pourrait être incluse dans un projet de suivi.

Un autre objectif majeur dans la conception du système de gestion est l'interopérabilité et la modularité du concept, c'est-à-dire que le concept est modulaire et évolutif et applicable indépendamment de l'emplacement et de la taille d'une ePlateforme. Le concept de gestion doit être facilement adaptable pour l'utilisation dans chaque ePlateforme et la combinaison de chaque ePlateforme. Par conséquent, il est possible d'étudier différents scénarios et d'analyser l'impact des ePlateformes sur la simulation du trafic. Cela peut également être utilisé pour la localisation des ePlateformes dans l'action 2. L'interopérabilité et la modularité du concept permettent même le transfert des concepts à d'autres régions que la Grande Région étudiée dans ce projet. Une description complète du concept pour la gestion de l'ePlateforme est présentée à la Figure 2. Notamment, par le fractionnement des plans de gestion en gestion locale et globale et l'introduction de l'échange de données, on aboutit à l'interopérabilité et à la modularité du concept.

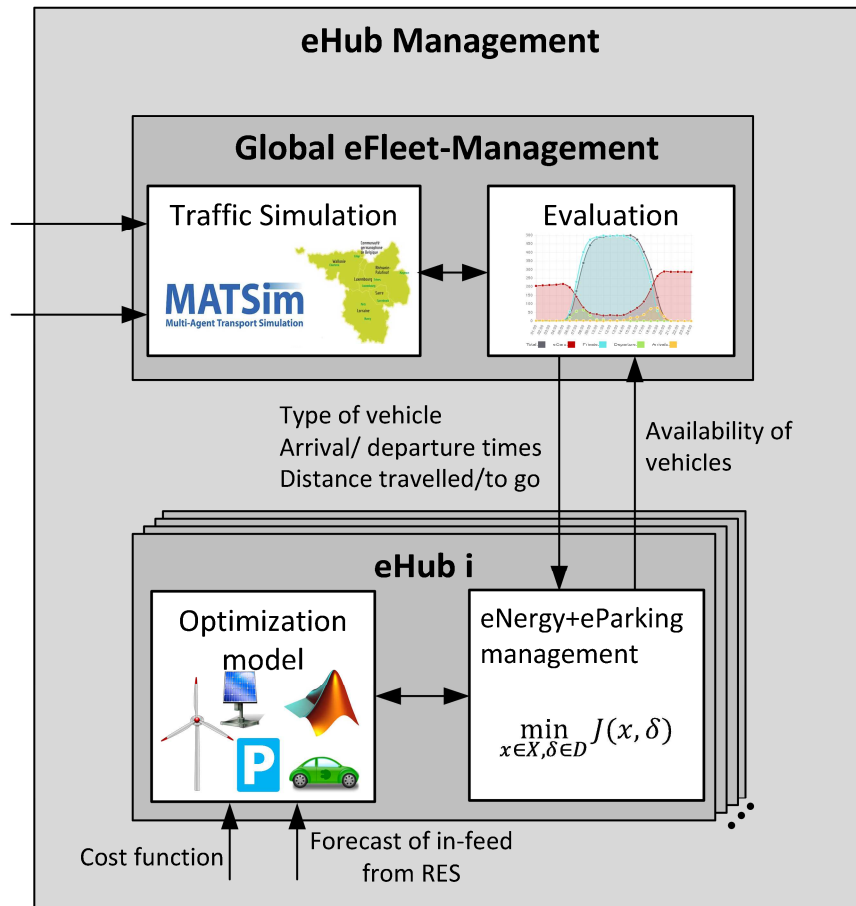


Figure 48 : Structure des eHub-Managements systems

3.4.3. Gestion de la e-flotte

Pour être efficace, la gestion de la flotte de véhicules électriques doit prendre en compte divers facteurs liés au véhicule (batterie, temps de recharge, etc.), à l'installation (énergie disponible, puissance installée) et au service (disponibilité des véhicules, coûts d'exploitation des véhicules et infrastructures, etc.).

Pour garantir la disponibilité des véhicules le gestionnaire de flotte :

- Gère la priorité de l'utilisateur
- Gère le taux d'occupation des infrastructures de recharge
- Optimise les coûts d'énergie

Pour réaliser cela, le gestionnaire de flotte a besoin d'utiliser un certain nombre de paramètres, par exemple :

- L'infrastructure de recharge (puissance maximale, contrat d'électricité signé, etc.)

- Les véhicules (type, classe, enregistrement, dates de d'entretien, âge/durée de la batterie, etc.)
- Les stations de chargement (nombre, puissance maximale délivrée, charges en cours, véhicules non connectés, etc.)
- Les utilisateurs (profil, nom, etc.)
- Le système de réservation (date et heure de départ et d'arrivée des véhicules, distances parcourues, ...)

Dans la plupart des cas, les trajets journaliers réalisés par les employés d'une entreprise sont inférieurs à 100, mais peuvent avoir des contraintes d'utilisation spécifiques :

- Les véhicules peuvent être utilisés à des moments qui peuvent être spécifiques (déplacement maison-travail, livraisons, etc.) ou aléatoires (à la demande, urgences, etc.)
- La distance parcourue par véhicule peut être courte (interventions ciblées, assistance à des pannes) ou très longues (véhicule utilisé par un commercial)
- Les départs des commerciaux peuvent être planifiés à l'avance ou en dernière minute.

3.4.3.1. Environnement de gestion de la e-flotte (eFMF)

Dans cette partie, nous décrivons l'environnement de gestion de l'e-flotte (eFleet Management Framework, eFMF), l'outil qui a été développé pour réaliser les tâches de gestion de la flotte de véhicules électriques. Par ailleurs, un des principaux objectifs de cet environnement est de montrer l'impact de l'utilisation du concept d'"eHubs". Comme le montre la figure 49, le eFMF est composé de trois éléments : le constructeur de scénario (chapitre 3.4.3.1.1), le simulateur de trafic (chapitre 3.4.3.1.2.) et l'analyse de données (chapitre 3.4.3.1.3.). Dans les chapitres suivantes nous expliquons plus en détails le rôle de chaque composant.

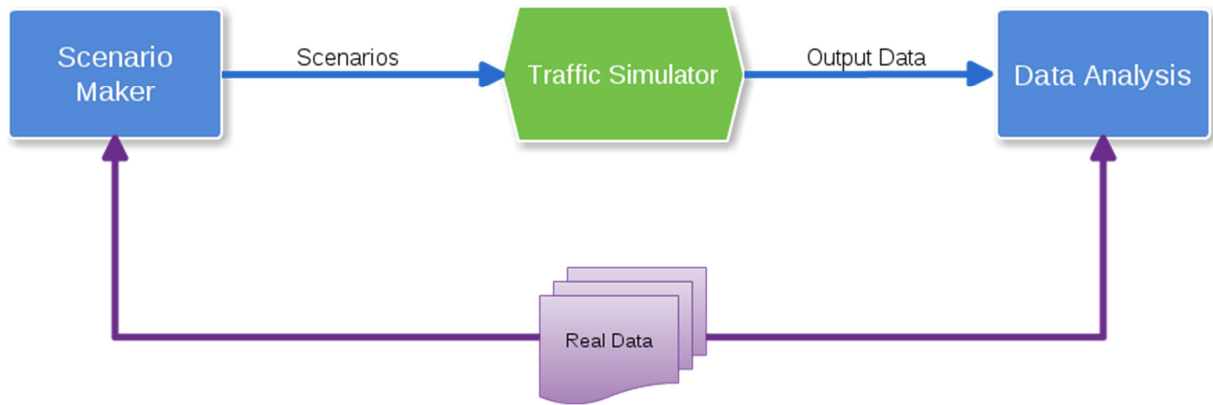


Figure 49. Environnement de gestion de la e-flotte

3.4.3.1.1. Constructeur de Scénarios

Dans cette partie nous présentons l'outil qui a été développé pour nous aider à construire des scénarios qui sont utilisés comme données d'entrée du simulateur de trafic. Avant cela, nous commençons par définir le scénario Elec'Tra.

A. Scénario ELEC'TRA

Dans Elec'Tra un scénario est défini par ensemble de localisations de "eHubs" (par coordonnées GPS) et un ensemble de paramètres liés à la simulation. Les paramètres les plus importants sont les suivants :

- Pourcentage d'utilisateurs potentiels maximum pour chaque axe.
- Temps de début/fin de la Simulation : le temps de départ par défaut est mis à 5:00, le temps de fin est 20:00.
- La distance maximale de marche : fixe la distance maximale qu'une personne acceptera de marcher sur son trajet, par défaut la valeur est fixée à 500 mètres.
- Distance maximale maison-"eHub" : donne la distance maximale qu'une personne acceptera d'effectuer en voiture/à pieds pour rejoindre un "eHub". La valeur par défaut est 15 km.
- Distance maximale eHub-travail : donne la distance maximale qu'une personne peut couvrir en marchant (ou en utilisant les transports publics) pour atteindre son lieu de travail à partir d'un "eHub". La valeur par défaut est de 5 Km.
- Déviation maximale : est l'écart maximal par rapport à ses trajets habituels qu'une personne peut accepter. La valeur par défaut est 20%.

La figure 50 décrit les cas d'utilisation que nous avons considérés dans ELEC'TRA.

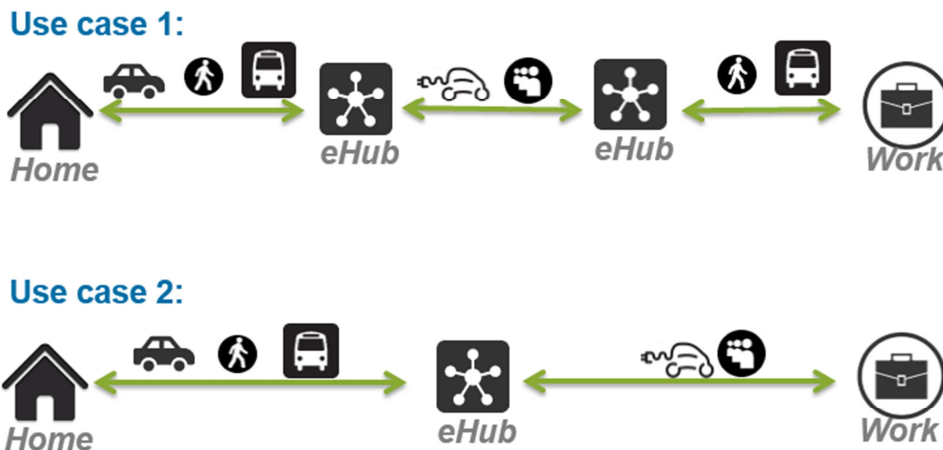


Figure 50 : Scénarios d'utilisation

B. Configurer un scénario

Un objectif important d'Elec'Tra est de définir le placement optimal des eHubs, ainsi que leur configuration (taille, besoin en énergie, etc.). Pour réaliser cela, nous avons développé un système d'aide à la décision (decision support system, DSS⁵²) qui est un outil collaboratif utilisant les résultats de la simulation pour optimiser de manière itérative le placement des "eHubs".

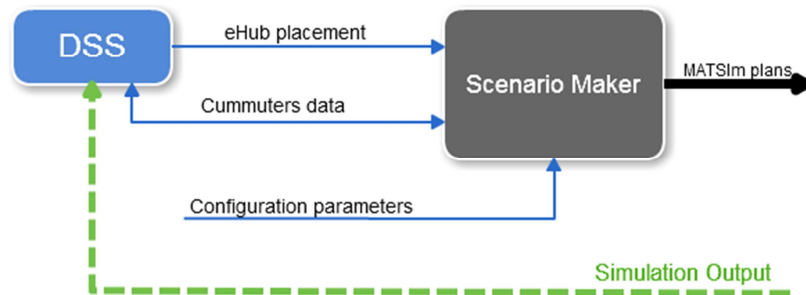


Figure 51 : Optimisation du placement d'un "eHub" utilisant un DSS

Comme présenté dans la figure 51, le DSS (qui fournit une interface graphique) utilise les données des navetteurs, ainsi que le résultat de la simulation pour choisir/mettre à jour les placements des "eHubs". Cette itération est répétée jusqu'à obtenir les placements optimaux. Le composant constructeur de scénarios est un

⁵² DSS : Decision Support System ; A **Decision Support System (DSS)** is a computer-based [information system](http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system) that supports business or organizational [decision-making](#) activities: http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system

ensemble d'algorithmes sophistiqués utilisés pour créer les fichiers plans de MATSim (voir chapitre 3.4.3.2.), le but étant de créer des groupes d'utilisateurs de covoiturage et d'autopartage en optimisant le nombre de voitures électriques utilisées.

Nous avons pris en compte les contraintes suivantes pour construire les groupes d'utilisateurs :

- Maximiser les utilisateurs satisfaits sans dépasser le nombre maximal d'utilisateurs potentiels
- Minimiser le nombre de voitures électriques nécessaires
- Assurer la "garantie de retour" : une personne utilisant Elec'Tra au trajet aller doit pouvoir retourner au même "eHub" de départ
- Une personne doit arriver à l'heure à son travail et ne peut quitter son domicile plus tôt que prévu (heure de départ minimale, issue de l'enquête)
- Une personne utilise l'"eHub" le plus proche de son domicile et de son travail, selon les paramètres de distances maximales (voir chapitre précédente)

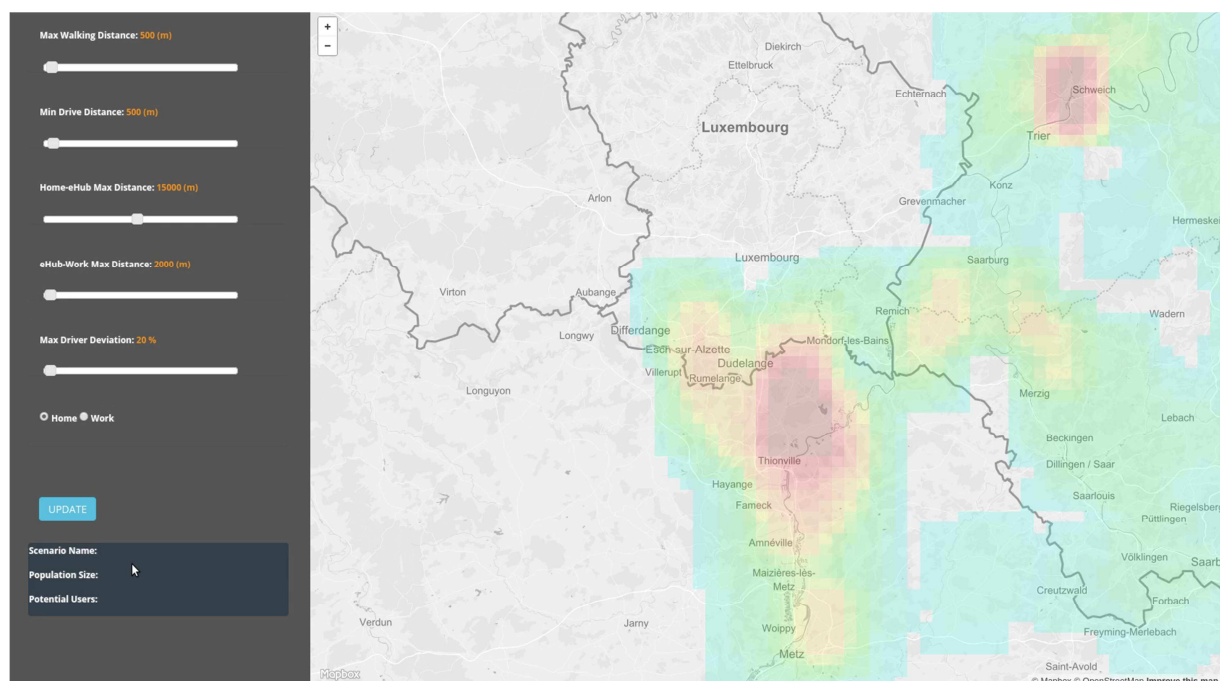


Figure 52 : Outil de construction de scénarios (Interface graphique du DSS)

3.4.3.1.2. Simulateur de trafic

Le but du composant "Simulateur de trafic" est de simuler le scénario créé à l'étape précédente (chapitre constructeur de scénarios). Pour réaliser cela, nous avons utilisé le simulateur de trafic multi-agent MATSim, qui a été adapté pour supporter les modes co-voiturage et autopartage. Par ailleurs, le modèle de simulation doit être capable d'intégrer un réseau et des populations réels, nous permettant ainsi de simuler des scénarios dans des conditions réelles.

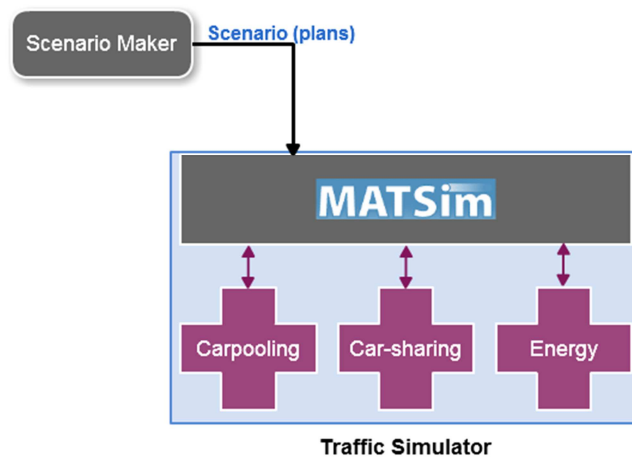


Figure 53 : Composant Simulateur de Trafic : Traffic Simulator Component diagram

Comme nous pouvons le voir sur la figure 53, trois nouveaux modules ont été ajoutés à MATSim pour supporter les nouvelles fonctionnalités :

- 2 Le module covoiturage (carpooling): Ce module permet à MATSim de considérer l'utilisation d'une voiture par plusieurs personnes, tout en garantissant le premier et dernier kilomètre.
- 3 Le module autopartage (car-sharing): Ce module aide MATSim à fournir des voitures à certains lieux de rendez-vous (eHubs) pour qu'ils soient partagés par des navetteurs.
- 4 Le module énergie: Comme nous traitons de véhicules électriques, ce module aide MATSim à intégrer les contraintes liées à l'énergie (autonomie, stations de chargement, temps de charge, etc.)

A. Le module covoiturage

Cette chapitre présente le nouveau module covoiturage qui a été ajouté à to MATSim pour supporter les voyages partagés par des utilisateurs. Nous commençons par introduire un nouveau concept, le voyage en covoiturage.

Un voyage en covoiturage est un trajet réalisé par un agent entre deux lieux (les points de départ et arrivée de la personne sont représentés par l'agent – maison et travail), où il prend et dépose des passagers. Un ou plusieurs passagers (limité par la capacité de la voiture) peuvent être pris ou déposés à ces points de collecte. Un voyage en covoiturage est réalisé par un seul conducteur et au moins un passager. Le module covoiturage permet de construire des plans avec plusieurs modes de transport incluant le covoiturage. Deux types d'agents ont été introduits par ce module, (i) le conducteur en covoiturage et (ii) le passager en covoiturage. Le conducteur commence un voyage en covoiturage d'un lieu de départ ("eHub" le plus proche du domicile) et visite les points de collecte un par un pour prendre ou déposer

des passagers en covoiturage (domiciles ou lieux de travail des passagers). Un exemple de voyage en covoiturage est présenté sur la figure 54, où nous pouvons voir un conducteur qui prend un passage au premier point de collecte et le dépose à un second point. Le conducteur termine son voyage en utilisant le métro. Grâce à ce module, MATSim est maintenant capable de traiter ce genre de trajets.

Entrée et sortie: Les voyages en covoiturage sont décrits dans un nouveau fichier d'entrée, utilisant la même structure que les fichiers plans de MATSim.



Figure 54 : Exemple de trajet en covoiturage

B. Module autopartage

Ce chapitre présente le nouveau module autopartage qui a été ajouté à MATSim. Deux types d'autopartage sont supportés par ce nouveau module (i) l'autopartage classique (S-CS, pour standard car-sharing) qui est conçu pour convenir aux personnes qui veulent louer des voitures sur des courtes périodes de temps (quelques heures) et rendre les voitures à un endroit spécifique, le jour même et (ii) l'autopartage libre (F-CS pour free car sharing) pour ceux qui veulent emprunter une voiture et être libres de la retourner n'importe quand et au lieu de leur choix. Un exemple de trajet en autopartage est donné par la figure 55.

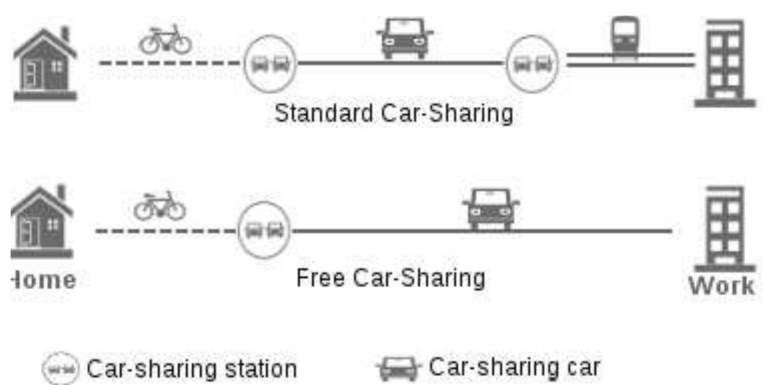


Figure 55 : Exemples d'autopartage standard et libre

Avec ce module les agents peuvent emprunter des véhicules à des stations d'autopartage prédéfinies et les rendre après leur trajet et éventuellement réaliser des activités complémentaires.

C. Le module énergie

Le module énergie permet au système de gestion de la e-flotte de prendre en compte des contraintes liées à l'énergie (voir chapitre 3.4.4.), en traitant des modes covoiturage et autopartage. Ce module assure en particulier la faisabilité des trajets au regard de l'autonomie des véhicules. Ce module s'occupe également de la recharge des véhicules.

3.4.3.1.3. Analyses et formatage des données

Le résultat du module de simulation de trafic est principalement un ensemble d'évènements décrivant la localisation de chaque agent ainsi que chaque action qu'il exécute à chaque unité de temps (milliseconde). En utilisant cet ensemble d'évènements, le module analyse de données est capable de générer les informations suivantes :

- Le plan journalier de véhicule (VDP, pour Vehicle Day Plan): il contient le plan de chaque voiture. Le plan représente les activités planifiées d'une voiture donnée (en route, en chargement ou en attente).
- Le flux de trafic des "eHubs": cela donne les mouvements de voitures électriques entre toutes les paires d'eHubs, et pour chaque unité de temps (milliseconde).
- Domicile/travail de chaque personne: informations sur les personnes qui utilisent ELEC'TRA.
- Statistiques générales: informations sur le nombre total de personnes satisfaites, le nombre de groupes de covoiturage et d'autopartage, les utilisateurs potentiels pour chaque axe, le nombre de voiture nécessaires, etc.

3.4.3.2. Configurations retenues et résultats de la simulation

Après plusieurs itérations d'adaptations collaboratives, en utilisant le constructeur de scénarios, nous avons retenues les configurations suivantes :

- Nous nous intéressons à 3 axes qui incluent des personnes qui vivent en France et en Allemagne, qui travaillent au Luxembourg et dont le domicile est suffisamment proche d'une autoroute (moins de 15 Km et 15 minutes). Ce sont les mêmes contraintes que celles utilisées pour notre enquête, résultant à 55.000 personnes sélectionnées. Le nombre d'utilisateur potentiels est différent selon l'axe considéré :
 - Axe 1 (Metz-Luxembourg): 9,1% d'utilisateurs potentiels
 - Axe 2 (Trier-Luxembourg): 11,4% d'utilisateurs potentiels

- Axe 3 (Merzig-Luxembourg): 10,4 d'utilisateurs potentiels
- 58 P&R existants au Luxembourg ont été utilisés et 10 nouveaux "eHubs" ont été créés (4 sur l'axe Metz-Luxembourg, 1 pour l'axe Trier-Luxembourg et 5 sur l'axe Merzig-Luxembourg). l'illustration 56 présente les emplacements des P&R et des nouveaux "eHubs".

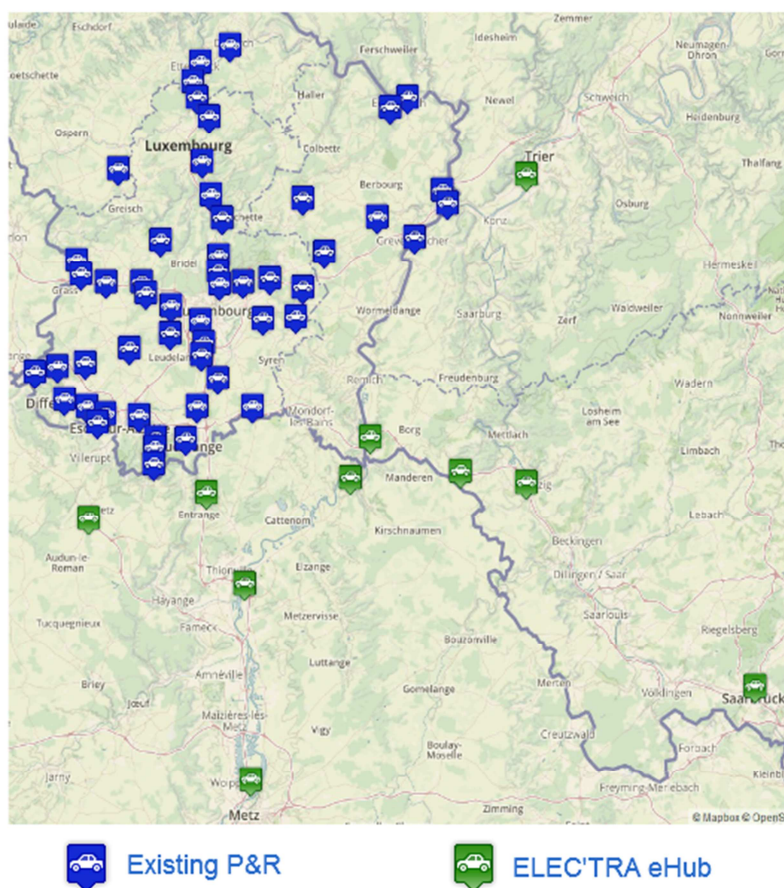


Figure 56 : Emplacement des P&R et eHubs

Comme l'indique le tableau 6, 4531 personnes sont satisfaites (8,23% de la population). Une personne est considérée satisfaite si elle est capable de partager un véhicule électrique pour les directions aller et retour (depuis le domicile au travail et du travail au domicile) tout en respectant les contraintes liées au temps de travail.

Tableau 6: Résultats généraux

Total d'utilisateurs satisfaits	4531
Groupes de covoiturage (aller)	1935
Groupes de covoiturage (retour)	2660
Utilisateurs axe Metz-Luxembourg	2747
Utilisateurs axe Trier-	1035

Luxembourg	
Utilisateurs axe Merzig-Luxembourg	749
Voitures électriques nécessaires	2225

Comme nous pouvons le voir sur la figure 57, plus une personne est proche de la frontière (du Luxembourg) plus la chance qu'elle soit satisfaite est élevée. Cela est dû, principalement, à deux raisons, d'abord parce que la concentration des navetteurs est naturellement plus forte près de la frontière, ce qui induit une plus forte demande, et deuxièmement parce que les personnes proches de la frontière parcourent des distances plus courtes que ceux qui habitent plus loin de la frontière, et ont donc plus de chance d'être à l'heure à leur travail et donc d'accepter la solution.

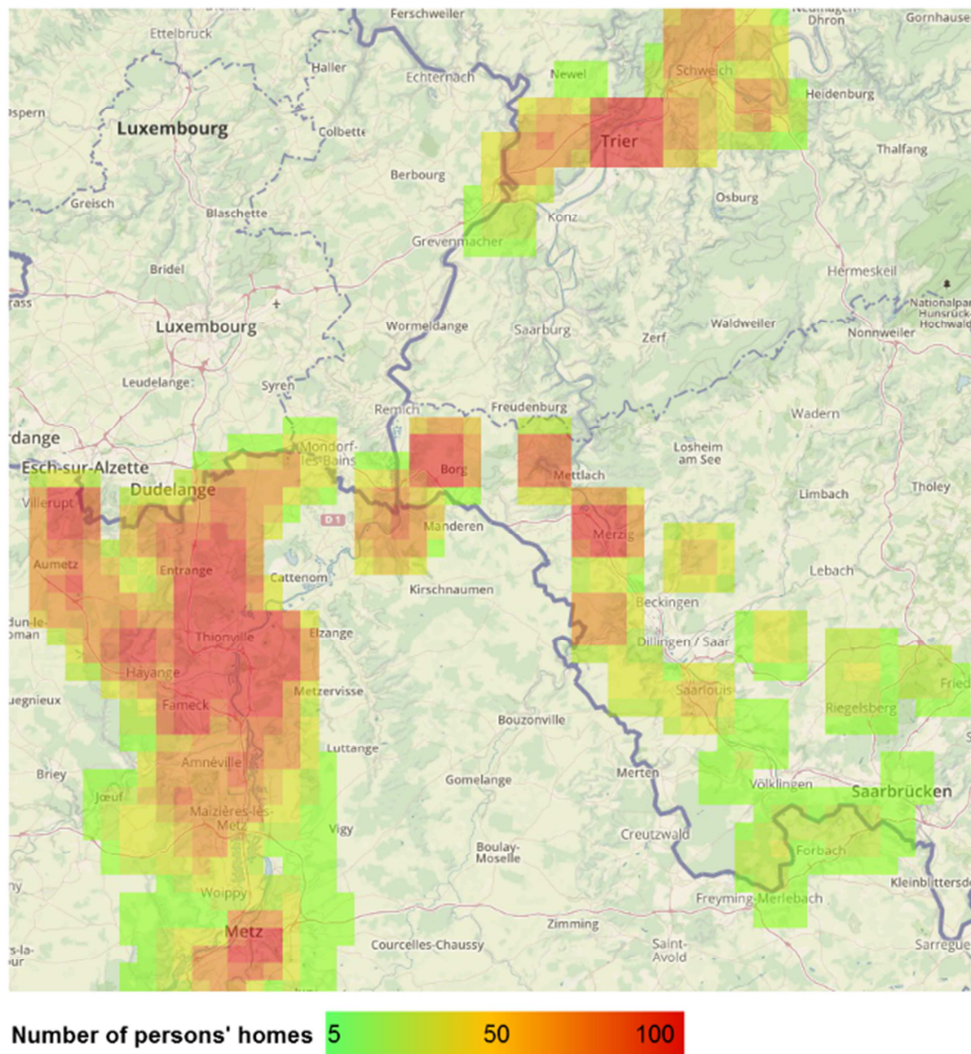


Figure 57 : Distribution des lieux d'habitation des personnes satisfaites

Le nombre de groupes créés dans la direction aller (domicile-travail) est significativement plus petit que dans la direction retour (travail-domicile). Cela peut s'expliquer par le fait que la plage horaire pour les départs est moins étendue que celle du retour, et il est ainsi plus facile de créer un groupe dans la direction aller que dans celle du retour. Par conséquent, plus de voitures électriques sont nécessaires pour assurer les retours. Ce constat peut aussi être vu sur la figure 58 où un exemple de flux de trafic de voitures électriques à l'«eHub» de Metz est montré. Cette figure présente le nombre de voitures électriques partant du «eHub» et y arrivant, ainsi que le nombre total de véhicules électriques garés. Notons que cet «eHub» a besoin de 210 voitures au début de la journée (pour être capable de satisfaire toutes les demandes du jour). En revanche, le nombre de véhicules garés à la fin de la journée est de 283, ce qui est dû aux raisons évoquées précédemment.

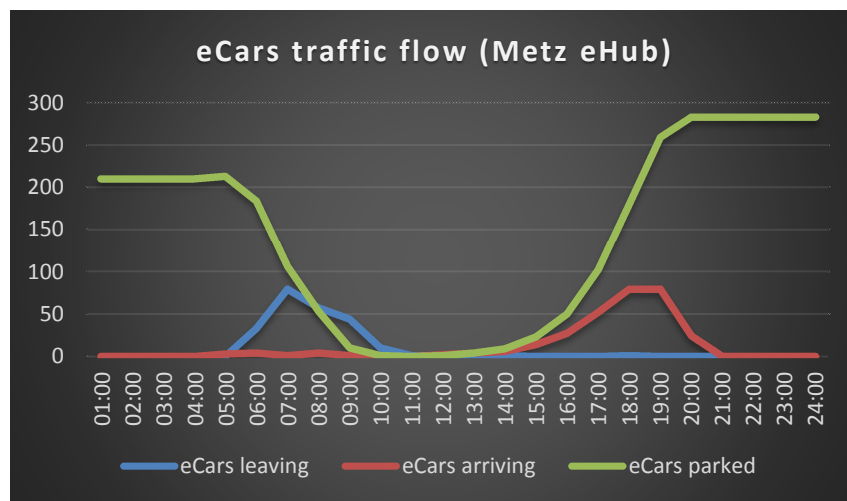


Figure 58 : Flux de trafic de véhicules électriques pour l'«eHub» de Metz

Comme montré sur la figure 59, le flux de trafic aux P&R de Luxembourg est complètement inverse et ce parce que les périodes d'arrivées des véhicules électriques au Luxembourg sont le matin et les périodes de départ, le soir. Ici encore, comme la période de retour est plus étendue que la période d'arrivée, ce P&R a besoin de plus de véhicules pour garantir l'étape de retour.

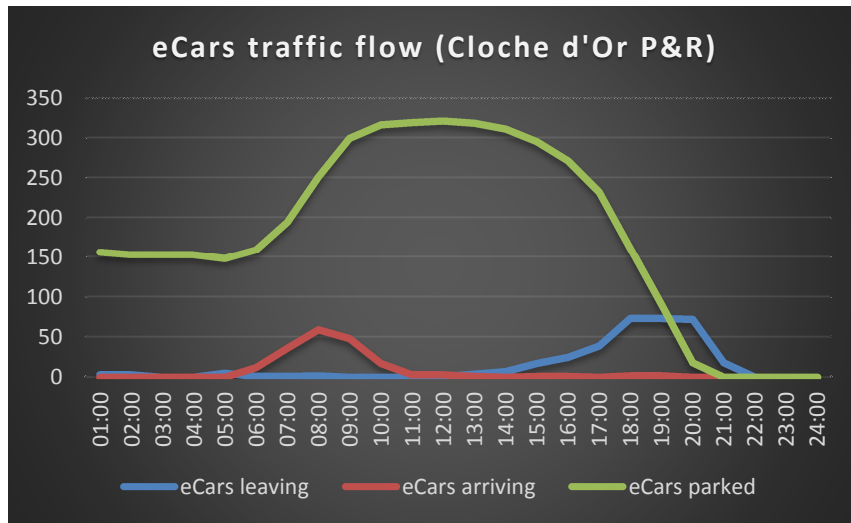


Figure 59 : Flux de trafic de véhicules électriques au P&R Cloche d'Or

Ce problème est connu comme le problème de relocation de véhicules (Vehicle Relocation Problem), qui est lié à la distribution des véhicules, à cause d'un déséquilibre possible entre la demande des utilisateurs et la disponibilité des véhicules ou les créneaux disponibles aux stations. Un tel problème est plus compliqué du partage de véhicules électriques, où les durées de trajet dépendent du niveau de charge des véhicules⁵³.

3.4.3.3. Impact d'ELEC'TRA sur le trafic

Pour démontrer l'impact d'ELEC'TRA, nous avons d'abord comparé les durées des trajets effectués par les navetteurs. Les résultats de cette comparaison sont présentés par la figure 60. Il est clair qu'avec ELEC'TRA nous avons obtenu, de manière significative, plus de trajets de courtes durées (moins de 20 minutes) et moins de longs trajets (plus de 30 minutes), et ce dans les deux sens (domicile-travail et travail-domicile). Cela montre clairement qu'avec ELEC'TRA les navetteurs prennent moins de temps pour atteindre leurs lieux de travail.

⁵³ Pour plus de détails : Maurizio Bruglieri, Alberto Coloni, Alessandro Luè, The Vehicle Relocation Problem for the One-way Electric Vehicle Sharing: An Application to the Milan Case, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 111, 5 February 2014, Pages 18-27, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.034>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814000354>)

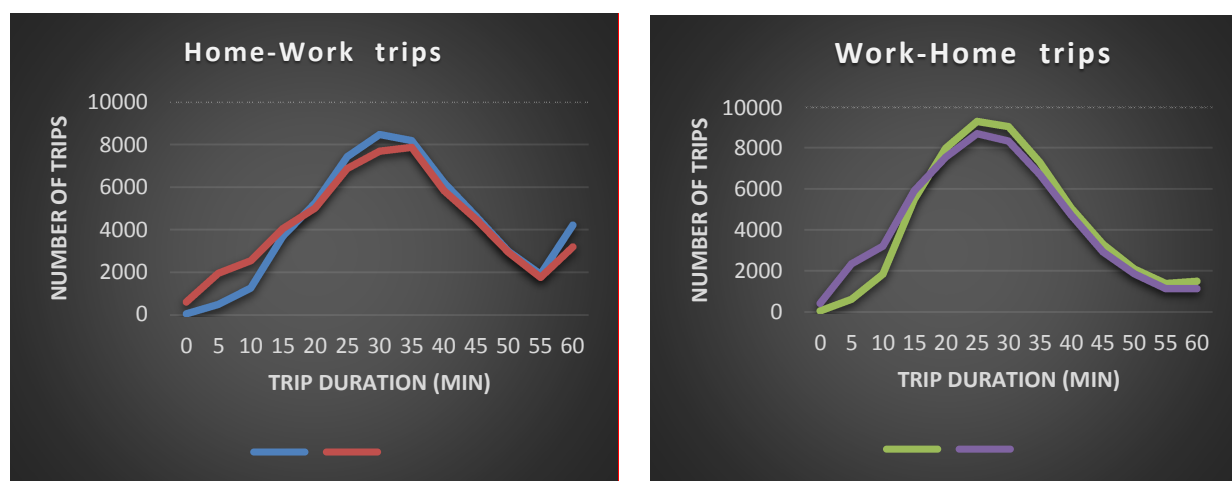


Figure 60 : Comparaison des durées de trajets (avec et sans ELEC'TRA)

Un autre impact positif d'ELEC'TRA est la réduction du nombre de véhicules. En effet, 4531 personnes sont satisfaites, ce qui implique une réduction du même nombre de véhicules puisque nous considérons que les personnes sont seules dans leurs voitures. Mais, d'un autre côté, avec ELEC'TRA, de nouvelles voitures (exactement 2225 voitures électriques) ont été ajoutées au réseau, ce qui signifie une réduction réelle de 2306 véhicules. La figure 61 montre la distribution de cette réduction dans le temps.

L'impact d'une telle réduction est certainement positif sur plusieurs aspects : économique, environnemental,... Dans cette étude, nous sommes intéressés par l'impact sur le trafic routier. Nous avons donc comparé la vitesse moyenne avant et après cette réduction. Les résultats montrent clairement que la vitesse moyenne a été améliorée de manière significative aux heures de pointe, La figure 62 donne un exemple de cette comparaison considérant les trajets Trier – Luxembourg.

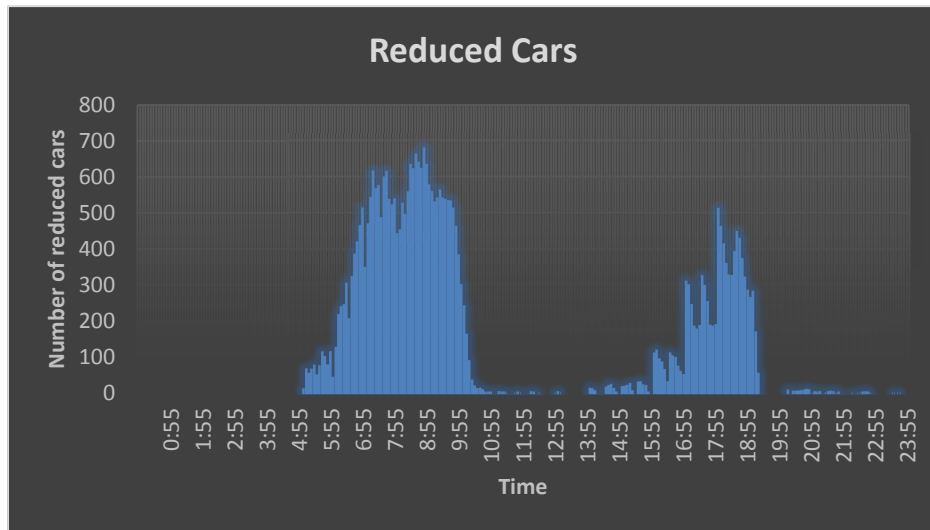


Figure 61 : Réduction du nombre de voitures sur le réseau complet

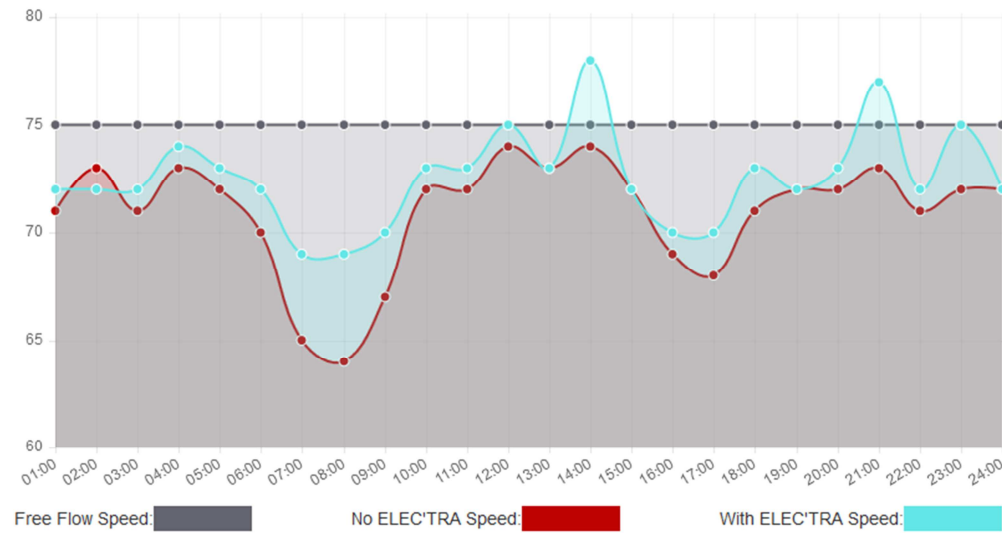


Figure 62 : Comparaison de la vitesse moyenne (cas des trajets Trier - Luxembourg)

3.4.4. eNergy- und eParking-Management

Comme déjà décrit dans l'introduction, la gestion de l'eNergie et de l'eStationnement constitue la partie locale dans la gestion complète des ePlateformes. Pour l'étude de la gestion locale développée, un environnement de simulation a été créé dans MATLAB/SIMULINK.

Au total deux méthodes différentes ont été développées :

1. La gestion intégrée du stationnement et de la recharge basée sur le changement de place de parking : dans le premier scénario on suppose qu'à une ePlateforme il y a des places de parking qui sont équipées d'une borne de recharge et d'autres qui ne le sont pas. L'objectif de l'approche est de garer les VE sur les places de parking en fonction du niveau d'énergie de leur batterie. Après un certain temps, les places de parking des VE peuvent être échangées afin de pouvoir recharger les autres VE dans la période suivante. La procédure est illustrée dans un exemple à la figure 63.

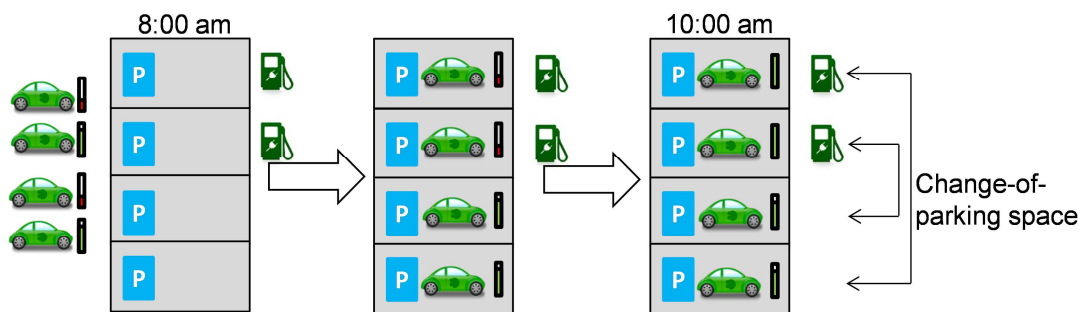


Figure 63 : Illustration de la méthode 1 exemplaire

Il y a quatre places de parking, deux d'entre elles équipées d'une borne de recharge. Les rectangles à côté des VE représentent leur niveau d'énergie. Quand un rectangle vert presque plein représente un niveau d'énergie élevé, un rectangle moins rempli en rouge représente un niveau d'énergie faible. A l'arrivée, les deux VE avec un niveau d'énergie faible sont garées en premier sur les places de parking équipées d'une borne de recharge. Les VE ayant un niveau d'énergie plus élevé sont garés sur les places de parking sans borne de recharge et les VE devant être rechargés peuvent être garés ensuite sur les places de parking possédant des bornes de recharge. Le problème peut être reformulé comme un type de problème d'affectation qui est bien connu en

économie.⁵⁴ De ce point de vue, les véhicules sont affectés à une place de parking. Notamment, le changement de places de parking demande du personnel et induit des coûts qui pourraient s'avérer non rentables. Toutefois, le concept est intéressant du point de vue de la recherche.

2. La gestion intégrée du stationnement et de la recharge avec une recharge planifiée : les procédures de stationnement et de recharge sont effectuées de manière séquentielle. Dans un premier temps, les VE sont répartis sur les places de stationnement et aux bornes de recharge en fonction de leur équipement technique et de leur niveau d'énergie à l'arrivée ou de leur heure d'arrivée. La place de parking d'un VE n'est pas modifiée ici. Dans un second temps, le processus de recharge est optimisé. Pour la gestion de la recharge, différents scénarios ont été pris en compte. Dans un scénario, une borne de recharge peut desservir plusieurs places de parking et la recharge est planifiée. Dans un autre scénario, il y a une borne de recharge distincte pour chaque VE. Les limitations de puissance totales aux ePlateformes ainsi que les limitations de puissance à différents points dans les ePlateformes (ex. aux transformateurs) peuvent être prises en compte dans la stratégie de gestion de l'énergie. Étant donné que cette configuration est conforme à l'état des connaissances, cette configuration est étudiée ci-après.

Toutes les approches développées peuvent être formulées comme des problèmes d'optimisation mathématique tels que des programmations quadratiques avec nombres entiers (PQNE), les programmations linéaires avec nombres entiers (PLNE) ou les programmes quadratiques (PQ) qui peuvent être facilement résolus à l'aide d'un logiciel standard d'optimisation. Une description plus détaillée des modèles utilisées dans le plan d'optimisation et de l'intégration des données de la gestion de l'eFlotte est donnée au chapitre suivant.

La suite du chapitre donne un aperçu de la modélisation des différentes composantes requises pour les plans de gestion, c'est-à-dire le modèle de batterie et la procédure de recharge. De plus, l'optimisation de la fonction objectif est introduite et les données d'entrée sont spécifiées. Du point de vue de la gestion de l'énergie et

54

H. P. Williams, *Model Building in Mathematical Programming*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., 1999.

du stationnement, l'énergie stockée dans les batteries et la puissance de charge des VE sont intéressantes. La relation entre elles peut être modélisée par un équivalent d'arrêt pour zéro ordre d'un intégrateur. Les pertes dues à la recharge peuvent être prises en compte dans le modèle par l'inclusion d'une efficacité de recharge dans le véhicule. Notamment, la limite inférieure de la puissance de charge est égale à zéro car seule la recharge des VE est étudiée dans ce projet. Une puissance de charge négative peut être interprétée comme une décharge de la batterie dans une application 'véhicule raccordé au réseau' [9]. Bien que l'outil puisse faire face à cela, ce n'est pas étudié dans la suite vu que les bornes de recharge actuellement disponibles ne sont pas équipées de mode 'véhicule raccordé au réseau'.

Bien entendu, chaque VE peut être rechargé uniquement dans l'intervalle de temps entre l'heure d'arrivée et l'heure de départ. Ainsi, la puissance de charge maximale permise est fixée à zéro hors de l'intervalle de temps. Entre temps, le VE peut être rechargé par une puissance allant de zéro à la puissance maximale possible. Les limites supérieures de la puissance de charge maximale permise sont limitées et dépendantes de la prise du véhicule et de la technique de recharge utilisée pour le VE. Dans ce projet, on part de l'hypothèse de charge filaire et que tous les VE sont rechargés avec une puissance de charge maximum de 22kW, ce qui correspond à une prise de type 2 qui est standard dans l'UE. L'utilisation des différentes techniques de recharge ou prises et donc des puissances de charge maximum est possible avec l'environnement de simulation mais n'est pas utilisée dans la suite pour des raisons de simplicité. Notamment, les simulations montrent que la puissance de charge maximum peut avoir une influence considérable sur la distribution de l'énergie entre les ePlateformes et les profils de puissance dans une ePlateforme. En général, on peut dire que les puissances de charge les plus élevées permettent un plus grand degré de liberté et donc de meilleurs résultats. D'autre part, cela peut induire des coûts d'infrastructure plus élevés. Une étude économique détaillée doit être réalisée par un opérateur potentiel, ce qui n'entre pas dans le cadre du projet.

En outre, le plan de gestion de l'énergie doit garantir que la demande de mobilité soit satisfaite, c'est-à-dire que les VE soient complètement rechargés à l'heure de départ. Connaissant le niveau d'énergie à l'heure d'arrivée et le niveau d'énergie souhaité à l'heure de départ, cela peut être assuré en satisfaisant aux exigences dans le problème d'optimisation, c'est-à-dire que la quantité d'énergie rechargée par le VE

entre l'heure d'arrivée et l'heure de départ doit être égale à l'énergie nécessaire pour obtenir le niveau d'énergie désiré.

Dans l'environnement de simulation développé, on peut étudier des scénarios où l'on suppose que se trouvent également à l'aire de stationnement d'autres consommateurs et SER, notamment des panneaux solaires. La demande en énergie des consommateurs ainsi que l'alimentation électrique à partir des SER ne peuvent ni l'une ni l'autre être contrôlées par le plan d'optimisation. La consommation énergétique des consommateurs est présentée en bleu à la Figure 64. Elle est tirée du profil de charge standard GO utilisé par les services publics allemands⁵⁵. L'alimentation à partir des panneaux solaires est décrite en violet à la Figure 63.⁵⁶ Étant donné que l'alimentation à partir des panneaux solaires dépend beaucoup de la météo, l'alimentation énergétique n'est pas une courbe régulière. Les deux courbes de puissance doivent être à l'échelle afin d'obtenir des données appropriées pour la simulation. Étant donné que tant l'alimentation énergétique que la consommation ne peuvent pas être influencées, elles peuvent être comptées du point de vue de la gestion énergétique comme puissance incontrôlable.

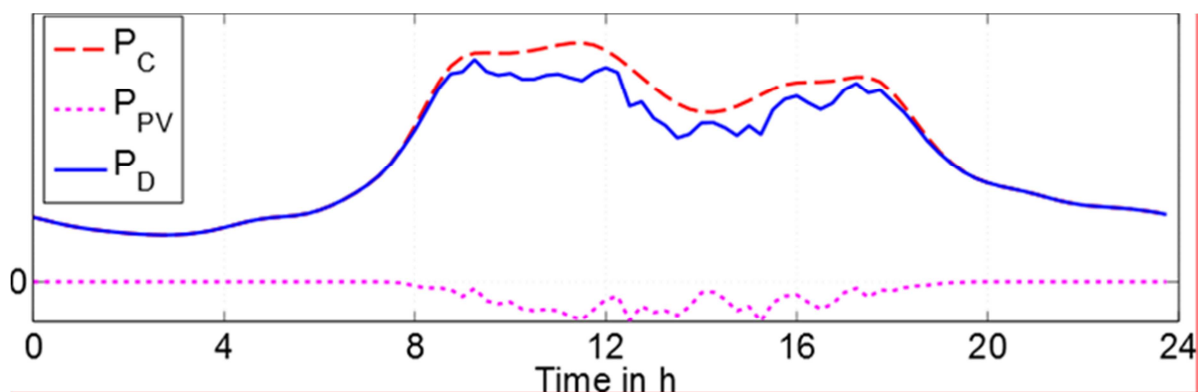


Figure 64 : La demande d'électricité des consommateurs et des sources d'énergie renouvelables

Ensuite, la fonction coût de la gestion énergétique est abordée. L'objectif global de la gestion énergétique est d'établir un profil de charge afin que la consommation électrique globale reste basse. Cela peut être obtenu en minimisant la fonction coût. L'objectif de l'optimisation peut également être décrit comme le « comblement des

55

BDEW, "Standardlastprofil," <http://www.eon-mitte.com/de/netz/veroeffentlichungen/strom/standardlastprofil-verfahren/standardlastprofil-2012> (Dernier appel 4 avril 2014).

56

SMA, "Sunnyportal," <http://www.sunnyportal.de/> (Dernier appel 4 avril 2014).

creux » étant donné que l'objectif est de recharger les VE au moment où la puissance incontrôlable est faible, c'est-à-dire « combler les creux » dans le profil énergétique des charges incontrôlables.⁵⁷ Le concept de comblement des creux est décrit à la Figure 65.

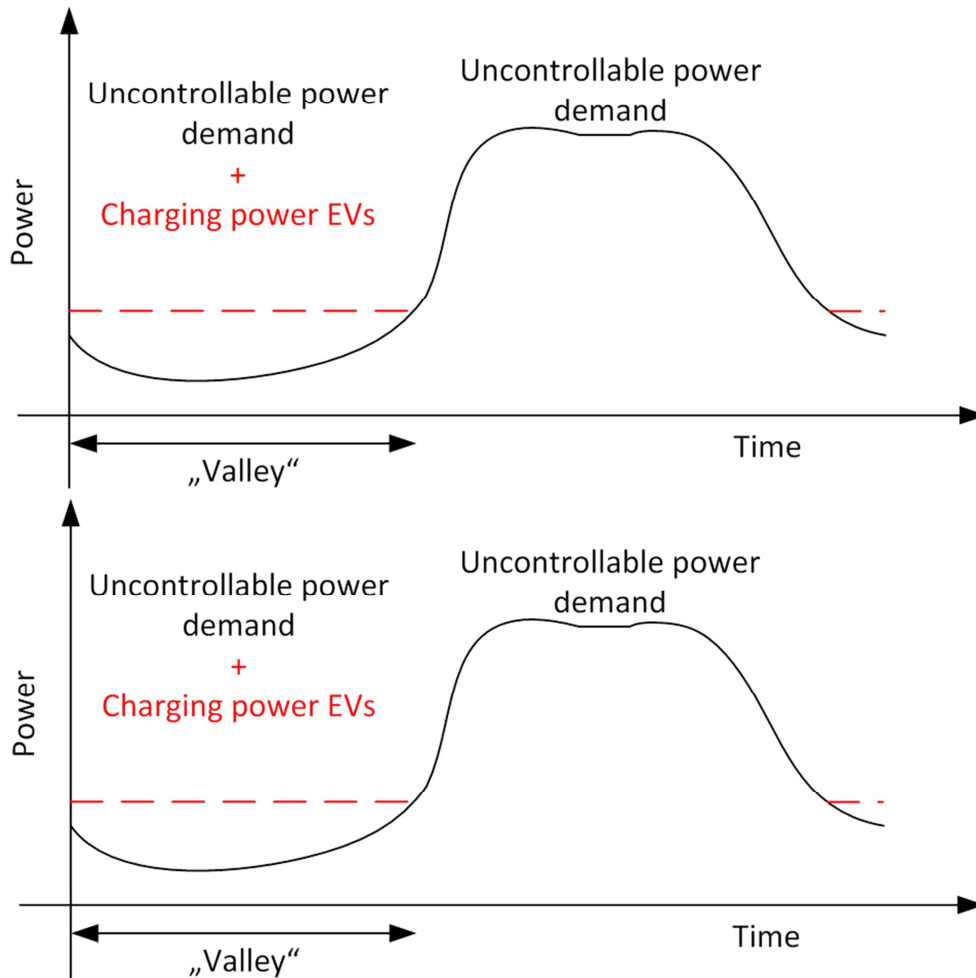


Figure 65 : Illustration d'idée du „Valley-Filling“

Le plan de gestion requiert des données supplémentaires qui sont listées ci-dessous :

Informations liées aux véhicules

- Types de véhicules (véhicule électrique, véhicule hybride, véhicule avec moteur à combustion)
- Classe du véhicule
- Capacité de la batterie
- Puissance de charge maximum
- Efficacité de recharge

Informations liées aux usagers quotidiens

- Heure d'arrivée/départ des véhicules à l'ePlateforme
- État de charge (SOC) à l'arrivée
- SOC souhaité au départ

Informations liées à l'électricité/puissance

- Demande d'énergie par les consommateurs situés à l'ePlateforme
- Puissance d'alimentation des sources d'énergie renouvelables
- Nombre de bornes de recharge
- Nombre de places de parking

La plupart des données peuvent être obtenues par la gestion de l'eFlotte. Le prétraitement pour la gestion de l'eNergie et de l'eFlotte peut être déterminé comme décrit aux chapitres 3.4.3. et 3.4.4. pour l'estimation de la demande en énergie à une place de l'ePlateforme.

Grâce au résultat du problème d'optimisation, un profil de puissance peut être déterminé. Ce profil de puissance peut être utilisé pour déterminer la puissance de charge maximum et la demande totale en énergie. Notamment, la gestion de l'eNergie et de l'eStationnement est utilisée ici en prévision mais elle peut également être utilisée pour le contrôle à horizon fuyant (CHF). Dans le CHF, le problème d'optimisation est résolu à chaque instant d'échantillonnage sur la journée complète mais seule la première entrée (profil de recharge) est appliquée. On peut ainsi obtenir une certaine solidité. Les mises en œuvre pour le contrôle des systèmes

électriques en application avec les véhicules électriques figurent par exemple en Berkel⁵⁸.

Un exemple pour les résultats de la simulation est présenté à la Figure 66. Une puissance négative signifie que la puissance est fournie au réseau tandis qu'une puissance positive signifie que la puissance provient du réseau. En bleu est présentée l'alimentation à partir des SER installée à l'ePlateforme étudiée. La puissance de charge des VE déterminée par le système de gestion incluant l'alimentation par les SER est présentée en rouge. La ligne verte montre la puissance de charge non optimisée plus l'alimentation par les SER. Les résultats du profil énergétique non optimisés sont créés en commençant le processus de recharge de chaque VE lorsqu'il arrive à l'ePlateforme et en l'interrompant lorsque la batterie est complètement chargée. La puissance de charge de chaque VE individuel est fixée à la puissance de charge maximum dans ce cas. La somme de ces profils de charge individuels constitue le profil présenté en vert. On observe que cela induit une demande accrue en énergie vu que la plupart des VE arrivent en même temps. La nuit, la consommation énergétique est égale à zéro.

Grâce à la recharge contrôlée réalisée par le plan de gestion, le profil énergétique obtenu est plus régulier et la puissance de crête est inférieure par rapport au profil de puissance de charge non optimisé. Dans le scénario étudié, une réduction de la puissance de crête d'environ 70% est obtenue. Le plan d'optimisation « comble les creux » de la puissance d'alimentation par les SER comme prévu dans la formulation de la fonction coût. Notamment, la demande en mobilité des usagers est satisfaite en

⁵⁸ Berkel, F. (o.D.) Hierarchische modellprädiktive Regelung von Smart Microgrids mit Elektrofahrzeugen, Diplomarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern

permanence.

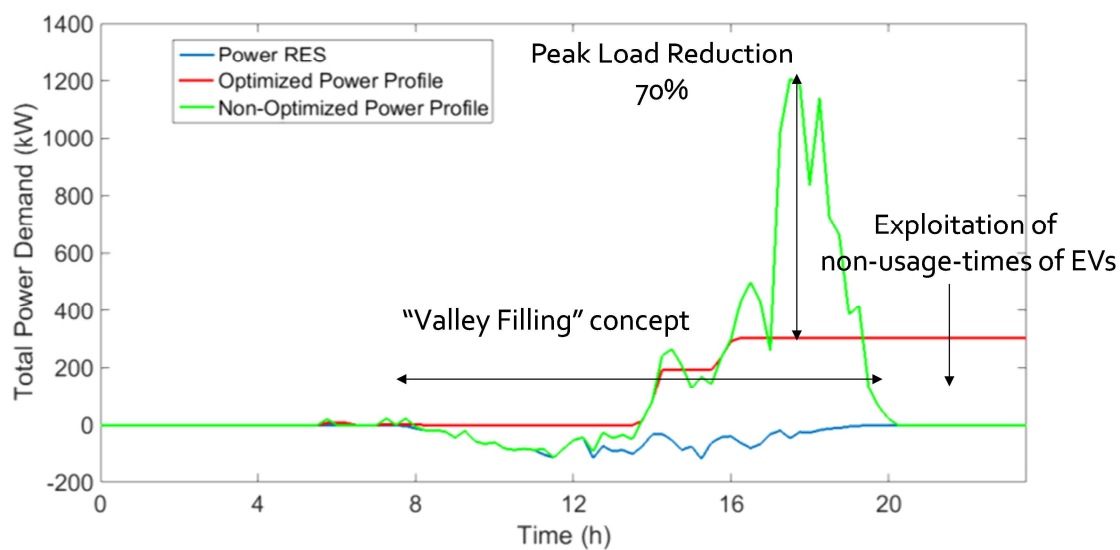


Figure 66 : La demande d'électricité exemplaire à un eHub (basé sur les données de simulation)

On peut également voir que la puissance maximum provenant du réseau est inférieure lorsque l'énergie est produite localement. Les pertes dans le réseau peuvent également être réduites, ce qui est plus économique. L'utilisation de SER pour la recharge est encore supérieure lorsque les VE se trouvent pendant la journée aux ePlateformes situées à proximité des lieux de travail. Ainsi l'installation de SER aux ePlateformes peut être bénéfique de plusieurs points de vue. Une étude économique n'est cependant pas incluse dans le projet.

3.5. Conditions cadres actuelles de la mobilité électrique

3.5.1. Allemagne

En Allemagne, les conditions cadres de la mobilité électrique peuvent être affectées à l'organisation, au droit, à la rentabilité, à l'écologie et à la politique.

L'objectif du gouvernement fédéral allemand est de devenir le principal offreur et marché de la mobilité électrique en immatriculant un million de voitures électriques d'ici 2020. Pour cette échéance, il envisage même d'utiliser 10% des voitures achetées ou prises en location dans les services fédéraux sous la forme de véhicules électriques émettant moins de 50g de CO₂ par km. De manière générale, le gouvernement fédéral allemand intègre au concept de véhicule électrique non seulement les voitures purement électriques mais également les véhicules

partiellement électriques comme les hybrides dont la capacité de la batterie est moindre mais qui permettent toutefois de parcourir au minimum 40 kilomètres en mode électrique.⁵⁹ Pour l'instant (état au 01.06.2015), la sphère politique n'a déployé aucun incitant monétaire à l'achat, p.ex. sous forme de crédits à taux préférentiels, en vue de cet objectif. La Loi sur la mobilité électrique (« Elektromobilitätsgesetz ou EmoG ») est cependant en phase de préparation. Son contenu doit permettre aux communes de privilégier les véhicules électriques. L'idée est d'ouvrir les bandes réservées aux bus à ces véhicules ou de réserver des emplacements de stationnement spéciaux aux véhicules électriques. Ces véhicules seront en outre exonérés de taxe de circulation durant dix ans à condition d'être immatriculés pour la première fois avant le 31.12.2015. Pour les véhicules immatriculés après cette date, l'exonération sera valable durant cinq ans. Pour ce qui est de l'infrastructure de chargement, il existe un consensus à l'échelle de l'UE, lequel se reflète à travers la « Directive sur le développement de l'infrastructure pour les carburants alternatifs » actuellement en cours d'élaboration.⁶⁰ Outre un système de rechargement uniformisé, elle prévoit également la garantie d'accès non-discriminatoires à l'infrastructure de chargement, lesquels peuvent également être utilisés de la même manière pour les Smart Grids⁶¹. Pour la mise en œuvre des objectifs, le gouvernement fédéral a lancé en 2010 la plateforme nationale de la mobilité électrique (« Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) ») assortie de son propre plan de développement.⁶²

En Allemagne, l'édification de points de chargement est à ce jour encore régi par la Loi allemande relative à la taxe sur l'électricité (« Stromsteuergesetz ») ainsi que les lois relatives aux routes départementales respectives (« Landesstraßengesetze »). En Rhénanie-Palatinat, l'Article 41 de la Loi relative aux routes départementales, volet utilisation spéciale, se penche sur l'édification de l'infrastructure de chargement.⁶³ Les communes peuvent également réguler et codifier le développement et la conception de l'infrastructure de chargement au moyen de concessions et réglementations. Les règlements urbanistiques des différents Länder,

⁵⁹ Cf. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/elektromobilitaet,did=575152.html> (consulté le 11.03.2015)

⁶⁰ Cf. ibidem

⁶¹ Le concept « Smart Grid » désigne un réseau électrique intelligent qui relie de manière décentralisée l'ensemble de ses acteurs/unités

⁶² Cf. et pour de plus amples informations: <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/nationale-plattform-elektromobilitaet/> (consulté le 11.03.2015)

⁶³ Cf. <http://landesrecht.rlp.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+RP+%C2%A7+41&psml=bsrlpprod.psml> (consulté le 11.03.2015)

qui reconnaissent également une utilisation spéciale par rapport à une utilisation communautaire, régissent en outre de manière plus détaillée l'édification de points de rechargement sur les emplacements de stationnement.⁶⁴

3.5.2. France

La mobilité est l'une des composantes essentielles de la transition énergétique et de l'avènement de la ville durable. Elle est à la croisée de plusieurs enjeux. Environnementaux tout d'abord, car le secteur des transports est le premier émetteur de CO₂ en France, avec 36% des émissions nationales. Au niveau de la qualité de l'air, les polluants atmosphériques représentent un enjeu sanitaire majeur. Or, en Europe, le secteur des transports est responsable d'une part importante des émissions de NO_x, de SO_x, de CO, de COV (composants organiques volatils) et de particules. L'enjeu est également économique. En effet, la France étant dépendante à 98,6% des importations pour sa consommation de pétrole, sa facture énergétique s'élevait à 68,7 milliards d'euros en 2012, dont 55 milliards pour le pétrole (Commissariat général au développement durable, Chiffres clés de l'énergie 2013, février 2014).

L'électromobilité en France a déjà une longue histoire puisque La Poste recourt à l'utilisation de véhicules électriques depuis le début du vingtième siècle et reste actuellement l'entreprise française la plus en pointe dans ce domaine avec l'objectif d'atteindre 10 000 véhicules électriques en 2015. Dès 1999, la ville de la Rochelle déployait Lisélec, le premier service d'autopartage urbain de véhicules électriques en France, à partir de véhicules électriques. Ce service existe encore et se trouve complètement intégré au système de transports publics de l'agglomération rochelaise. En 2009, dans le cadre du Plan National de Déploiement de la Mobilité Electrique un bonus écologique de 5 000 € à l'acquisition d'un véhicule électrique (porté à 7 000 € en 2012) était instauré.

⁶⁴ Cf. http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/DOWNLOAD/Fachkonferenz_Elektromobilitaet_vor_Ort_2014/Rechtliche_Rahmenbedingungen_fuer_Elektromobilitaet_in_Kommunen_-_Christian_Mayer.pdf (consulté le 11.03.2015)

En juillet 2012, dans le cadre du Plan de Relance de l'Industrie Automobile, les administrations françaises ont reçu un objectif d'équipement en véhicules écologiques de 25% à l'horizon 2020.

En janvier 2013, l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) lançait un Appel à Manifestation d'Intérêt destiné aux collectivités territoriales en faveur du déploiement des infrastructures de recharge pour véhicules électriques et hybrides rechargeables, doté de 50 millions d'euros dans le cadre des Projets d'Investissement d'Avenir. A la fin du mois de mai 2015, ce dispositif a permis de financer 43 projets à l'échelle d'agglomérations, de départements et de régions, autorisant le déploiement de plus de 13 800 points de charge sur le territoire national à l'horizon 2016. L'investissement total de 90,5 Millions d'Euros est financé à hauteur de 41,6 Millions d'Euros par l'ADEME.

La loi du 4 août 2014 en faveur du déploiement d'un réseau national d'infrastructures de recharge permettant le maillage territorial est venu compléter l'AMI de l'ADEME et a permis au groupe Bolloré, déjà opérateur du service d'autopartage de véhicules électriques Autolib à Paris, d'annoncer le déploiement de 16 000 points de recharge à l'horizon 2019.

La Loi de Transition Energétique votée en 2015 est venue renforcer l'ensemble des dispositifs existants, en instaurant notamment un super bonus écologique de 10 000 euros pour l'acquisition d'un véhicule électrique contre la mise à la casse d'un véhicule diesel de plus de 14 ans, et en portant à 50% la part de véhicules électriques, hybrides plug-in ou à très faibles émissions polluantes pour le renouvellement du parc roulant de l'Etat à partir de janvier 2017.

Au cours du seul mois d'avril 2015, plus de 2 000 véhicules électriques ont été immatriculés, les véhicules Renault Zoé et Kangoo représentant près de 75% des ventes. La France est actuellement leader européen dans la vente de véhicules électriques et dispose d'un parc roulant total de 61 000 véhicules.

3.5.3. Luxembourg

Le secteur du transport au grand-duché, par ses émissions de gaz à effet de serre et des autres polluants atmosphériques, sa consommation énergétique, son bruit ainsi que son impact sur la qualité de vie par la saturation des réseaux de transports, provoque plus qu'un autre secteur des répercussions négatives sur la société.

Afin de remédier à ces problèmes, il s'agit entre autre de trouver des moyens alternatifs de déplacement par les transports individuels motorisés tels que l'électromobilité. La promotion de l'électromobilité par le gouvernement poursuit trois objectifs concrets, à savoir la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la réduction de la consommation des carburants fossiles dans le secteur du transport, ainsi que la réduction du trafic individuel motorisé par la combinaison intelligente avec le covoiturage respectivement le car-sharing.

Dans le but d'obtenir le dernier objectif, le Ministère du Développement durable et des Infrastructures participe à « ELEC'TRA » et a aussi déjà participé à des projets similaires :

- Dans le cadre du projet « Nordstad eMovin », les communes de la Nordstad ont mis en place un système de car-sharing avec de voiture électrique. Outre les voitures électriques, des vélos à assistance électrique font aussi partie de l'offre du projet.
- Le projet « ZAC eMovin » a comme objectif la création d'un système de car-sharing à voiture électrique dans les zones d'activités autour de la ville de Luxembourg. Comme le nombre de places de travail dans ces zones a fortement augmenté et comme les dernières ne disposent pas toujours d'une connexion au transport en commun, la vocation du projet est de réduire le trafic généré par ces zones d'activités.

En ce qui concerne la subvention de l'achat de voitures à faible émissions de CO₂, le gouvernement a commencé en 2007 avec l'introduction d'une telle prime, nommée «CAR-e» et au cours des dernières années cette prime a été augmentée en même temps que les seuils maximaux d'émissions en CO₂ ont été baissés. En 2012, une prime de 5.000€ a été créée pour les voitures 100% électriques et les voitures hybrides « plug-in », dont les émissions de CO₂ ne dépassent pas 60 g/km. Cependant, il est important de mentionner que l'obtention de la prime était liée à une obligation de souscrire à un contrat de fourniture d'électricité verte issue à 100% de sources renouvelables. Fin 2013, le gouvernement a aboli les primes «CAR-e» pour

les voitures électriques et ceci au motif que le gouvernement envisage la promotion de l'électromobilité par la mise en œuvre d'une infrastructure publique de points de recharge plutôt que par la subvention de l'acquisition de voitures électriques.

Ainsi, il est prévu d'installer jusqu'en 2020 une totalité de 800 bornes de charge et comme chaque installation dispose de prises de recharge une totalité de 1.600 emplacements de stationnement pour voitures électriques sera créée. Afin de faciliter et de promouvoir les échanges vers le transport en commun, 400 bornes sont prévus pour les différents parkings relais (P+R) du pays. Les 400 bornes restantes seront installées sur des emplacements publics à proximité (<300m) des points d'intérêts majeurs dans les communes, comme par exemple les zones d'activité, les sites touristiques, les sites culturels et sportif, les hôpitaux, les commerces, les mairies et les administrations.

Pour l'installation de ces 800 bornes jusqu'en 2020, il est prévu de veiller à ce qu'une bonne répartition sur le territoire du pays soit garantie, de sorte que dans toutes les régions une infrastructure de charge secondaire soit disponible. Afin de garantir à ce que les emplacements de stationnement destinés à la recharge électriques soient réservés aux voitures électriques, le Code de la Route a dû être adapté.

4. Recommandations d'actions

4.1. Conclusions du projet

4.1.1. Principaux enseignements

Les enquêtes d'usage réalisées ont permis de recueillir les informations sur les modes de déplacement et les attentes de 7 500 personnes représentatives des 55 000 navetteurs concernés par sur les 3 axes convergent vers le Luxembourg.

A la suite de l'analyse des résultats de ces enquêtes et grâce aux simulations entreprises à partir des outils « eFleet Management », « eParking Management » et eEnergy Management », les principaux enseignements du projet ayant pu être dégagés sont les suivants :

1. Il existe un potentiel élevé de report vers les transports en commun

Il apparaît sans réelle surprise qu'une majorité de navetteurs n'utilisant pas les transports en commun souhaiteraient pouvoir y avoir recours si l'offre leur était proposée.

2. Il existe un potentiel élevé pour le covoiturage avec des solutions d'électromobilité

Aux questions portant sur l'intérêt possible des navetteurs pour des solutions de covoiturage en voiture électrique, un nombre élevé de navetteurs ont répondu être intéressés en alternative à l'utilisation individuelle de l'automobile ou au recours aux transports en commun. Ce résultat a permis d'évaluer à 4 531 personnes le potentiel d'utilisateurs d'un service de covoiturage en voiturage électrique sur les 3 axes convergent vers le Luxembourg et ainsi de pouvoir dimensionner les « eHubs » par zone géographique.

- Metz – Thionville – Luxembourg : 9,1% des navetteurs, soit 2 747 personnes
- Merzig – Luxembourg : 10,4% des navetteurs, soit 749 personnes
- Trèves – Luxembourg : 11,4% des navetteurs, soit 1 035 personnes

Sur la base d'un taux d'occupation de 2,34 personnes par véhicule, le nombre total de véhicules électriques nécessaires sur les 3 axes serait de 2 225.

3. Le nombre de véhicules électriques nécessaire sur un parc relais n'est pas le même le matin et le soir, du fait de la distorsion des horaires de départ et de retour

Il apparaît en effet que les horaires de départ des navetteurs de leur domicile vers leur lieu de travail sont relativement maîtrisés, mais que les horaires de retour sont plus fluctuants en raison des contraintes de la journée de travail. Il en résulte une distorsion dans le nombre de véhicules électriques nécessaires sur un même eHub le matin et le soir.

L'outil « eFleet Management » peut ainsi servir d'outil d'aide à la décision en indiquant le nombre de véhicules nécessaires le matin et le soir sur chaque eHub et permettre ainsi les ajustements de flotte nécessaires pour un opérateur de services de mobilité.

4. La proximité immédiate des eHubs aux accès autoroutiers et autres points nodaux est favorable à la fluidification du trafic

Le critère temps de trajet étant important pour les navetteurs, les simulations de flux de circulation montrent que la localisation des eHubs à proximité immédiate des grands axes de circulation contribue à la fluidification du trafic et par conséquent à la réduction des temps de trajet. Il faut toutefois remarquer que le succès attendu des eHubs pourrait également générer des bouchons par le biais de remontées de files sur les sorties d'autoroute donnant accès à ces eHubs, si le dimensionnement des bretelles et des ronds-points d'accès n'était pas adapté.

5. La mise en œuvre du service « Elec'Tra » avec le plein potentiel d'utilisateurs permettrait de réduire le nombre de voitures et ainsi de fluidifier la circulation

Selon la simulation l'utilisation du service de covoiturage en voiture électrique par l'ensemble des 9 à 11% de navetteurs concernés contribuerait à réduire d'environ 3 000 le nombre de voitures aux heures de pointe sur les axes vers le Luxembourg et augmenter ainsi la vitesse moyenne de circulation de 7 à 15 km/h selon l'axe de circulation.

4.1.2. Recommandations

Sur la base des résultats d'analyse de la plus grande enquête réalisée sur les navetteurs de la Grande Région et grâce à une approche scientifique et concertée, le travail d'analyse et de développement des outils de simulation conduit dans le cadre du projet permet d'effectuer des recommandations en matière de :

1. Localisation des eHubs par zone géographique suivant les axes étudiés

Sur la base de l'analyse des enquêtes d'usage, l'outil de simulation de flottes « eFleet Management » permet de déterminer par zone géographique le potentiel de navetteurs concernés par le service de covoiturage en véhicules électriques, et donc le nombre de véhicules électriques nécessaires dans cette zone. Ces véhicules peuvent être des voitures de 4 à 5 places ou bien des véhicules de transport routier électriques de plus grande taille si le nombre de navetteurs sur une même liaison à une heure donnée le justifie. L'outil de simulation de flottes « eFleet Management » permet également de positionner plusieurs eHubs de capacité moindre à différents endroits sur une même zone géographique afin de répartir les véhicules électriques en fonction des parkings disponibles.

2. Dimensionnement des eHubs en termes de nombre de places de véhicules électriques

L'outil de gestion du stationnement « eParking Management » permet de répartir les véhicules personnels des navetteurs et les véhicules électriques du service de covoiturage en fonction des emplacements disponibles et des besoins de recharge des véhicules électriques dans la perspective de leur déplacement suivant.

3. Quantité et gestion de l'énergie nécessaire par eHub

L'utilisation de flottes de véhicules électriques importantes en nombre implique une quantité d'énergie potentiellement élevée, nécessaire à la recharge de tous les véhicules. Afin d'optimiser cette quantité d'énergie sur un même eHub, l'outil de simulation « eEnergy Management » permet d'évaluer la quantité d'énergie utile au trajet suivant de chaque véhicule dans un principe de pilotage de charge intelligent. Les véhicules étant principalement rechargés la nuit, il apparaît que les eHubs côté

français et allemands nécessitent des ressources de recharge supérieures à celles nécessaires sur les eHubs luxembourgeois.

L'outil « eEnergy Management » est également tout à fait capable de prendre en compte et de gérer les sources d'énergies renouvelables.

4.1.3. Limites du projet

1. Interconnexion avec les transports en commun

Il n'a pas été possible de simuler l'interconnexion avec les transports publics du fait notamment de l'impossibilité de prendre en compte dans le modèle la flexibilité des navetteurs et les horaires des transports en commun. Ainsi, il n'a pas été possible de simuler comment les utilisateurs pourraient se déplacer du eHub d'arrivée en transports publics vers leurs lieux de travail. Ceci pourrait faire l'objet d'un complément d'étude dans une suite du projet et pourrait entraîner des ajustements de la taille des eHubs.

2. Absence d'une approche économique pour les services de mobilité électrique

Le format des enquêtes d'usage et le choix d'une approche technique de la problématique du déplacement des travailleurs frontaliers n'ont pas permis d'appréhender le modèle économique du déploiement d'un réseau de eHubs. Les résultats des enquêtes d'usage et des simulations nécessiteraient une concertation avec des opérateurs de mobilité et de gestion de l'énergie de l'ensemble des territoires concernés.

3. Flux de circulation à l'échelle de la Grande Région

Les enquêtes d'usage ont porté exclusivement sur les axes de circulation entre les territoires des partenaires du projet. Afin d'avoir une véritable visibilité sur les flux de circulation et les capacités de stationnement, notamment au Luxembourg, l'étude devrait être élargie aux territoires de la Grande Région non couverts par le projet Elec'Tra.

4.1.4. Les suites possibles du projet : un projet Elec'Tra 2 dans le cadre d'Interreg V-A Grande Région ?

Le projet de recherche Elec'Tra a permis de mieux connaître les usages des travailleurs frontaliers des territoires partenaires, ainsi que leurs attentes vis-à-vis d'un possible service de covoiturage en véhicules électrique complémentaire des transports en commun. Les outils de simulation développés, « eFleet Management », « eParking Management » et « eNergy Management », ont permis une approche pragmatique de la conception et du dimensionnement d'un réseau de « eHubs » pouvant répondre aux questions de recherche du projet.

Les suites du projet Elec'Tra pourraient s'insérer dans le cadre du programme INTERREG V-A Grande Région avec un élargissement aux territoires non associés au projet.

Un nouveau projet pourrait respecter les étapes suivantes :

- Compléter les enquêtes d'usages et optimiser les outils de simulation « eFleet Management », « eParking Management » et « eNergy Management »,
- Déterminer le cadre juridique d'un projet international de déploiement des eHubs,
- Identifier les sources possibles de financement à partir d'un modèle d'affaire à établir,
- Valider la connectivité avec les transports publics.

4.2. Retour d'expérience

En ce qui concerne les analyses et études examinées en début de document, nous avons constaté que les méthodes de prélèvement divergent fortement entre le Luxembourg, la France et l'Allemagne. De même, certaines bases de données, par exemple au niveau de la saisie des employés assujettis à la sécurité sociale ou de l'utilisation des transports publics existaient en Allemagne mais pas en France ou selon une autre méthodologie. Afin de garantir un relevé uniforme, une collaboration

d'ordre supérieur et transfrontalière plus intensive fut nécessaire dans le secteur public.

Le projet a connu des retards imprévus, parfois d'origine externe, que les deux prolongements permirent de combler à bien des égards. Durant la saisie systématique des études déjà existantes, il ne fut pas toujours immédiatement possible d'obtenir ces études ou ces rapports. Certaines procédures formelles durent être respectées et leur traitement a nécessité un certain temps.

D'autres retards se manifestèrent en lien avec l'enquête, notamment avec la préparation de cette dernière. La procédure d'appel d'offres a par exemple pris davantage de temps que prévu, essentiellement en raison de questions administratives et juridiques (propriété des données et évaluation transfrontalière). Le Luxembourg a en outre connu un changement de gouvernement à cette époque, lequel s'est accompagné d'une restructuration, ce qui a considérablement compliqué le travail des partenaires au projet luxembourgeois. De même, l'accès aux données IGSS fut uniquement possible au terme d'un processus de longue haleine. La garantie de l'ensemble des conditions relatives à la protection des données a revêtu une importance élevée pour l'ensemble des partenaires impliqués, ce qui a toutefois entraîné la traduction de l'ensemble des demandes et formulaires dans les langues nationales respectives ainsi que le contrôle supplémentaire des services juridiques. Après la réalisation de toutes ces étapes, le transfert des données IGSS à l'entreprise de sondage Infas a nécessité six semaines supplémentaires. Le processus de concertation lors de l'élaboration des questionnaires, des courriers, des fiches de protection des données ainsi que de la page d'accueil fut également très chronophage. Le libellé précis et la traduction (tous les documents durent être établis en deux langues) ont en particulier nécessité plusieurs semaines. Des événements imprévisibles comme la remise différée d'une semaine du courrier aux frontaliers français en raison de modalités de remise postales ont généré des problèmes supplémentaires.

Pour terminer, la préparation des éléments constitutifs de l'enquête a également induit des retards. Des modifications ultérieures furent nécessaires afin de satisfaire aux contrats et de permettre la poursuite du travail des partenaires au projet. Ce

retard fut essentiellement gênant pour l'action 3 car sa simulation se fonde sur les résultats de l'enquête analysés au préalable par iMove.

Les nombreuses raisons sous-jacentes aux retards ayant affecté le déroulement du projet se résument comme suit :

- Protection des données
- Documents multilingues, y compris les traductions
- Evénements externes imprévisibles et non influençables

Sources

1. Arbeitsgruppe „Statistik“ (2013) : Statistische Kurzinformationen 2013, S. 33 – In : Die statistischen Ämter der Großregion (Hrsg.) : Statistik Großregion
2. Balmer, M. (2007). Travel demand modeling for multi-agent transport simulations: Algorithms and systems (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
3. BDEW (2012): Standardlastprofile, <http://www.eon-mitte.com/de/netz/veroeffentlichungen/strom/standardlastprofil-verfahren/standardlastprofile> (zuletzt abgerufen am 4. April 2014).
4. Berkel, F. (2012): Hierarchische modellprädiktive Regelung von Smart Microgrids mit Elektrofahrzeugen, Diplomarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern.
5. BMVBS (2012): Elektrofahrzeuge als Ergänzung zu Bus, Bahn und Rad – Für wen ist integrierte Mobilität attraktiv?
6. BMWI (2015): <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/elektromobilitaet,did=575152.html> (Zugriff am 11.03.2015)
7. Bradley, M.; Bowman, J.; Griesenbeck, B. (2010): SACSIM: An applied activity-based model system with fine-level spatial and temporal resolution, *Journal of Choice Modelling*, Volume 3, Issue 1, Pages 5-31, ISSN 1755-5345
8. Bruglieri, M.; Colorni, A.; Luè, A: (2014) The Vehicle Relocation Problem for the One-way Electric Vehicle Sharing: An Application to the Milan Case, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 111, Pages 18-27, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.034>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814000354>)
9. Clement-Nyns, K.; Haesen E.; Driesen J.: „The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, *IEEE Transactions on Power Systems*“, Band 25, Nr. 1, S. 371–380.
10. CEPS (2012) : Die Mobilität der in Luxemburg beschäftigten Grenzgänger : Dynamik und Perspektiven - In : Schmitz et al : Les Cahier du CEPS/INSTEAD. Geographie und Entwicklung. Luxemburg
11. Fishwick, P. (1995): *Model Design and Execution: Building Digital Worlds* (1st ed.). Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA.
12. Gan, L.; Topcu, U.; Low, S. (2011): Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging, in *Proceedings of the 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC/EECC)*.
13. IGSS (2013): "Evolution du nombre de frontaliers (salariés et non-salariés) par commune de résidence", www.isog.public.lu (accessed 23 July 2013)

14. Kriszan, A; Nienaber, B. (2013): Entgrenzte Lebenswelten. Wohn- und Arbeitsmigration als Ausdruck transnationaler Lebensentwürfe im deutsch-luxemburgischen und deutsch-polnischen Grenzraum. – In: Raumforschung und Raumordnung, Jg. 71, H. 3, S. 221-232
15. Kumar, K. (2014): Development and Analysis of an Integrated Parking and Energy Management for Parking areas with Electric Vehicles, Masterarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern.
16. Lu, J. (2013): Entwicklung eines Energiemanagementsystems für Parkplätze mit Elektrofahrzeugen, Bachelorarbeit, FB Elektro-und Informationstechnik, TU Kaiserslautern.
17. MDDI (2012): Globale Strategie für eine nachhaltige Mobilität. Für Einwohner und Grenzgänger. Informationsbroschüre. S. 5 ff
http://www.mt.public.lu/planification_mobilite/1strategie_modu/Informationsbroschuere_MoDu.pdf (Zugriff am 23.07.2013)
18. MiD - Mobilität in Deutschland (2008): Alltagsverkehr in Deutschland
19. SMA (2012), Sunnyportal, <http://www.sunnyportal.de/> (zuletzt abgerufen am 4. April 2014).
20. Smith, L., Beckman, R. Baggerly, K.; [and others] (1995): TRANSIMS: Transportation Analysis and Simulation System. United States. doi:10.2172/88648.
<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/88648>.
21. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) (2010): "Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf", Studie, April 2010, <http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=21f73d14-ad26-4188-a62e-0793af440806>.
22. Von der Ruhren, S. et al.. (2003): <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/353986/> (accessed on 1 February 2015)
23. Wille, C. (2012): Grenzgänger und Räume der Grenze. Raumkonstruktionen in der Großregion SaarLorLux. S. 114 ff. – In: Gilles et al: Luxemburg-Studien. Peter Lang Verlag. Frankfurt.
24. Williams, H.P. (1999): Model Building in Mathematical Programming. Chichester, Großbritannien: John Wiley & Sons Ltd.

Annexe

Questions de recherche :

1. Où un eHub est-il porteur de sens ?

- Densité des lieux de travail et de résidence
- Quelle est la masse critique par rapport au « nombre d'utilisateurs » ?
- Où se trouve l'infrastructure actuelle ?
 - *électricité, transport, utilisation du sol/propriété*
- Quels sont les critères « minimaux » afin de localiser un eHub ?
- Quels sont les flux de circulation ?
 - Quantités
 - Rapports
 - Distribution dans le temps
- Quelles sont les données (secondaires) disponibles ?
 - Micro-recensement ? (*recensement par sondage*)
 - Frontaliers couverts par la sécurité sociale

2. Quels caractéristiques et services un eHub doit-il proposer ? Qu'est-ce qu'un design approprié ? (aspect technique, taille, ...)

- Quels sont les profils des utilisateurs/frontaliers ? (comportement)
- Pourquoi les personnes navettent-elles dans la région ?
 - Quelle est la motivation ?
 - Quels sont les problèmes ?

3. Quelles sont les attentes des frontaliers en termes de mobilité ? Quelles sont les « sensibilités » des frontaliers ? (Par exemple en termes de prix, de durée)

- Quels sont les avantages des eHubs ?
- Pousser et tirer les flux ?
- Comment accéder « au système » ?
 - Tarifs → combinaison
 - Qualité du service
- Comment garantir l'interopérabilité ?
 - *Action technique n°3*
 - *Design, fonctionnement, ... → action n°(1), 2*
 - *Quels sont les critères minimaux de l'interopérabilité ? (connexion, stationnement, ...)*
 - « *nécessité d'être conscient* »
 - *Comment coordonner les utilisateurs ?*
 - *Quels sont les éléments appropriés ?*
 - *Quels sont les éléments nécessaires ?*
- Comment rendre le réseau des eHub convivial ?

- 4. Quels sont les cadres « nationaux » ? (Plan politique, économique, organisationnel, juridique)**
- Quelles sont les restrictions? (utilisation du sol, environnement, ...)
 - Quelles sont les réglementations? (infrastructure, énergie, marché, opérateurs, sécurité, aspect financier)
 - Quelles sont les normes ? → Action n°3
 - Quels sont les stratégies/projets nationaux ? (mobilité électrique/ mobilité)
- 5. Quelles sont les principales parties prenantes et quels sont leurs principaux intérêts ? Qui sont-elles ? Quels sont leurs intérêts ?**
- Quelle est la chaîne de valeurs? (des eHubs)
 - Quels seront les investisseurs et opérateurs possibles ?
 - Qui seront les utilisateurs ?
 - Quel sera le groupe cible pour les enquêtes ? (pair/ groupe de focalisation)
 - Quelles sont les « pratiques d'excellence » ?
 - À l'échelle nationale
 - UE

Table 1: Aperçu des études examinées

Agence d'urbanisme et de développement durable Lorraine Nord (ohne Datum): Etude mobilité sur l'agglomération transfrontalière Alzette-Belval – Cahier 02 et 03
Agentur für Arbeit des Saarlandes (2010): Personalmanagement und Demografie. Was erwartet den Saar-Lor-Lux Raum?
Arbeitsgruppe Verkehr der Großregion (2008): Multimodale Verkehrsstudie im Raum der Großregion - 1. Phase
Bläser, R. & Wille, C. (2009): Grenzgänger im Großherzogtum Luxemburg. - in: Geographische Rundschau 2009, Heft 61, S. 36-42
Carpentier, S., [Hrsg.]; Bousch, P. (2010): Die grenzüberschreitende Wohnmobilität zwischen Luxemburg und seinen Nachbarregionen. – in: CEPS Luxemburg, Schriftenreihe „Forum Europa“, No.6
CEPS (2008): Cartographie de l'expansion de l'aire métropolitaine transfrontalière de Luxembourg
CEPS (2012): La mobilité des frontaliers du Luxembourg: dynamiques et perspectives
Conseil Général de la Moselle (2012): Moselle Nouvelles Mobilités : Assistance à maîtrise d'ouvrage pour la mise en oeuvre d'un projet de fluidification de la circulation sur l'autoroute A31 entre Metz et la frontière luxembourgeoise reposant sur les nouvelles mobilités et les véhicules électriques
CRP Henri Tudor / CEPS (2013): ZAC e-movin
Del Fabro, M. (2008): Berufsverkehr Trier-Luxemburg: Status Quo und mögliche Effekte diskutierter Maßnahmen auf die räumlichen Strukturen der Konkurrenzfähigkeit öffentlicher Verkehrsmittel im Bereich Kosten und Erreichbarkeit (Diploma Thesis)
EURES Transfrontalier Saarland-Lothringen-Luxemburg-Rheinland-Pfalz (SLLR) (2005): Mobilitätsreport Saar-Lor-Lux, Rheinland-Pfalz
Eurodistrict SaarMoselle (2010): ÖPNV in der Metropole Saarbrücken-Moselle Est - Analyse des heutigen Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage
Eurodistrict SaarMoselle (2011): ÖPNV in der Metropole Saarbrücken-Moselle Est. Verkehrsplan
IEE - Intelligent Energy Europe (2011): Project MoMo (More options for energy efficient mobility through Car-Sharing)
Institut für angewandte Sozialwissenschaft (INFAS), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (2010): Mobilität in Deutschland 2008 (MiD 2008) - Ergebnisbericht
juwi, GIP AG, Frosys GmbH, IWES, iMove (2011): „Stromparkplätze für Elektrofahrzeuge – Konzepte, Prüfstand und Pilotanlage“
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2012): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – wissenschaftliche Begleitung und erste Auswertungen. Alltagsmobilität und Tankbuch
Kompetenzzentrum Ländliche Mobilität (2013): Project InMod - Elektromobil auf dem Land
Koordinierungsausschuss (KARE) der Großregion (2013): Vorrangige Verkehrsprojekte im Hinblick auf die metropolitane Entwicklung der Großregion
Löh, C. (2011): Wer sind die Grenzgänger der Grossregion?
MDDI (2008): SMOT – DIAGNOSTIC SOCIOECONOMIQUE ET ANALYSE DE LA MOBILITE TRANSFRONTALIERE
MDDI (2011): Etude technico-économique pour la mise en oeuvre nationale de l'électromobilité au Luxembourg
MDDI (2012): La centralité urbaine au Luxembourg: analyse et perspectives

MDDI (2012): Regionales und grenzübergreifendes P+R-Konzept
MDDI (2012): Stratégie de mobilité « MoDu »
Verkéisersverbond / MDDI (2012): Optimierung des Regionalbusnetzes im Großherzogtum Luxemburg
Verkéisersverbond (Cdt) (2013): Plan de mobilité Kirchberg et Plan de mobilité Belval
Wille, C. & Ohnesorg, S. (2005): Grenzgänger und grenzüberschreitender Arbeitsmarkt in der Großregion

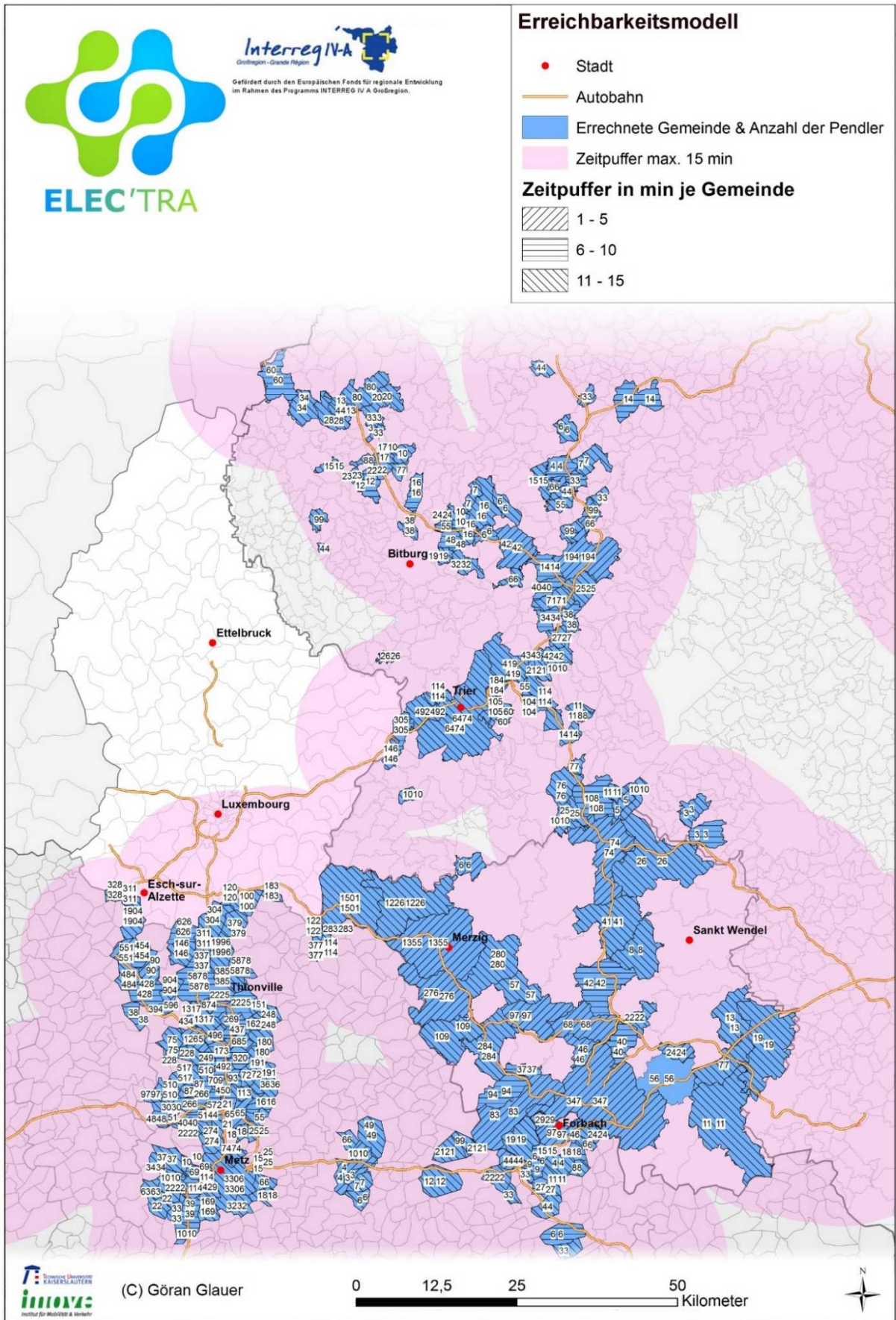


Figure 67 : Modèle d'accessibilité

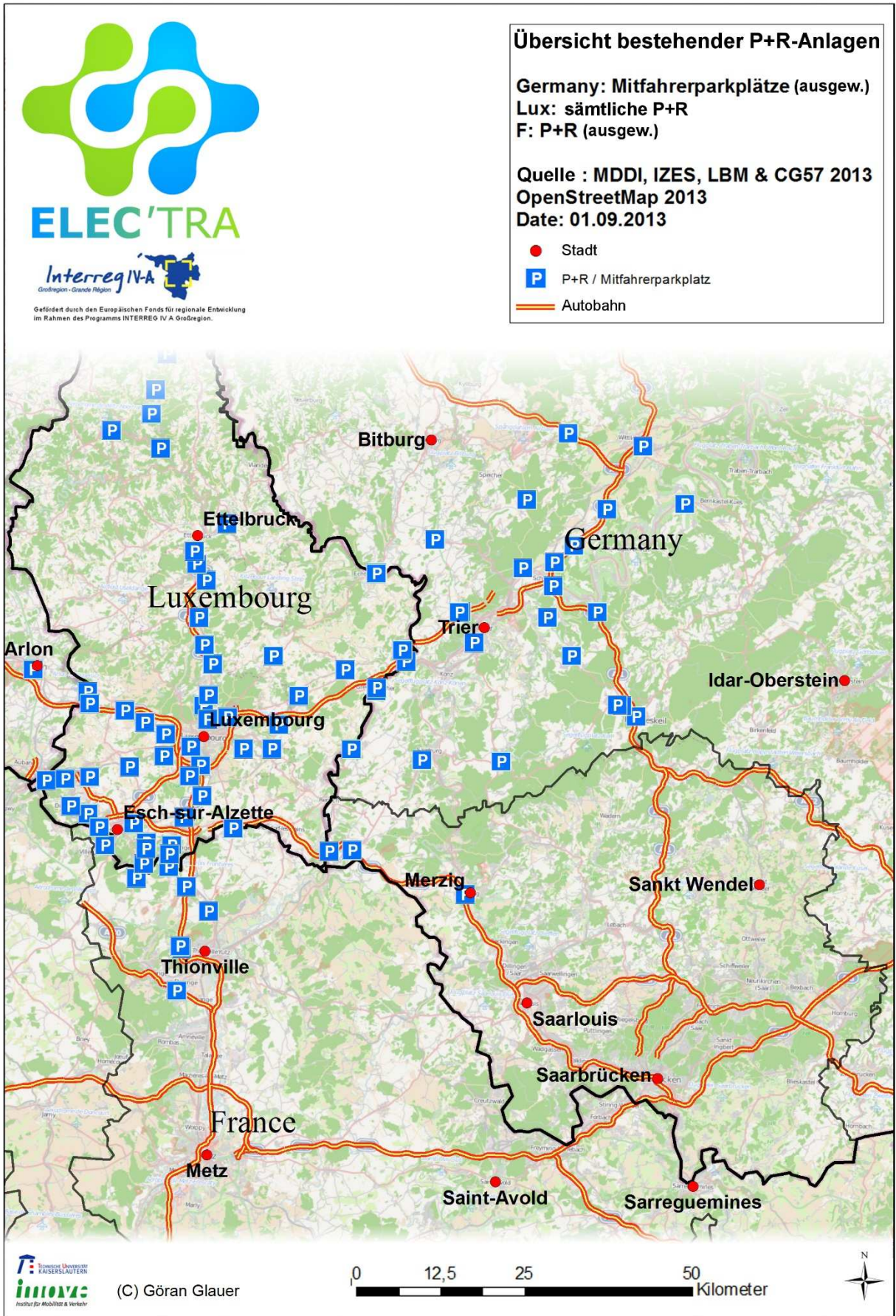


Figure 68 : Données secondaires: localisation des P+R

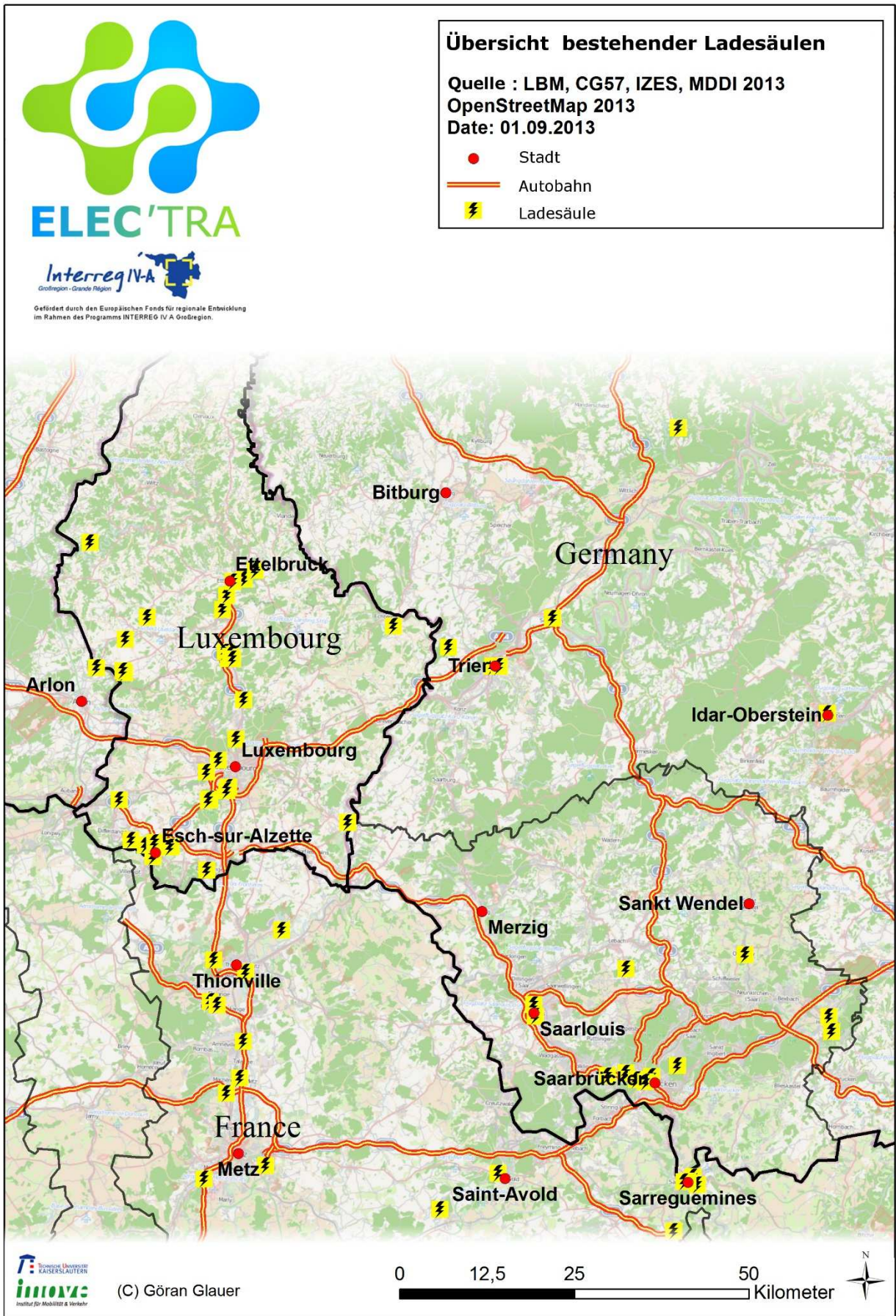


Figure 69 : Données secondaires: Bornes de recharge

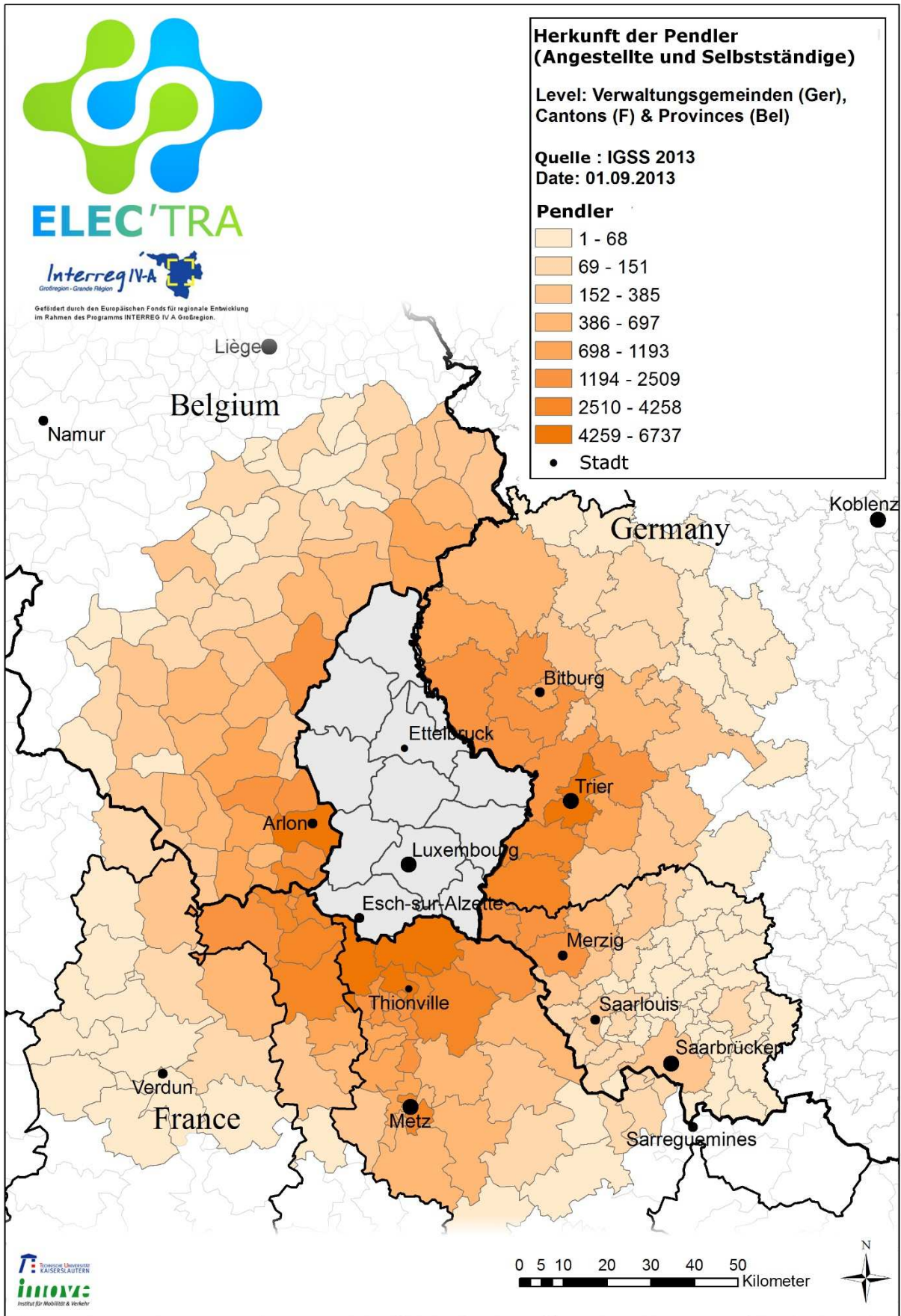


Figure 70 : Données secondaires: Les résidences des navetteurs d'après l'IGSS

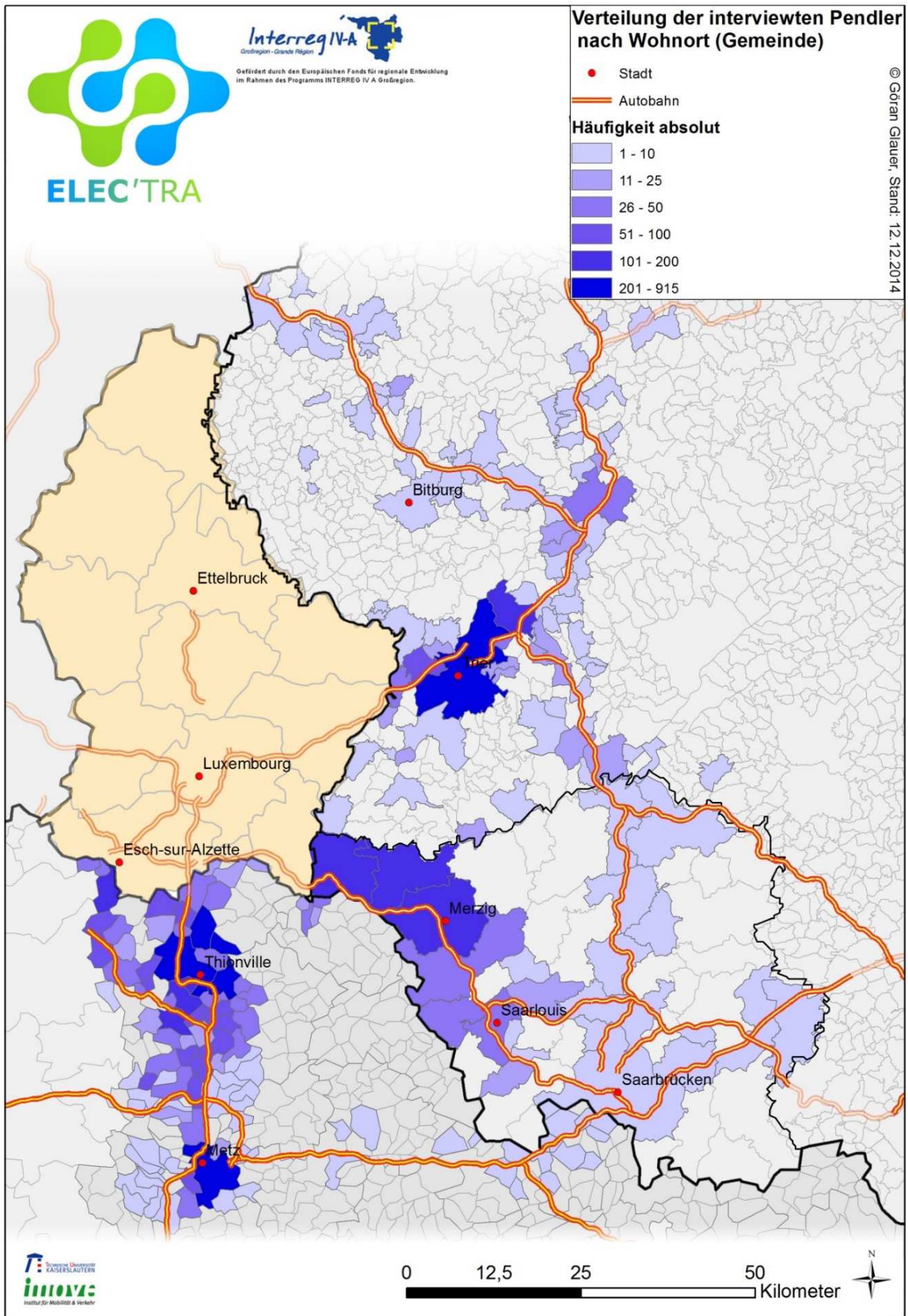


Figure 71 : Distribution des navetteurs questionnés d'après leur lieu de résidence