



HAL
open science

Propositions méthodologiques pour l'évaluation de l'introduction du "véhicule autonome" au niveau local

Lucile Buisson

► **To cite this version:**

Lucile Buisson. Propositions méthodologiques pour l'évaluation de l'introduction du "véhicule autonome" au niveau local. Infrastructures de transport. Université de Lyon, 2022. Français. NNT : 2022LYSET001 . tel-03667957

HAL Id: tel-03667957

<https://theses.hal.science/tel-03667957>

Submitted on 13 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N°d'ordre NNT : 2022LYSET001

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
opérée au sein de
l'École Nationale des Travaux Publics de l'État

École Doctorale Sciences Sociales 483

Géographie, Aménagement, Urbanisme

Soutenue publiquement le 14/01/2022, par :
Lucile Emilie BUISSON

**Propositions méthodologiques pour
l'évaluation de l'introduction du « véhicule
autonome » au niveau local**

Devant le jury composé de :

M. MIGNOT Dominique, Chercheur HDR, ICPEF, Université Gustave Eiffel, Président

Mme AGUILÉRA Anne, Chercheure HDR, IDTPE, Université Gustave Eiffel, Rapporteuse

M. VIDAL Philippe, Professeur des universités, Université Le Havre Normandie, Rapporteur

Mme PLOTTU Béatrice, Maître de Conférences HDR, Agrocampus Ouest, Examinatrice

Mme GOUGET Nathalie, Chargée de recherche, R&D Renault, Co-encadrante de thèse

M. NICOLAS Jean-Pierre, Directeur de recherche CNRS, ENTPE, Directeur de thèse

Remerciements

Je remercie tout d'abord naturellement les deux établissements ayant accueilli la réalisation de ce travail de thèse, à savoir la Direction de la Recherche de Renault, dite DEA-IRM, à Guyancourt, qui l'a financée pendant trois ans, et le LAET de l'ENTPE à Vaulx-en-Velin, qui l'a soutenue par la suite.

Par-là, je remercie particulièrement Jean-Pierre Nicolas et Nathalie Gouget, qui m'ont encadrée et accompagnée pendant ces quatre années et demie. Vos réflexions et vos lectures au long cours m'ont permis d'orienter et d'enrichir mon travail, votre soutien et votre écoute de le réaliser.

Ainsi, je remercie également l'ensemble de mes collègues de la DEA-IRM, et particulièrement Gaston Grosjean et les membres de son équipe, dont je faisais partie. Toutes les discussions d'alors m'ont permis de préciser mon objet de recherche et de découvrir l'univers de l'industrie automobile.

Dans la continuité, je souhaite remercier l'ensemble des membres du LAET, permanent-e-s, post-doctorant-e-s et doctorant-e-s, avec qui j'ai pu échanger lors de mes visites au laboratoire. Ce lien a été essentiel pour m'orienter dans les méandres de la thèse et aborder cet apprentissage de la recherche sereinement.

Je tiens également à remercier Anne Aguiléra et Phillippe Vidal d'avoir accepté de « rapporter » mon travail et Dominique Mignot et Béatrice Plottu de prendre part à mon jury.

Finalement, je remercie ma famille, particulièrement mes parents, qui m'ont soutenue dans cette douloureuse dernière année. Vos encouragements, votre patience et votre amour m'ont permis de mener ce travail à bien.

Résumé

Le « véhicule autonome » fait l'objet d'un engouement industriel et médiatique depuis le milieu des années 2010. De manière générale, les pouvoirs publics nationaux comme locaux soutiennent le développement de cette technologie. Toutefois, les seconds, au regard des effets anticipés, cherchent à préciser leur positionnement et l'action publique à mener à plus long terme. Afin de répondre à cet enjeu, des outils capables de synthétiser de manière significative les effets du véhicule autonome localement et d'aider à formuler un jugement sur son intérêt collectif sont nécessaires. En la matière, la démarche d'évaluation constitue une option centrale. Son utilisation pour la définition d'une stratégie publique locale n'est pourtant actuellement pas explorée.

Ce travail de thèse propose un cadre méthodologique pour une évaluation durable et prospective du véhicule autonome au niveau local. Cette proposition a été guidée par les manques repérés grâce à l'état de l'art des travaux d'évaluation du véhicule autonome disponibles, en particulier de formalisation et d'ancrage à des recherches antérieures, et élaborée à partir de références méthodologiques existantes, capables de fournir les préconisations adéquates. Nos investigations bibliographiques ont ainsi porté sur l'évaluation prospective et l'évaluation durable, et leurs applications aux domaines des transports et des innovations technologiques.

A partir du cadre établi, nous définissons une méthodologie d'évaluation prospective et durable du véhicule autonome, puis l'illustrons grâce à un cas d'étude, qui joue le rôle de « preuve de concept ». Ainsi, nous étudions trois scénarios d'introduction du véhicule autonome dans la Métropole de Rouen Normandie grâce à une analyse multicritères qualitative et participative, mobilisant les parties prenantes du système de transport local. Nous menons de manière conjointe une analyse du contenu discursif des consultations réalisées. Nous montrons ainsi l'opérationnalité de notre proposition méthodologique et la pertinence des résultats qui peuvent être obtenus. Ce terrain d'étude a été choisi considérant l'accueil d'expérimentations de véhicules autonomes depuis 2016 sur le territoire et l'implication des acteurs publics locaux dans cette thématique.

Nous mettons ainsi en exergue l'intérêt d'appliquer les principes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable pour enrichir l'évaluation du véhicule autonome à l'échelle d'un territoire. En effet, les informations produites, variées et nuancées, sont susceptibles de former un socle de réflexion utile à la décision publique locale. Plus généralement, ce type de démarche est à même d'aider les pouvoirs publics locaux à définir une stratégie favorisant une intégration des nouvelles technologies favorables à leurs objectifs.

Cette thèse a été réalisée dans le cadre d'un contrat CIFRE avec l'entreprise *Renault*.

Abstract

The "autonomous vehicle" is a highly publicised subject since the mid-2010s. Both national and local public authorities support the development of this technology. However, the latter, given the negative anticipated effects, seek to clarify their position and the public actions to be taken in the longer term. In order to meet this challenge, tools dedicated to summarise local effects of autonomous vehicles and draw a judgment on their collective interest are needed. In this respect, assessment is a central option, however not explored yet for public policy building.

This observation led us to take an interest in existing autonomous vehicle assessment work. The state of the art produced shows a lack of formalism and reference to previous works. Considering these shortcomings, this thesis proposes a methodological framework for a prospective and sustainable assessment of the autonomous vehicle. It was drawn up from existing references capable of providing appropriate methodological recommendations. Contributions relating to prospective assessment and sustainable assessment and their applications to the fields of transport and technological innovations were thus used.

Based on the established framework, we define a prospective and sustainable assessment methodology for the autonomous vehicle and apply it to a case study, which acts as a "proof of concept". We study three scenarios of autonomous vehicles' introduction in the Rouen metropolitan area thanks to a qualitative and participatory multi-criteria analysis embedding local transport system's stakeholders. We jointly conduct a discursive analysis of the interviews carried out. In this way, we show the usability of our methodological proposal and the relevance of the results that can be obtained. The field of study was chosen considering the autonomous vehicle experiments which have taken place since 2016 and the local public authorities' involvement in this topic.

We highlight the interest of applying the principles of prospective assessment and sustainable assessment to enrich the assessment of autonomous vehicles at a local scale. Indeed, the informations obtained, diversified and nuanced, are useful for public decision-making. More generally, this type of approach can help local public authorities to define strategies to shape new technologies' integration considering their objectives.

This thesis was carried out under a "CIFRE" contract with the company *Renault*.

Sommaire

REMERCIEMENTS.....	3
RESUME.....	4
ABSTRACT	6
SOMMAIRE	8
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES TABLEAUX	12
LISTE DES FORMULES.....	15
LISTE DES CARTES	15
LISTE DES IMAGES.....	16
LISTE DES ABREVIATIONS.....	17
INTRODUCTION GENERALE	20
PARTIE 1 : L'INTRODUCTION DU VEHICULE AUTONOME, DE L'AGITATION INDUSTRIELLE A LA DETERMINATION DES TERMES DE L'ACTION PUBLIQUE LOCALE	25
Chapitre 1 : Définition et contexte de développement du véhicule « autonome » routier	26
Chapitre 2 : Des effets attendus majoritairement situés dans le champ d'action des pouvoirs publics locaux	54
Conclusion : L'évaluation pour appuyer la définition d'une stratégie publique locale en matière de véhicule automatique	85
PARTIE 2 : L'EVALUATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE, BILAN ET AXES DE RECHERCHE METHODOLOGIQUES	87
Chapitre 3 : Les travaux d'évaluation des effets du véhicule automatique, synthèse et axes de développement	89
Chapitre 4 : Evaluer une innovation technologique, un exercice nécessairement prospectif	141

Chapitre 5 : L'évaluation durable, une référence pour la formalisation de l'évaluation du véhicule automatique	161
Conclusion : Un cadre d'évaluation du véhicule automatique à construire à partir des enseignements de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable	204
PARTIE 3 : PROPOSITIONS METHODOLOGIQUES POUR L'EVALUATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE ET APPLICATION A LA METROPOLE DE ROUEN	206
Chapitre 6 : Proposition d'un cadre méthodologique pour l'évaluation durable et prospective de l'introduction du véhicule automatique au niveau local	208
Chapitre 7 : Application à la Métropole de Rouen, une « preuve de concept »	240
Conclusion : L'évaluation prospective durable comme moyen d'ancrage et de formalisation de l'évaluation du véhicule automatique	416
CONCLUSION GENERALE	418
TABLE DES MATIERES	425
BIBLIOGRAPHIE	429
ANNEXES	460

Liste des figures

FIGURE 1 : SCHEMA DES FONCTIONS PRINCIPALES DU SYSTEME D'AUTOMATISATION DE CONDUITE	30
FIGURE 2 : PROCESSUS D'AUTOMATISATION SELON LE NIVEAU D'AUTOMATISATION ET NIVEAU DE SEGREGATION (ALESSANDRINI ET AL., 2015).....	36
FIGURE 3 : PROCESSUS D'AUTOMATISATION SELON LE NIVEAU D'AUTOMATISATION ET LA ZONE GEOGRAPHIQUE DE DEPLOIEMENT (FRAZZOLI, 2018).....	36
FIGURE 4 : CATEGORISATION DES SYSTEMES DE TRANSPORT AUTOMATIQUES (LIU, 2016)	38
FIGURE 5 : CATEGORISATION DES SYSTEMES DE TRANSPORT AUTOMATIQUES (KYOMANS ET AL., 2013, CITES PAR INNAMAA ET AL., 2018 ; REPRODUCTION DE L'AUTEURE)	39
FIGURE 6 : EVOLUTION DU NOMBRE DE VEHICULE-KILOMETRES PARCOURUS (%) SELON LE TYPE D'IMPLEMENTATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE, RESULTATS D'UNE TRENTAINE DE TRAVAUX DE MODELISATION (PERNESTÅL BRENDEN ET KRISTOFFERSSON, 2019)	66
FIGURE 7 : ORGANISATION D'UN PARKING CONVENTIONNEL (A GAUCHE) ET D'UN PARKING DEDIE A DES VEHICULES AUTOMATIQUES (A DROITE), (NOURINEJAD ET AL., 2018)	71
FIGURE 8 : REPRESENTATION DES EFFETS DE L'AUTOMATISATION DE CONDUITE SELON LE PRINCIPE DE L'« EFFET RICOCHET » (MILAKIS ET AL., 2017)	98
FIGURE 9 : EFFETS ENVIRONNEMENTAUX DES VEHICULES AUTOMATIQUES SELON QUATRE SYSTEMES EMBOITES (TAEIBAT ET AL., 2018)	100
FIGURE 10 : EFFETS SOCIETAUX DES VEHICULES AUTOMATIQUES (FAISAL ET AL., 2019).....	101
FIGURE 11 : IMPACTS DE L'AUTOMATISATION DE CONDUITE SUR LA SECURITE DES DEPLACEMENTS (INAMAA ET AL., 2018)	109
FIGURE 12 : DIAGRAMME DE CAUSALITE REPRESENTANT LES MECANISMES D'IMPACTS DU PREMIER SCENARIO (GRUEL ET STANFORD, 2016)	111
FIGURE 13 : REPRESENTATION TRIANGULAIRE DE FIELDING ET AL. (1978) (A GAUCHE) ET RENVERSERMENT PROPOSE PAR APPEYARD ET RIGGS (2017) (A DROITE).....	113
FIGURE 14 : PROCESSUS DE REALISATION DE LA DEUXIEME ETAPE D'EVALUATION (SESSA ET AL., 2016) ...	123
FIGURE 15 : TYPOLOGIE DE SCENARIOS (BÖRJESON ET AL., 2006)	143
FIGURE 16 : EXTRAIT DE LA METHODOLOGIE COMBINEE DEVELOPPEE PAR RAM ET AL. (2011) (TRADUCTION DE L'AUTRICE)	146
FIGURE 17 : SCHEMA D'UNE PROCEDURE D'EVALUATION DURABLE EX ANTE TYPE	171
FIGURE 18 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU CADRE D'EVALUATION ELABORE.....	212
FIGURE 19 : SCHEMA D'INTERACTION DETAILLE ENTRE LES ETAPES DE CADRAGE ET DE CONSTITUTION DU CADRE DE MESURE.....	214
FIGURE 20 : CARACTERISATION DES VARIABLES DE L'ANALYSE STRUCTURELLE DANS LE PLAN D'INFLUENCE-DEPENDANCE (GODET, 2007).....	218
FIGURE 21 : TABLEAU DE CARACTERISATION DE LA CONCEPTION DE LA DURABILITE DU SYSTEME DE TRANSPORT.....	221
FIGURE 22 : PLAN DES INFLUENCES/DEPENDANCES DIRECTES DES VARIABLES INFLUENÇANT L'INTRODUCTION DES VEHICULES AUTOMATIQUES DANS LA METROPOLE DE ROUEN	255
FIGURE 23 : REPRESENTATION DES LIENS JURIDIQUES ENTRE LE PDU ET LES AUTRES DOCUMENTS DE PLANIFICATION A L'ECHELLE LOCALE ET REGIONALE (SENAT, 2019)	276
FIGURE 24 : ARTICULATION DES DOCUMENTS DE PLANIFICATION LOCAUX MOBILISES (REALISATION PERSONNELLE)	277
FIGURE 25 : CARACTERISATION DE LA CONCEPTION DE LA DURABILITE DES TRANSPORTS DANS LE CAS DE LA METROPOLE DE ROUEN NORMANDIE	281
FIGURE 26 : SOURCES UTILISEES POUR LE CADRAGE THEMATIQUE DE L'ENSEMBLE DE CRITERES	288
FIGURE 27 : FACTEURS DETERMINANTS DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ET DE POLLUANTS (ADAPTE DE SIOUI, 2014)	299
FIGURE 28 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES PERSONNES A FAIBLE ET MOYEN REVENUS	300
FIGURE 29 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES HABITANTS DES ZONES EXTERIEURES AU CENTRE	301
FIGURE 30 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES PERSONNES AGEES.....	302

FIGURE 31 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES ENFANTS ET ADOLESCENTS (5-17 ANS).....	302
FIGURE 32 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES JEUNES (18-24 ANS).....	303
FIGURE 33 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES FEMMES	303
FIGURE 34 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA MOBILITE DES PMR.....	304
FIGURE 35 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA SECURITE ROUTIERE (ADAPTE DE SIOUI, 2014)	304
FIGURE 36 : FACTEURS DETERMINANTS DES DEPENSES PUBLIQUES DE TRANSPORT DEDIEES AUX INFRASTRUCTURES (ADAPTE DE SIOUI, 2014).....	305
FIGURE 37 : FACTEURS DETERMINANTS DES DEPENSES PUBLIQUES DEDIEES AUX TRANSPORTS EN COMMUN (ADAPTE DE STERMAN, 2000).....	305
FIGURE 38 : FACTEURS DETERMINANTS DU NOMBRE D'EMPLOIS DEDIES AU TRANSPORT DE PERSONNES....	306
FIGURE 39 : FACTEURS DETERMINANTS DU TEMPS DE TRANSPORT (ADAPTE DE SIOUI, 2014).....	306
FIGURE 40 : FACTEURS DETERMINANTS DE L'UTILISATION DES MODES ACTIFS	307
FIGURE 41 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA FREQUENTATION DES TRANSPORTS EN COMMUN (ADAPTE DE STERMAN, 2000)	307
FIGURE 42 : FACTEURS DETERMINANTS DE L'ETALEMENT URBAIN RELATIFS AU DOMAINE DES TRANSPORTS	308
FIGURE 43 : FACTEURS DETERMINANTS DE LA CONSOMMATION D'ESPACE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT (HERAN ET RAVALET, 2008)	309
FIGURE 44 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES FACTEURS DETERMINANTS DES INDICATEURS D'EVALUATION	310
FIGURE 45 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE ET CATEGORISATION DES FACTEURS DETERMINANTS DES CRITERES D'EVALUATION	314
FIGURE 46 : REPRESENTATION DU RESULTAT DE LA CONFRONTATION ENTRE LES SCENARIOS INITIAUX ET LES INDICATEURS DU CADRE DE MESURE	315
FIGURE 47 : NOMBRE DE COMMUNES SELON LE NOMBRE D'HABITANTS DANS LA METROPOLE DE ROUEN (DONNEES : INSEE, 2017)	323
FIGURE 48 : CHRONOLOGIE DES ENTRETIENS REALISES.....	332
FIGURE 49 : REPRESENTATION DES INDICATEURS SELON LEUR PONDERATION MOYENNE RELATIVE.....	351
FIGURE 50 : REPRESENTATION EN RADAR DES PERFORMANCES DES TROIS SCENARIOS ETUDIES SUR LES INDICATEURS D'EVALUATION	363
FIGURE 51 : MATRICE D'EVALUATION.....	373
FIGURE 52 : FONCTIONS DE CONDUITE DANS LE CADRE DE L'AUTOMATISATION (VAN BRUMMELEN ET AL., 2018)	460
FIGURE 53 : FONCTIONS DE CONDUITE DANS LE CADRE DE L'AUTOMATISATION (GONZALEZ ET AL.,2015) ...	460
FIGURE 54 : FONCTIONS DE CONDUITE DANS LE CADRE DE L'AUTOMATISATION (JO ET AL., 2015)	461
FIGURE 55 : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DE LA PONDERATION DES CRITERES SELON LE TYPE DE PARTIES PRENANTES.....	508
FIGURE 56 : CONTRIBUTION DES DIFFERENTES VARIABLES A LA FORMATION DES DEUX PREMIERES DIMENSIONS DE L'ACP	508
FIGURE 57 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'INTERVALLE DE STABILITE CONSIDERANT LA PONDERATION DU CRITERE « NOMBRE D'EMPLOIS DANS LE TRANSPORT LOCAL »	509
FIGURE 58 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'INTERVALLE DE STABILITE CONSIDERANT LA PONDERATION DU CRITERE « ACCES DES PERSONNES A MOBILITE REDUITE »	510
FIGURE 59 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'INTERVALLE DE STABILITE CONSIDERANT LA PONDERATION DU CRITERE « PRATIQUE DU VELO »	511
FIGURE 60 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'INTERVALLE DE STABILITE CONSIDERANT LA PONDERATION DU CRITERE « DENSIFICATION DES LOGEMENTS ».....	512
FIGURE 61 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'INTERVALLE DE STABILITE CONSIDERANT LA PONDERATION DU CRITERE « DENSIFICATION DES EMPLOIS »	513

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : SYNTHÈSE DES ESTIMATIONS DU COUT D'UTILISATION D'UN VEHICULE AUTOMATIQUE	62
TABLEAU 2 : SYNTHÈSE DES MOYENS D'INTERVENTION PUBLIQUE FAVORISANT UNE BONNE INTEGRATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE	81
TABLEAU 3 : CATEGORISATION DES EFFETS DU VEHICULE AUTOMATIQUE (LITMAN, 2016, TRADUCTION DE L'AUTRICE)	94
TABLEAU 4 : CATEGORISATION DES EFFETS DU VEHICULE AUTOMATIQUE (THOMOPOULOS ET GIVONI, 2015, TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	95
TABLEAU 5 : CATEGORISATION DES EFFETS DU VEHICULE AUTOMATIQUE (ACHEAMPONG ET AL., 2018, TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	96
TABLEAU 6 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS DE L'AUTOMATISATION DE CONDUITE (ALESSANDRINI ET AL., 2015, TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	99
TABLEAU 7 : CATEGORIES D'EFFETS ET INDICATEURS MINIMAUX A CONSIDERER (MCDONALD ET AL., 2018, TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	104
TABLEAU 8 : SYNTHÈSE DES EFFETS DIRECTS ET DES INDICATEURS POUR LES NIVEAUX D'AUTOMATISATION SAE 4 ET 5 SELON LE CADRE D'EVALUATION TIAF (INNAMAA ET AL., 2018, TRADUCTION DE L'AUTRICE)	108
TABLEAU 9 : ENSEMBLE D'INDICATEURS DEFINI PAR APPEYARD ET RIGGS (2017) (TRADUCTION DE L'AUTRICE)	114
TABLEAU 10 : RESULTATS DE L'EVALUATION QUALITATIVE MENEES PAR RĂMĂ ET AL. (2018) (TRADUCTION DE L'AUTRICE)	117
TABLEAU 11 : RESULTATS INTERMEDIAIRES DE L'EVALUATION QUALITATIVE MENEES PAR SESSA ET AL. (2016) (TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	122
TABLEAU 12 : RESULTATS FINAUX DE L'EVALUATION QUALITATIVE MENEES PAR SESSA ET AL. (2016).....	124
TABLEAU 13 : EFFETS SUPPLEMENTAIRES A TRAITER SELON LES PARTIES PRENANTES (SESSA ET AL., 2016)	125
TABLEAU 14 : SYNTHÈSE DES CRITERES UTILISES POUR LA DESCRIPTION DE L'OBJET D'ETUDE DANS LES TRAVAUX D'EVALUATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE.....	131
TABLEAU 15 : SYNTHÈSE DES EFFETS ETUDIES DANS LES TRAVAUX D'EVALUATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE	133
TABLEAU 16 : CRITERES DE DISTINCTION DES SCENARIOS (NOTTEN ET AL., 2003)	143
TABLEAU 17 : APPROCHES DE LA DURABILITE SELON LEURS CARACTERISTIQUES DISCRIMINANTES (ADAPTE DE DESTAIS, 2011).....	165
TABLEAU 18 : COMPARAISON DES DEFINITIONS DU CONCEPT DE MOBILITE DURABLE DU CST (1997) ET DU CONSEIL EUROPEEN (2001) (GUDMUNDSSON ET AL., 2016).....	178
TABLEAU 19 : COMPARAISON DE L'APPROCHE DE PLANIFICATION DES TRANSPORTS CLASSIQUE AVEC L'APPROCHE DE LA MOBILITE DURABLE (BANISTER, 2008)	180
TABLEAU 20 : SYNTHÈSE DES CRITERES ET INDICATEURS MOBILISES DANS L'EVALUATION DURABLE DES TRANSPORTS.....	186
TABLEAU 21 : ENSEMBLE D'INDICATEURS POUR L'EVALUATION D'UNE INNOVATION DURABLE (PNUE, 2012, TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	195
TABLEAU 22 : ENSEMBLE D'INDICATEURS POUR L'EVALUATION DURABLE DES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES (PROSUITE, 2013, TRADUCTION DE L'AUTRICE).....	196
TABLEAU 23 : OBJECTIFS ET PRINCIPES DE L'EVALUATION DURABLE ET DE L'EVALUATION PROSPECTIVE....	209
TABLEAU 24 : CARACTERISTIQUES DE DEFINITION DE L'OBJET ET DU CONTEXTE DE L'ETUDE D'EVALUATION (ADAPTE DE POPE ET AL., 2017).....	216
TABLEAU 25 : TYPOLOGIE DES SCENARIOS (ADAPTE DE BÖRJESON ,2006)	216
TABLEAU 26 : CRITERES DE SELECTION D'UNE METHODE D'ANALYSE MULTICRITERES.....	224
TABLEAU 27 ET TABLEAU 28 : DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES D'UN ENSEMBLE DE CINQUANTE-SIX METHODES D'ANALYSE MULTICRITERES (WATROBSKI ET AL., 2019)	225
TABLEAU 29 : DESCRIPTION DES PRINCIPALES METHODES DE CONSTITUTION D'UN ENSEMBLE DE CRITERES (ADAPTEE DE JEON ET AMEKUDZI, 2005)	227

TABLEAU 30 : CRITERES NECESSAIRES ET DESIRABLES S'APPLIQUANT A UN ENSEMBLE D'INDICATEURS DANS LE CAS DE L'ANALYSE MULTICRITERES (ROY ET BOYSSOU, 1996).....	229
TABLEAU 31 : ECHELLE DE PARTICIPATION D'ARNSTEIN (FORTIER, 2014).....	231
TABLEAU 32 : TYPOLOGIES DES PARTIES PRENANTES ADAPTEES DE CHEDIN ET AL. (2009) (EN HAUT) ET DAIGNEAULT ET JACOB (2013) (EN BAS)	232
TABLEAU 33 : CARACTERISTIQUES DISCRIMINANTES DE LA PARTICIPATION DANS L'EVALUATION PARTICIPATIVE	234
TABLEAU 34 : GRILLE D'ANALYSE HERMENEUTIQUE MOBILISEE	237
TABLEAU 35 : METHODES D' « ORIENTATION » ET D'ANALYSE DEFINIES DANS LE CADRE DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE	239
TABLEAU 36 : CARACTERISATION DU CONTEXTE D'ETUDE SELON LA GRILLE DE POPE ET AL. (2017)	241
TABLEAU 37 : TYPE DE SCENARIOS A DEVELOPPER SELON LA TYPOLOGIE DE BÖRJESON (2006).....	242
TABLEAU 38 : VARIABLES DESCRIPTIVES DU VEHICULE AUTOMATIQUE UTILISEES DANS LES TRAVAUX PROSPECTIFS	243
TABLEAU 39 : VARIABLES DESCRIPTIVES DU VEHICULE AUTOMATIQUE UTILISEES DANS LES TRAVAUX D'EVALUATION	244
TABLEAU 40 : ENTRETIENS MENES AUPRES DES MEMBRES DE L'EXPERIMENTATION RNAL	247
TABLEAU 41 : VARIABLES DESIGNEEES COMME INFLUENTES SUR L'INTRODUCTION DU VEHICULE AUTOMATIQUE DANS LA METROPOLE DE ROUEN PAR LES PERSONNES INTERROGEEES	248
TABLEAU 42 : LISTE DES VARIABLES RETENUES POUR LA MATRICE D'ANALYSE STRUCTURELLE	250
TABLEAU 43 : INFLUENCE DE LA « VITESSE DE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE DE L'AUTOMATISATION DE CONDUITE » SUR LES AUTRES VARIABLES SELECTIONNEES.....	254
TABLEAU 44 : CARACTERISATION DE LA MRN SELON LES GRILLES D'ANALYSE TERRITORIALE PORTANT SUR L'ACCES AUTOROUTIER, FERROVIAIRE ET AEROPORTUAIRE DE DUMONT (2018)	259
TABLEAU 45 : CARACTERISATION DE LA NATURE DU TISSU ECONOMIQUE DE LA MRN SELON LA GRILLE DE DUMONT (2018)	260
TABLEAU 46 : INDICATEURS D'EMPLOIS DE LA MRN (INSEE) SELON DUMONT (2018).....	260
TABLEAU 47 : INDICATEURS DEMOGRAPHIQUES DE LA MRN (INSEE) SELON DUMONT (2018).....	260
TABLEAU 48 : CARACTERISATION DE L'ETENDUE DE LA ZONE D'INFLUENCE DE LA MRN SELON LA GRILLE DE DUMONT (2018)	261
TABLEAU 49 : INDICATEURS DE CONCENTRATION DE L'EMPLOI DE LA MRN ET SON EVOLUTION ENTRE 2012 ET 2017 SELON DUMONT (2018).....	261
TABLEAU 50 : INDICATEURS DE REVENU DE LA MRN SELON DUMONT (2018).....	261
TABLEAU 51 : CARACTERISATION DE LA DIVERSITE DU TISSU ECONOMIQUE DE LA MRN SELON LA GRILLE DE DUMONT (2018)	262
TABLEAU 52 : CARACTERISATION FONCIERE DE LA MRN SELON LA GRILLE DE DUMONT (2018)	263
TABLEAU 53 : CARACTERISATION DE L'ORIGINALITE GEOGRAPHIQUE DU SITE DE LA MRN SELON LA GRILLE DE DUMONT (2018)	263
TABLEAU 54 : CARACTERISATION DE LA GOUVERNANCE DE LA MRN SELON LA GRILLE DE DUMONT (2018).....	264
TABLEAU 55 : CONFIGURATIONS DES VARIABLES RETENUES POUR L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE.....	265
TABLEAU 56 : PROBABILITES AFFECTEES A CHACUNE DES CONFIGURATIONS DES VARIABLES.....	269
TABLEAU 57 : CONFIGURATIONS DES VARIABLES DES MICRO-SCENARIOS DE LA DIMENSION DES « CARACTERISTIQUES TECHNIQUES »	270
TABLEAU 58 : PROBABILITE DES MICRO-SCENARIOS DE LA DIMENSION DES « CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ».....	271
TABLEAU 59 : CONFIGURATIONS DES VARIABLES DES MICRO-SCENARIOS DE LA DIMENSION DES « INFRASTRUCTURES »	271
TABLEAU 60 : PROBABILITE DES MICRO-SCENARIOS DE LA DIMENSION DES « CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ».....	272
TABLEAU 61 : CONFIGURATIONS DES TROIS SCENARIOS RETENUS.....	272
TABLEAU 62 : METHODES MULTICRITERES ADAPTEES A UNE PROBLEMATIQUE DE HIERARCHISATION COMPLETE.....	283
TABLEAU 63 : ANALYSES MULTICRITERES D'AGREGATION PARTIELLE AU SEIN DES METHODES PRECEDEMMENT SELECTIONNEES	284
TABLEAU 64 : METHODES MULTICRITERES INTEGRANT UNE PONDERATION DES CRITERES AU SEIN DES METHODES PRECEDEMMENT SELECTIONNEES.....	286

TABLEAU 65 : SYNTHÈSE DES CRITÈRES CONSIDÉRÉS POUR LE CHOIX D'UNE MÉTHODE D'ANALYSE MULTICRITÈRES DANS NOTRE CAS D'ÉTUDE	287
TABLEAU 66 : CRITÈRES MOBILISÉS DANS L'ÉVALUATION DURABLE DES TRANSPORTS URBAINS DANS LA LITTÉRATURE DÉDIÉE	289
TABLEAU 67 : CRITÈRES COURAMMENT MOBILISÉS POUR LA MESURE DE LA CONTRIBUTION DES TECHNOLOGIES À LA DURABILITÉ DES TRANSPORTS	292
TABLEAU 68 : PRINCIPAUX CRITÈRES DE DURABILITÉ DES TRANSPORTS MIS EN AVANT DANS LES DOCUMENTS STRATÉGIQUES DE LA MÉTROPOLE DE ROUEN.....	293
TABLEAU 69 : CLASSES DE DENSITÉ UTILISÉES POUR LE CALCUL SOCIO-ÉCONOMIQUE	299
TABLEAU 70 : VITESSE EN FONCTION DU TYPE DE ZONE GÉOGRAPHIQUE	300
TABLEAU 71 : CLASSES DE DENSITÉ UTILISÉES POUR LE CALCUL SOCIO-ÉCONOMIQUE	301
TABLEAU 72 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PARTICIPATION DANS LA DÉMARCHÉ D'ÉVALUATION MISE EN PLACE	321
TABLEAU 73 : PARTIES PRENANTES REPERÉES DE LA CATÉGORIE « DECIDEURS, CONCEPTEURS ET GESTIONNAIRES PUBLICS ».....	322
TABLEAU 74 : COMMUNES DE LA MRN CIBLÉES POUR LA SOLlicitATION DES PARTICIPANT-E-S	324
TABLEAU 75 : PARTIES PRENANTES REPERÉES DE LA CATÉGORIE « RESPONSABLES DE LA MISE EN ŒUVRE »	325
TABLEAU 76 : PARTIES PRENANTES REPERÉES DE LA CATÉGORIE « TIERS DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT AFFECTÉS PAR L'OBJET D'ÉTUDE »	326
TABLEAU 77 : ORGANISATIONS AUPRES DESQUELLES UN OU PLUSIEURS ENTRETIENS ONT PU ÊTRE RÉALISÉS	331
TABLEAU 78 : INDICATEURS ESTIMÉS DIRECTEMENT PAR LES PARTICIPANT-E-S ET QUESTIONS CORRESPONDANTES DANS LE DISPOSITIF DE CONSULTATION.....	337
TABLEAU 79 : CRITÈRES DE DÉCOUPAGE DES ZONES D'EMPLOIS UTILISÉS DANS LE DISPOSITIF D'ÉVALUATION	340
TABLEAU 80 : INDICATEURS ESTIMÉS QUASI DIRECTEMENT, QUESTIONS CORRESPONDANTES DANS LE DISPOSITIF DE CONSULTATION ET OPÉRATIONS RÉALISÉES	341
TABLEAU 81 : CRITÈRES DE DÉCOUPAGE DES ZONES D'HABITATION UTILISÉS DANS LE DISPOSITIF D'ÉVALUATION	343
TABLEAU 82 : FACTEURS DE VALORISATION DE LA POLLUTION DE L'AIR DANS LE CAS DU PARC ROUENNAIS À L'HORIZON 2025	344
TABLEAU 83 : FACTEURS DE VALORISATION DE LA POLLUTION SONORE DANS LE CAS DU PARC ROUENNAIS À L'HORIZON 2025	344
TABLEAU 84 : ÉMISSIONS DE CO ₂ PAR V.KM SELON LA ZONE DE CIRCULATION (DGITM, 2017 ; CGDD, 2017)	345
TABLEAU 85 : ÉMISSIONS DE CO ₂ PAR V.KM SELON LA ZONE DE CIRCULATION DANS LE CAS ROUENNAIS... 345	
TABLEAU 86 : INDICATEURS ESTIMÉS GRÂCE À DES INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES, QUESTIONS CORRESPONDANTES DANS LE DISPOSITIF DE CONSULTATION ET OPÉRATIONS RÉALISÉES.....	346
TABLEAU 87 : MOYENNE ET ÉCART TYPE DES PONDERATIONS RELATIVES POUR CHAQUE INDICATEUR.....	350
TABLEAU 88 : CLASSEMENT DES INDICATEURS PAR ORDRE D'IMPORTANCE	351
TABLEAU 89 : CRITÈRES DE DÉCOUPAGE DES CLASSES D'INDICATEURS SELON LEUR IMPORTANCE RELATIVE	352
TABLEAU 90 : CATÉGORISATION DES CRITÈRES SELON LEUR IMPORTANCE RELATIVE.....	352
TABLEAU 91 : ESTIMATIONS DE L'EFFET DES TROIS SCÉNARIOS ANALYSÉS SUR LES DIFFÉRENTS INDICATEURS	360
TABLEAU 92 : ÉVOLUTION DE LA CIRCULATION MOYENNE ESTIMÉE (SUR UNE ÉCHELLE DE -2 À +2).....	368
TABLEAU 93 : CARACTÉRISATION DES SIX PRINCIPALES FORMES DE FONCTIONS DE PRÉFÉRENCE (BRANS ET DE SMET, 2016).....	374
TABLEAU 94 : TABLEAU DES FLUX ISSU DE L'ANALYSE MULTICRITÈRES PROMETHEE II DES TROIS SCÉNARIOS ÉTUDIÉS	377
TABLEAU 95 : CLASSEMENT DES TROIS SCÉNARIOS SELON L'ANALYSE MULTICRITÈRES PROMETHEE II .. 378	
TABLEAU 96 : TAUX D'OCCURRENCE DE CHAQUE TYPE DE CLASSEMENT DES SCÉNARIOS SELON LES RÉPONSES DES PARTICIPANT-E-S À LA QUESTION 25.....	380
TABLEAU 97 : PART DE CHAQUE SCÉNARIO PLACÉ EN PREMIÈRE POSITION PAR LES PARTICIPANT-E-S	380

TABLEAU 98 : SYNTHÈSE DES MOYENS D'INTERVENTION PUBLIQUE SUGGÈRES PAR LES PARTIES PRENANTES LORS DE LA CONSULTATION	401
TABLEAU 99 : SCÉNARIOS PROPOSÉS PAR LES PARTIES PRENANTES ROUENNAISES LORS DE LA CONSULTATION	404
TABLEAU 100 : SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DU TRAITEMENT DES DONNÉES DE L'ÉVALUATION	407
TABLEAU 101 : POSITIONNEMENTS ADOPTÉS DANS LE CAS DE L'INTRODUCTION DU VÉHICULE AUTOMATIQUE DANS LA MÉTROPOLE DE ROUEN GRÂCE AUX OUTILS DÉFINIS DANS LA MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE ...	413
TABLEAU 102 : NIVEAUX D'AUTOMATISATION DE CONDUITE (BAST, 2012, MIS EN FORME PAR L'AUTRICE) .	462
TABLEAU 103 : NIVEAUX D'AUTOMATISATION DE CONDUITE (NHTSA, 2013, MIS EN FORME PAR L'AUTRICE)	462
TABLEAU 104 : NIVEAUX D'AUTOMATISATION DE CONDUITE SELON LA SAE (2018).....	464
TABLEAU 105 : DÉFINITION DES VARIABLES MOBILISÉES DANS L'ANALYSE STRUCTURELLE	466
TABLEAU 106 : DÉTAILS DES RELATIONS DE CAUSE À EFFET ENTRE VARIABLES INSCRITES DANS LA MATRICE D'ANALYSE STRUCTURELLE.....	470
TABLEAU 107 : MATRICE D'ANALYSE STRUCTURELLE UTILISÉE POUR LA CONSTRUCTION DES SCÉNARIOS ROUENNAIS.....	492
TABLEAU 108 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MATRICE	495
TABLEAU 109 : COMMUNES CIBLÉES POUR LA PRISE DE CONTACT DANS NOTRE CAS D'ÉTUDE (EN BLEU) ...	496
TABLEAU 110 : VARIANCE DE L'ÉCHANTILLON DES PONDERATIONS DES CRITÈRES EXPLIQUÉE PAR LES DIFFÉRENTES DIMENSIONS DE L'ACP	507

Liste des formules

FORMULE 1 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE STABILITÉ DU BUDGET DE LA MÉTROPOLE DÉDIÉ AUX TRANSPORTS.....	338
FORMULE 2 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR D'ÉQUITÉ D'ACCÈS À LA MOBILITÉ SELON L'ÂGE	338
FORMULE 3 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR D'ÉQUITÉ D'ACCÈS À LA MOBILITÉ SELON LE REVENU ..	338
FORMULE 4 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR D'ÉQUITÉ D'ACCÈS À LA MOBILITÉ SELON LA LOCALISATION	339
FORMULE 5 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR D'ÉQUITÉ D'ACCÈS À LA MOBILITÉ SELON LE GENRE	339
FORMULE 6 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE CONGESTION ROUTIÈRE	339
FORMULE 7 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE RÉDUCTION DE L'ESPACE DE STATIONNEMENT	339
FORMULE 8 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE DENSIFICATION DES LOGEMENTS.....	340
FORMULE 9 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE DENSIFICATION DES EMPLOIS	340
FORMULE 10 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE POLLUTION DE L'AIR.....	344
FORMULE 11 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR DE POLLUTION SONORE	345
FORMULE 12 : FORMULE DE CALCUL DE L'INDICATEUR D'ÉMISSIONS DE CO ₂	345
FORMULE 13 : FORMULE DE MISE À L'ÉCHELLE DES ESTIMATIONS POUR LEUR REPRÉSENTATION SUR UN MÊME GRAPHIQUE	362

Liste des cartes

CARTE 1 : COMMUNES DE LA MÉTROPOLE DE ROUEN NORMANDIE	258
CARTE 2 : PRINCIPAUX SOUS-ENSEMBLES GÉOGRAPHIQUES DE LA MÉTROPOLE DE ROUEN SELON LE SCOT (2015)	263
CARTE 3 : ZONES DE DESSERTE DU SERVICE DE RABATTEMENT DANS LA MÉTROPOLE DE ROUEN (RÉALISATION PERSONNELLE, QGIS)	274

CARTE 4 : ZONES DE DESSERTES DU SERVICE DE RABATTEMENT DANS LA METROPOLE DE ROUEN (REALISATION PERSONNELLE, QGIS)	317
CARTE 5 : DECOUPAGE TERRITORIAL DEFINI PAR LA METROPOLE DE ROUEN.....	323

Liste des images

IMAGE 1 : BOUCLES DE CIRCULATION DES VEHICULES DE L'EXPERIMENTATION ROUEN NORMANDY AUTONOMOUS LAB	246
IMAGE 2 : EXTRAIT DE L'INTERFACE DU LOGICIEL VISUAL PROMETHEE DANS LE CAS DU CRITERE DE POLLUTION DE L'AIR	376

Liste des abréviations

ACA	Analyse coûts-avantages
ACP	Analyse en Composantes Principales
ADAS	Advanced Driver Assistance System
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ALV	<i>Autonomous Land Vehicle</i>
AMC	Analyse multicritères
ANBDD	Agence Normande Biodiversité Développement Durable
ARTS	<i>Automated Road Transport System</i>
AsRTS	<i>Autonomous Road Transport System</i>
AURBSE	Agence d'Urbanisme de Rouen et des Boucles de Seine et Eure
BAsT	<i>Bundesanstalt für Straßenwesen</i>
CA	Communauté d'Agglomération
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CARTRE	<i>Coordination of Automated Road Transport Deployment for Europe</i>
CC	Communauté de communes
CCI	Chambre de Commerce et d'Industrie
CE	Commission Européenne
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CIFRE	Convention Industrielle de Formation par la Recherche
CMRTSR	Conseil des Ministres Responsables des Transports et de la Sécurité Routière
CNNum	Conseil National du Numérique
CPTC	Comité Pour les Transports en Commun
CST	<i>Center for Sustainable Transportation</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DSP	Délégation de Service Public
DTA	Directive Territoriale d'Aménagement
EEA	<i>European Environmental Agency</i>
EIA	<i>Environmental Impacts Assessment</i>
ENA	Expérimentations de Navettes Autonomes
EPCI	Etablissements Publics de Coopération Intercommunale
ESCAP	<i>Economic and Social Commission for Asia and the Pacific</i>
ET	Evaluation des technologies
FESTA	<i>Field operational tESTs of Automated vehicles</i>
FNE	France Nature Environnement
GDISUMP	<i>Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan</i>
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IVHS	<i>Intelligent Vehicle and Highway Systems</i>
I2V	<i>Infrastructure-to-vehicle</i>
LAET	Laboratoire d'Aménagement Economie Transport
LAURE	Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie

LIDAR	<i>Laser Imaging Detection And Ranging</i>
LOTI	Loi d'Orientation des Transports Intérieurs
MIPS	<i>Material Input per Unit of Service</i>
MRN	Métropole Rouen Normandie
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economique
ODD	<i>Operational Design Domain</i>
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONISR	Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière
ONU	Organisation des Nations Unies
OPECST	Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
OTA	<i>Office of Technology Assessment</i>
PACTE	Plan d'Action pour la Croissance et la Transformation des Entreprises
PCAET	Plan Climat Air Energie Territorial
PDU	Plan de Déplacements Urbains
PEFH	Plan Egalité Femmes-Hommes
PLH	Programme Local de l'Habitat
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PMR	Personne à Mobilité Réduite
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PROMETHEE	Preference Ranking Organization MeTHod for Enrichment Evaluation
PRT	<i>Personal Rapid Transit</i>
PTAL	<i>Public Transport Accessibility Level</i>
PTLCD	Plan Territorial de Lutte Contre les Discriminations
RADAR	<i>Radio Detection And Ranging</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RNAL	<i>Rouen Normandy Autonomous Lab</i>
Sabine	Société amicale pour la bicyclette en Normandie et dans la Métropole de Rouen
SAE	<i>Society of Automotive Engineers International</i>
SEA	<i>Strategic Environmental Assessment</i>
SAM	Sécurité et Acceptabilité de la conduite et de la Mobilité autonome
SCOT	Schéma de Cohérence Territoriale
SLAM	<i>Simultaneous Localization And Mapping</i>
SONAR	<i>SOund Navigation And Ranging</i>
SMI	Service Mobilités et Infrastructures
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
TAD	Transport A la Demande
TC	Transports collectifs
TCAR	Transports en commun de l'Agglomération Rouennaise
TCSP	Transports Collectifs en Site Propre
TIAF	<i>Trilateral Impact Assessment Framework</i>
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TIGA	Territoire d'Innovation de Grande Ambition
TPP	Technologiques de Produit et de Procédé
UNECE	<i>United Nations Economic Commission For Europe</i>
UE	Union Européenne
VTC	Véhicule de tourisme avec chauffeur
V2V	Vehicle-to-vehicle

V2I	<i>Vehicle-to-infrastructure</i>
V2P	<i>Vehicle-to-pedestrian</i>
V2X	<i>Vehicle-to-everything</i>
VA	Véhicule automatique ou Véhicule autonome
Wifi	<i>Wireless Fidelity</i>
WWF	<i>World Wide Fund</i>

Introduction générale

Le récit du véhicule « autonome » pourvoyeur d'une « révolution » de la mobilité, en particulier urbaine, s'impose comme une nouvelle marotte médiatique à partir du milieu des années 2010 (Thébert et Lesteven, 2018). L'emballement autour de cet objet technologique trouve son origine dans le lancement du « *Google car project* », programme de recherche sur l'automatisation de conduite routière lancé par *Google* en 2009. De fil en aiguille, les annonces prometteuses provenant des différents secteurs concernés par le développement de cette technologie, automobile, électronique et numérique en tête, se multiplient. Une filière industrielle se dessine à travers divers mouvements d'entreprises. L'action publique se structure au niveau national et international. Une course au développement du véhicule autonome est lancée.

Au début de cette période, le véhicule autonome est avant tout présenté comme une évolution de la voiture individuelle actuelle, l'aboutissement d'un processus débuté dans les années 1980 avec l'apparition des premiers systèmes d'aide à la conduite. Cinq principaux avantages de l'automatisation sont plus particulièrement mis en avant : l'amélioration de la sécurité routière du fait de la suppression des erreurs humaines ; la diminution de la consommation énergétique des véhicules grâce à la mise en œuvre de l'écoconduite par l'ordinateur de bord ; la possibilité d'utiliser le temps de transport à d'autres fins que la conduite ; l'accès à l'automobile pour de nouveaux publics actuellement exclus, pour des raisons médicales par exemple, et l'optimisation de la circulation grâce à la coordination des véhicules, qui permet également l'augmentation de la capacité des infrastructures. Cette conception côtoie rapidement des approches où les véhicules autonomes sont intégrés à des solutions de transport mutualisés, essentiellement sur les modèles des taxis autonomes et de navettes autonomes intégrées au système de transport en commun. Le véhicule autonome est dès lors envisagé comme un moyen de réduire les coûts de main-d'œuvre ou de proposer de nouveaux services de transport considérés jusque-là comme peu rentables, en particulier dans les zones peu denses. D'autre part, dans le cas du taxi autonome, le système est considéré comme le moyen de faire coïncider parfaitement offre et demande de transport. En effet, grâce à la mise en relation des voyageurs et des véhicules par le biais des technologies de l'information et de la communication (TIC), les services de transport seraient exécutés de manière optimisée, à la demande et au plus juste. Le taxi autonome est donc le support de la facilitation et de l'optimisation des déplacements, d'autant qu'il est souvent associé à l'hypothèse d'un partage généralisé des véhicules grâce au covoiturage « dynamique ». Une vision idéalisée qui s'insère dans la logique optimisatrice de la « *smart city* » (Picon, 2013).

Le véhicule autonome est ainsi présenté à bien des égards comme une solution pour la « durabilité » de la mobilité urbaine (Thébert et Lesteven, 2018).

Les contributions scientifiques dédiées à l'étude des effets de cette technologie sont toutefois moins unanimes. S'agissant des avantages sécuritaires du véhicule autonome, la possibilité de nouvelles formes d'accidentologie dues à des vulnérabilités informatiques, à de mauvaises performances des capteurs dans des situations climatiques ou de conduite complexes ou encore à une prise de risque accentuée des autres usagers de la route, est relevée. Par ailleurs, sur le plan énergétique, une augmentation de la consommation imputable aux équipements propres à assurer l'automatisation, est mise en avant. L'utilisation réelle du véhicule autonome est également questionnée. En effet, les études de préférences déclarées consacrées au partage des véhicules autonomes montrent globalement une faible appétence pour le partage par rapport à la possession. Par ailleurs, une hausse du nombre de véhicule-kilomètres parcourus est prédite dans le cas de l'introduction de voitures autonomes individuelles. Cette augmentation est multifactorielle, composée à la fois d'une hausse de la demande, résultant de la baisse de la valeur du temps de transport et de l'accroissement de la capacité routière, et de kilomètres effectués à vide, liés essentiellement au stationnement et au partage des véhicules au sein des ménages. L'introduction des véhicules autonomes est également susceptible d'influencer l'usage des transports en commun et des modes actifs, qui pourrait, d'après les études réalisées, reculer. Finalement, concernant les dynamiques spatiales anticipées à moyen terme, un double mouvement est décrit, d'un côté une densification des zones centrales, de l'autre un étalement urbain. La première est expliquée par une supposée reconquête de l'espace public, en particulier de stationnement, que permettrait le partage des véhicules. La seconde serait le résultat d'une baisse de la valeur du temps de transport, entraînant par ricochet un allongement des distances parcourues et un regain d'attractivité des zones périphériques.

Les effets anticipés de l'introduction des véhicules autonomes touchent ainsi de nombreux domaines d'action des autorités locales : circulation, usage des transports en commun et des modes actifs et occupation du sol, et sont dépendants du mode d'introduction de la technologie, soit notamment de la régulation publique à l'œuvre. En outre, un renforcement de la place des acteurs privés, fournisseurs ou opérateurs de cette technologie, risque de s'opérer. Au vu de l'engouement à l'œuvre et des enjeux qui se dessinent, les pouvoirs publics locaux, particulièrement ceux des mégapoles, se sont progressivement mobilisés. Des moyens de veille et d'étude du véhicule autonome ont été mis en place et des expérimentations ont été accueillies ou organisées. Les motivations à l'origine de ces démarches rejoignent par ailleurs des objectifs de dynamisme économique et de promotion du territoire.

Les acteurs publics locaux sont ainsi de mieux en mieux informés. Ils n'en demeurent pas moins plutôt sceptiques, tant s'agissant de l'advenue de cette innovation, que de son intérêt considérant leurs objectifs en matière de transport (Chatman et Moran, 2019 ; Fraedrich et al., 2019 ; Freemark et al., 2019). La définition d'une stratégie publique dédiée au véhicule autonome apparaît toutefois indispensable dans un contexte où l'arrivée récente de nouveaux moyens de transport, comme les engins de déplacement personnels partagés ou les services de véhicules de tourisme avec chauffeur (VTC) ont posé de nouvelles questions de régulation. Ces dernières portaient en particulier sur les conditions de travail et l'occupation de l'espace public, face à une dégradation de la situation dans ces domaines (Netto et al., 2020).

De premières études inventorient les moyens d'intervention envisageables dans le contexte de l'introduction de véhicules autonomes (Papa et Ferreira, 2018 ; Cohen et Cavoli, 2018). Les contributions disponibles ne relient toutefois pas formellement ces possibilités de régulation à une analyse structurée des effets. Ainsi, une méthodologie mobilisable à l'échelle locale, capable de synthétiser de manière significative les effets du véhicule autonome et de fournir des informations « actionnables pour la prise de décision » serait bienvenue. La démarche d'évaluation, à laquelle il n'est pas directement fait référence dans le corpus consacré à l'action publique locale en matière de véhicules autonomes, est couramment utilisée à ces fins, dans le domaine des transports notamment.

En effet, l'évaluation *ex ante* est une démarche d'aide à la décision centrale. Elle vise à formuler un jugement sur l'influence d'un objet d'étude sur la société à partir de la connaissance et de l'appréciation de ses conséquences. Son application au véhicule autonome peut donc constituer une réponse au questionnement des pouvoirs publics locaux, qui se montrent actuellement plutôt attentistes du fait des nombreuses incertitudes entourant le véhicule autonome. Dans ce contexte, cette thèse s'interroge sur l'évaluation *ex ante* de l'introduction du véhicule autonome au niveau local, notamment sa contribution à la définition d'une action publique dédiée.

Pour ce faire, notre travail s'est organisé en deux parties. En premier lieu, un état de l'art des travaux d'évaluation du véhicule autonome existants a été réalisé. Au vu du faible nombre de démarches d'évaluation complètes, le corpus constitué comprend également des contributions partielles, c'est-à-dire traitant seulement d'une des étapes de l'évaluation. Ce bilan nous a permis de définir les axes de développement méthodologiques nécessaires. Nous les avons recensés selon trois catégories qui correspondent aux grandes étapes de l'évaluation, à savoir la définition de l'objet d'étude, l'estimation des effets et la constitution du cadre de mesure. Notre problématique s'est ainsi orientée vers la définition d'un cadre

méthodologique capable de pallier les manques existants en matière d'évaluation du véhicule autonome. Considérant le manque d'ancrage, au sens de l'absence de références à des travaux antérieurs, et de formalisation des méthodes proposées, des investigations bibliographiques, susceptibles de fournir des préconisations méthodologiques adéquates, ont été réalisées. Ainsi, afin d'enrichir et de formaliser l'étape de définition de l'objet d'étude, la littérature sur l'évaluation prospective, ou évaluation de scénarios, a été consultée. La dimension prospective de cette étape dans le cas du véhicule autonome est ainsi affirmée. Ensuite, pour spécifier l'étape de constitution du cadre de mesure, nous nous sommes intéressés à l'évaluation durable. L'objectif était de spécifier un concept de référence pour le cadre de mesure, qui en manquait, alors que des renvois plus ou moins explicites au principe de durabilité étaient repérables dans les travaux d'évaluation du véhicule autonome. Ces recherches ont permis de dégager de grandes orientations pour le cadre d'évaluation ainsi que des méthodes « d'orientation » et d'analyse dédiées à la mise en œuvre de la méthodologie. En deuxième lieu, ces conclusions ont été intégrées au sein d'un cadre d'évaluation prospective durable du véhicule autonome. Cette méthodologie définie, un gage de son opérationnalité est fourni à travers un exemple d'application, sous la forme d'une « preuve de concept ». Le choix du cas d'étude s'est porté sur la Métropole Rouen Normandie, pour quatre principales raisons : l'accueil sur le territoire d'expérimentations de véhicules autonomes depuis 2016 ; l'engagement de l'entreprise *Renault*, hébergeant la réalisation de ce travail de thèse dans le cadre d'un contrat CIFRE, dans le projet *Rouen Normandy Autonomous Lab* et dans les expérimentations à venir ; l'implication des acteurs publics locaux dans cette thématique et la taille de l'agglomération, qui, quoique importante, ne complexifiait pas outre mesure la réalisation d'une preuve de concept. Trois scénarios d'introduction du véhicule autonome : le véhicule personnel, le taxi et le véhicule intégré aux transports en commun ont ainsi été construits puis évalués grâce à une analyse multicritères qualitative et participative.

Le présent travail de thèse se compose de trois grandes parties. La première est dédiée à la contextualisation et comprend deux chapitres. L'un traite de la définition du véhicule autonome (1.1) et de l'histoire du développement de cette technologie (1.2) ; l'autre des effets attendus du véhicule autonome (2.1) et des enjeux actuels et à venir pour l'action publique locale en matière de véhicule autonome (2.2). La seconde partie compte trois chapitres. Le premier est consacré à un état de l'art sur l'évaluation du véhicule autonome (Chapitre 3). Le bilan de ces travaux, les développements méthodologiques nécessaires (3.3), conduisent aux deux chapitres suivants, panoramas bibliographiques réalisés dans l'objectif de formuler des préconisations méthodologiques. L'un porte sur l'évaluation prospective (Chapitre 4) et l'autre sur l'évaluation durable (Chapitre 5). Des contributions méthodologiques

générales (4.1, 4.2, 5.1), mais aussi des études appliquées aux domaines des innovations technologiques et des transports (4.3, 5.2) sont répertoriées. Finalement, la troisième et dernière partie de ce travail compte deux chapitres, l'un dédié à la constitution d'un cadre méthodologique d'évaluation prospective et durable du véhicule autonome (Chapitre 6) et l'autre présentant son application au cas de la Métropole de Rouen Normandie (Chapitre 7).

Partie 1 : L'introduction du véhicule autonome, de l'agitation industrielle à la détermination des termes de l'action publique locale

Le véhicule « autonome » fait l'objet d'une agitation médiatique, industrielle et politique depuis le milieu des années 2010, alors même que cette technologie n'est pas encore disponible. En quoi consisterait un tel véhicule ? Comme pour tout dispositif technologique, une description technique s'impose pour mieux l'appréhender. De même, une perspective historique sur sa trajectoire de développement est d'intérêt. L'effervescence actuelle semble en tout cas signifier la possibilité de véhicules à la conduite complètement automatisée à moyen terme, et interroge ainsi les effets de leur introduction dans le système de transport. Des impacts qu'il est nécessaire d'anticiper pour s'assurer du bien-fondé d'une telle technologie. Cet enjeu renvoie plus généralement à la relation de cette innovation technologique à l'intérêt collectif, et donc, plus prosaïquement, aux politiques publiques en matière de transport.

Cette partie dédiée à la contextualisation de notre sujet d'étude se compose dès lors de deux chapitres. Le premier revient sur les grands axes de la formulation technique des véhicules « autonomes », et particulièrement sur les nomenclatures disponibles (1.1), puis décrit le contexte historique et actuel de développement de cette technologie (1.2). Le second chapitre s'intéresse aux effets « directs » et « indirects » des véhicules autonomes en proposant une synthèse des résultats des travaux scientifiques disponibles (2.1). La nature des effets référencés nous amène à nous interroger sur l'action publique locale en la matière. Les motivations et le positionnement des pouvoirs publics locaux sont décrits, ainsi que les modalités d'action actuelles et envisageables dans le futur (2.2).

Chapitre 1 : Définition et contexte de développement du véhicule « autonome » routier

A quoi correspond le véhicule « autonome » ? Si le sujet a fait son apparition récemment dans l'espace médiatique, est-il pour autant un objet complètement nouveau ? Quelles caractéristiques définissent un véhicule autonome et ses applications ? Il nous faut, avant toute chose, répondre à ces questions.

Ce premier chapitre est ainsi consacré à la définition technique du véhicule autonome à partir d'une discussion terminologique (1.1.1) et technique (1.1.2) et à un retour sur l'historique de son développement (1.2.1). Les dynamiques actuelles du secteur industriel (1.2.2), mais également de l'action publique aux échelles nationale et internationale (1.2.3) sont également présentées.

1.1. Des formulations techniques variables

Avant toute chose, il est nécessaire de proposer une définition du véhicule autonome. En effet, s'agissant d'un objet technique, il convient d'entrer dans le détail de son fonctionnement et des sous-systèmes qui le constituent. Toutefois, face à une innovation qui n'est pas encore « stabilisée » et ne situant pas les questions techniques au cœur de notre travail, nous souhaitons tendre vers une définition du véhicule autonome comme mode de transport, plutôt que comme système technique. Nous revenons d'abord sur deux ambiguïtés terminologiques majeures (1.1.1), puis nous nous focalisons sur les grands axes de formulation technique et répertorions les nomenclatures disponibles (1.1.2).

1.1.1. Autonome/automatique et autonome/connecté : deux ambiguïtés terminologiques

Autonome ou automatique ?

De nombreux termes se côtoient, dans la littérature scientifique comme dans la presse, pour désigner l'automatisation de conduite. Les principaux sont, en langue anglaise : *automated*, *autonomous fully-automated*, *unmanned*, *self-driving* et *driverless*, et en langue française : automatique, autonome et sans conducteur. Ces adjectifs sont parfois utilisés de manière interchangeable, ou distingués, sans qu'un consensus n'existe (Park et al., 2018). Levinson (2017)¹ choisit de différencier deux ensembles de synonymes : *automated* et *self-driving* d'un côté, qui désigneraient un système d'automatisation de conduite qui peut nécessiter une intervention humaine, et de l'autre *driverless* et *autonomous*, qui indiqueraient un système n'en nécessitant jamais. Revenons plus précisément sur les définitions des deux termes les plus couramment rencontrés : autonome et automatique.

L'automatisation, s'appliquant à des objets, mécanismes ou appareils, peut être définie comme la « substitution d'une ou de plusieurs machines à l'homme pour réaliser de manière automatique un programme déterminé d'opérations »², le terme automatique se référant ici à : « qui exécute un programme préétabli d'opérations, sans intervention humaine directe »³. Nous trouvons également la définition suivante : « transformation en commande automatique de la commande manuelle d'un système »⁴, le terme automatique étant ainsi entendu : « qui fonctionne en tout ou partie sans qu'il soit besoin d'une intervention humaine »⁵. L'automatisation désigne donc un système capable de fonctionner sans intervention humaine.

L'autonomie est quant à elle définie comme « indépendance ; possibilité d'agir sans intervention extérieure. »⁶. Dans le domaine informatique, elle désigne « [...] un matériel lorsqu'il fonctionne indépendamment de tout autre. »⁷. La réception et la prise en compte de données issues d'autres systèmes techniques, en modifiant potentiellement la prise de décision, constitue dans ce cadre une intervention⁸. Dans la définition informatique, la notion de fonctionnement est préférée à celle d'action. Les systèmes informatiques sont en effet rarement agissants, soient « produisant un effet sur quelque chose ou quelqu'un »⁸, mais le

¹ [On the Differences between Autonomous, Automated, Self-Driving, and Driverless Cars, 2017-06-29, David Levinson](#)

² Centre national de ressources textuelles et lexicales, <http://www.cnrtl.fr/definition/automatisation>

³ Centre national de ressources textuelles et lexicales, <http://www.cnrtl.fr/definition/automatique>

⁴ Dictionnaire de l'Académie Française, 9^e édition, <http://www.dictionnaire-academie.fr/entry/A9A3268>

⁵ Dictionnaire de l'Académie Française, 9^e édition, <http://www.dictionnaire-academie.fr/entry/A9A3266>

⁶ Dictionnaire de l'Académie Française, 9^e édition, <http://www.dictionnaire-academie.fr/entry/A9A3281>

⁷ FranceTerme, Journal officiel du 22/09/2000, <http://www.culture.fr/franceterme/terme/INFO85>

⁸ Dictionnaire de l'Académie Française, 9^e édition, <http://www.dictionnaire-academie.fr/entry/A911794>

deviennent dans le cas de la robotique. Le terme autonomie désigne donc un système capable d'opérer sans intervention extérieure, qu'elle soit humaine ou non. Le terme autonome est synonyme d'indépendant ou d'auto-suffisant (Shladover, 2018).

Considérant ces définitions dans le cadre de l'automatisation de conduite, nous pouvons qualifier de véhicule automatique un véhicule capable d'opérer sans intervention humaine, où le travail de conduite humaine est remplacé par un système technique, et de véhicule autonome un véhicule capable de fonctionner sans aucune intervention extérieure, soit seulement grâce à des systèmes embarqués (Loro, 2014). Les capacités actuelles des systèmes embarqués interrogent la notion d'autonomie, d'indépendance. Plus précisément, les systèmes d'apprentissage machine ou *machine learning*, mobilisés pour la perception et la décision, n'ont aujourd'hui pas aboutis à des programmes permettant une conduite automatique indépendante d'autres systèmes et sécurisée dans tous les environnements. Notons à cet égard que le niveau de sécurité attendu fait lui-même débat, ainsi que la preuve qui peut en être apportée (Kalra et Paddock, 2016). Nous y reviendrons en évoquant les performances en matière de sécurité des véhicules autonomes dans le chapitre suivant.

Nous utiliserons dans la suite de notre travail le terme automatique. Par-là, nous signifions que notre objet d'étude réside bien dans les implications de la disparition de la tâche de conduite, qu'elle que soit le biais de sa mise en œuvre.

Autonome et connecté ?

Avant cela, revenons sur une seconde ambiguïté terminologique qui a trait à l'automatisation de conduite : l'association entre véhicule autonome et véhicule connecté, visible par exemple dans la définition du véhicule autonome publiée au Journal officiel le 11 juin 2016⁹ :

« Véhicule connecté qui, une fois programmé, se déplace sur la voie publique de façon automatique, sans intervention de ses utilisateurs. »

Le véhicule connecté, désigne un véhicule équipé d'un module de télécommunication capable d'échanger des informations avec d'autres appareils de l'environnement. Ces communications sont nommées *vehicle-to-everything (V2X)* (Shladover, 2017 ; Park et al., 2018). Les développements des systèmes d'automatisation de conduite et de télécommunications dédiés aux véhicules sont concomitants. Ces derniers permettent d'offrir différents services aux automobilistes, comme la fourniture d'informations en temps réel ou le

⁹ [Journal officiel électronique authentifié n° 0135 du 11/06/2016](#)

déclenchement de systèmes de sécurité à distance, tels que recensés en douze groupes par le Ministère des transports des Etats-Unis¹⁰. L'amélioration « convergente » des systèmes embarqués et des systèmes de télécommunication pour permettre l'automatisation de conduite est toutefois une hypothèse largement discutée par les spécialistes du domaine (Lipson et Kurnan, 2016). Nous détaillons les différentes options techniques possibles pour la mise en œuvre de l'automatisation de conduite dans la section suivante.

1.1.2. Niveaux d'automatisation, rôle des infrastructures et mode d'exploitation

Comme le montre la récurrence de l'association entre automatisation de conduite et « connectivité », la nécessité du recours aux infrastructures de télécommunications pour l'automatisation de conduite est un débat central. Shladover (2017) désigne également le niveau d'automatisation comme un attribut essentiel pour la caractérisation de l'automatisation de conduite. Après avoir détaillé ces deux points, nous sollicitons des classifications des systèmes de transport automatiques qui considèrent d'autres aspects jugés importants : la capacité des véhicules, leur mode d'exploitation et les infrastructures physiques nécessaires.

La place des télécommunications dans l'automatisation de conduite

Le véhicule automatique, selon la nécessité des télécommunications pour son fonctionnement, est distingué entre autonome et coopératif. Le véhicule automatique coopératif est donc un véhicule connecté.

Dans les deux cas, pour qu'un véhicule soit automatique, le système d'automatisation doit prendre en charge les différentes fonctions permettant la conduite. Elles sont décrites de plusieurs manières dans la littérature :

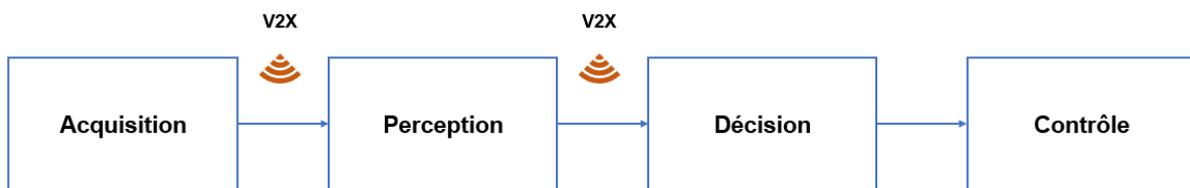
- localisation, planification, navigation et mobilité (Durrant-Whyte, 2001)
- perception, navigation, contrôle et supervision (Ibanez-Guzman et al., 2012)
- acquisition, perception, localisation, planification du mouvement, contrôle de trajectoire et « couche réactive » (Ziegler et al., 2014)
- localisation, perception, planification, contrôle du véhicule et gestion du système (Jo et al., 2015)

¹⁰ [Key Concepts of the National ITS Architecture](#)

- acquisition, perception, décision, contrôle et actionnement (Gonzalez et al., 2015)
- perception, compréhension, planification de l'action, planification de la trajectoire et contrôle (Dietmayer, 2016)
- perception, localisation et cartographie, planification de la trajectoire, prise de décision et contrôle (Van Brummelen et al., 2018)

Malgré la variabilité des dénominations utilisées, du nombre de fonctions décrites, certaines omises par amalgame ou métonymie, et de la répartition des sous-tâches entre les différentes fonctions, un schéma général se dégage. En vue de décrire les deux grandes configurations technologiques susmentionnées, nous adoptons une représentation graphique (Fig. 1) élaborée à partir des articles de Van Brummelen et al. (2018), Gonzales et al. (2015) et Jo et al. (2015) (Annexe 1). Afin d'explicitier la place tenue par les télécommunications, nous représentons l'échange d'informations entre le véhicule et son environnement par le symbole : **v2X** . Nous présentons ensuite l'articulation des principales fonctions et les technologies utilisées pour leur accomplissement, sans prétendre à l'exhaustivité ou à une comparaison de leur performance.

Figure 1 : Schéma des fonctions principales du système d'automatisation de conduite



Nous distinguons donc quatre fonctions du système d'automatisation de conduite : acquisition, perception, décision et contrôle. Décrivons leur fonctionnement dans le cas d'un véhicule dit autonome.

La fonction d'acquisition consiste à récolter des informations décrivant l'environnement de conduite et l'état du véhicule. Elle est basée sur le fonctionnement de capteurs chargés de transformer une grandeur physique en une grandeur numérique susceptible d'être utilisée par un système informatique. Nous trouvons trois principales catégories de capteurs physiques : proprioceptifs, responsables de la perception de l'état du véhicule ; extéroceptifs, responsables de la détection de l'environnement, et de localisation (Gonzales et al., 2015 ; Litman, 2017). Dans la première catégorie, les principaux capteurs sont : l'odomètre, la centrale inertielle, le gyroscope, le gyromètre, l'accéléromètre et le bus *CAN (Controller Area Network)* (Van Brummelen et al., 2018). Dans la seconde catégorie, nous trouvons des capteurs basés sur la mesure des rayonnements électromagnétiques ou acoustiques : RADAR, de courte (30 mètres) ou de longue (200 mètres) portée, ultrasonique ou à ondes

millimétriques ; LIDAR, émettant de courtes pulsations de lumière laser ; SONAR, utilisant des ondes sonores de haute fréquence, ou encore des caméras fonctionnant dans divers spectres : visible, proche infrarouge et infrarouge (Nashashibi et al., 2018 ; Van Brummelen et al., 2018 ; Dietmayer, 2016). Dans la dernière catégorie, les capteurs de localisation, se trouvent le GPS et les systèmes de navigation à l'estime des centrales inertielles (Van Brummelen et al., 2018). La nature et le nombre des capteurs utilisés dépendent des données nécessaires, de l'encombrement du véhicule, de leur consommation énergétique, du niveau de sécurité attendu et de leurs coûts (Gissing et Le Fort-Piat, 2002).

La fonction de perception consiste en l'interprétation des informations recueillies à la phase d'acquisition afin de créer un modèle dynamique comprenant la position du véhicule, la nature de son mouvement (direction et vitesse) et son environnement (Jo et al., 2015). Les données précédemment recueillies, issues de plusieurs sources, sont combinées en vue d'améliorer la qualité, la fiabilité et la robustesse, palliant par la même occasion les limitations individuelles, défaillances ou mauvaises conditions de fonctionnement des capteurs (Bresson et al., 2016 ; Gissing et Le Fort-Piat, 2002, p. 49). En effet, les propriétés des capteurs varient en matière de précision, de sensibilité, de portée, d'angle de vue et de robustesse face aux perturbations extérieures (Ehrlich, 2016). La fusion des données peut être réalisée entre des capteurs de différents types, dite fusion croisée, ou de même type, dite fusion compétitive.

Deux types de traitement de données ont lieu, l'un concerne la perception de l'environnement et l'autre la localisation. Le premier utilise essentiellement les informations issues des capteurs extéroceptifs et des algorithmes de perception. Une vision locale est ainsi construite, particulièrement par le repérage et la classification des obstacles (Zhang et al., 2018a). C'est à cette étape que les avancées techniques récentes, plus précisément la combinaison de l'amélioration des processeurs graphiques et des algorithmes d'apprentissage, permettraient une interprétation de l'environnement suffisante (Stigloe, 2018). Le second mobilise les informations du système GPS et des capteurs proprioceptifs dans des « modèles de comportements dynamiques » (Nashashibi et al., 2018). Le standard actuel du système mondial de navigation par satellite (GNSS) doit toutefois être renforcé (Ehrlich, 2016). Les informations issues de ces deux processus sont ensuite assemblées selon deux techniques principales : à partir d'une carte haute définition, en établissant une correspondance entre environnement et localisation observés ou à partir d'une cartographie en temps réel, méthode appelée SLAM (*simultaneous localization and mapping*).

La fonction de décision détermine les manœuvres à effectuer par le véhicule à partir de la simulation de son environnement et de sa position. Les techniques de navigation utilisées sont importées de la robotique et fonctionnent selon un arbitrage entre chemin global

et circulation locale (Gonzales et al., 2015 ; Jo et al., 2015). La gestion du chemin global consiste à trouver le chemin le plus court entre la position de départ et la position cible. Les algorithmes majoritairement utilisés à ce niveau sont dits de recherche dans un graphe (Gonzales et al., 2015). La circulation locale détermine la trajectoire du véhicule en évaluant la situation de conduite à partir du chemin global et des informations de perception de l'environnement. Les techniques utilisées pour la détermination de la trajectoire sont principalement l'échantillonnage et l'interpolation (Gonzales et al., 2015).

La fonction de contrôle du véhicule met en œuvre la trajectoire déterminée. Des « actionneurs » transmettent au véhicule, à travers des lois de contrôle, des indications de direction, de freinage et d'accélération (Ehrlich, 2016). Les techniques de contrôle à modèle interne, et particulièrement la commande prédictive, sont utilisées.

Nous avons jusqu'à présent décrit la configuration de la circulation d'un véhicule autonome, voyons à présent celle dans le cas d'un véhicule dit coopératif, où l'automatisation est permise par l'échange de données avec des éléments extérieurs par le biais de télécommunications.

Le véhicule automatique coopératif est équipé d'un module de télécommunication. Il s'agit d'un véhicule connecté. Ces communications, appelées *V2X*, sont de plusieurs types : entre véhicules (*V2V*), avec les infrastructures (*V2I* et *I2V*), ou encore avec des piétons et cyclistes, au travers de leur *smartphone* (*V2P*). Les techniques dans le domaine ont connu une évolution propre, particulièrement les communications *I2V* provenant des feux de circulation. Ce dispositif est mondialement répandu, très présent au Japon et à Singapour, il a été développé en réponse à l'augmentation du volume de circulation automobile (Kellerman, 2018). La transmission des données peut être assurée par différentes technologies : réseaux infrarouge, hertziens, RFID, cellulaires, Wifi ou encore Bluetooth. Deux technologies sont principalement mises en œuvre dans les expérimentations actuelles et font l'objet de standardisations au niveau européen : le Wifi véhiculaire, ou C-ITS G5, basé sur des communications à haut débit de courte portée, et la 5G, dernière évolution du réseau cellulaire, adaptée à la portée kilométrique (Ehrlich, 2016). Une combinaison de ces deux technologies est également envisageable (Zhang et al., 2018a). En effet, la performance de ces technologies varie en matière de fiabilité, de consommation d'énergie, de débit, de portée, de temps de mise en relation, d'itinérance et de propagation, elles pourraient être utilisées alternativement selon la nature du message (Nashashibi et al., 2018 ; Ehrlich, 2016).

Ainsi, le support d'un réseau de télécommunication permet de pallier plusieurs limites des systèmes d'automatisation de conduite. Les échanges d'informations interviennent lors de deux phases : acquisition et perception (Fig. 1). A l'acquisition, ils prodiguent des

informations supplémentaires par rapport aux capteurs embarqués, qui, intégrées au processus de vérification, permettent une meilleure détection des éléments de l'environnement (Rondinone et al., 2018). A la perception, ils adressent les limites de l'utilisation de cartes numériques embarquées extrêmement précises aux besoins de mises à jour importants, et celles de la méthode *SLAM*, qui demande une grande puissance de calcul (Dietmayer, 2016). De manière générale, les besoins computationnels, particulièrement dans des environnements complexes, comme les contextes urbains, aboutissent, du fait du temps d'exécution des algorithmes de perception, à des fenêtres temporelles de prise de décision trop réduites (Gonzales et al., 2015). Les communications *I2V* permettent donc l'amélioration de la précision de la localisation, la prise en compte d'évènements en dehors de la ligne de mire du véhicule et le téléchargement de cartographies locales (Van Brummelen, 2016 ; Zhang et al., 2018a). Les développements actuels se dirigent donc notamment vers la conception de systèmes intégrés, afin de répartir la puissance de calcul entre véhicule et infrastructure (Zhang et al., 2018a). Cependant, les communications *V2X* amènent de nouvelles problématiques en matière de cybersécurité et créent des délais de latence.

La position des spécialistes varie quant à la nécessité de communications *V2X* pour l'automatisation de conduite. Les principaux arguments avancés en faveur du véhicule coopératif sont un coût global moins élevé (Ibanez-Guzman et al., 2012), un moyen d'améliorer la sécurité et l'efficacité des systèmes de conduite automatique (Zhang et al., 2018a) et la possibilité de coordonner et de contrôler la circulation, et donc d'améliorer l'utilisation des routes (Rondinone, 2018). A l'opposé, l'inutilité des investissements dans une nouvelle couche infrastructurelle très coûteuse, et potentiellement rapidement obsolète, est dénoncée. D'autant que les financements en question pourraient être engagés dans des recherches en robotique (Lipson et Kurman, 2017).

La nécessité d'un réseau de télécommunications pour l'automatisation de conduite est discutée. Celui-ci permettrait de pallier les limites de fonctionnement des systèmes d'automatisation de conduite actuels, mais également s'avérer obsolète rapidement, notamment avec le développement de nouvelles solutions robotiques. Plus généralement, la formulation des systèmes d'automatisation de conduite montre une forte variabilité, s'agissant notamment des capteurs, des algorithmes ou encore des types d'échanges *V2X* utilisés (Stigloe, 2018).

Après cette synthèse sur la place des réseaux de télécommunications dans l'automatisation de conduite, voyons un autre point central de la caractérisation de cette technologie : les différents niveaux d'automatisation.

Les classifications des niveaux d'automatisation de conduite, une prédominance des nomenclatures basées sur des considérations juridiques

Plusieurs classifications de l'automatisation de conduite se côtoient. Shladover (2012) en distingue quatre. La première, présentée précédemment, distingue les véhicules automatiques selon leur dépendance aux réseaux de télécommunications. La seconde est fondée sur la définition des fonctions de conduite automatisables. La troisième repose sur une typologie de la complexité de l'environnement de conduite définie selon la nature de la route, la circulation (densité et vitesse), les conditions météorologiques et les difficultés opérationnelles (qualité de la route, événements, incidents). Finalement, la quatrième s'appuie sur la répartition des rôles entre « conducteur » et système d'automatisation.

Les travaux du BAST¹¹ (2012), institut fédéral allemand de recherches routières¹², ont été déterminants dans le développement de cette dernière approche (Gasser et Westhoff, 2012). Motivée par des besoins d'analyse juridique, d'étude de la responsabilité, elle traite de la répartition de la décision entre machine et humain. Les deux nomenclatures les plus utilisées actuellement ont été établies dans leur continuité. Par ordre d'apparition, celle contenue dans « *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles* » (2013) de la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA), agence fédérale chargée de la sécurité routière des Etats-Unis, et la « *Standard J30016 : Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems* » (2014), mise à jour en 2016 et 2018, de la *Society of Automotive Engineers International* (SAE), association professionnelle internationale des domaines de l'automobile et de l'aérospatiale, active dans la production de normes. Cette seconde nomenclature s'est imposée, comme le montre son adoption par la NHTSA en 2016¹³ (Herrmann et al., 2018).

Ces nomenclatures présentent les niveaux d'automatisation de manière hiérarchique, de l'absence d'automatisation à l'automatisation complète. Cependant, le nombre de niveaux diffère. Ils sont cinq dans celles du *BAST* et de la *NHTSA* et six dans celle de la *SAE* (2018). La définition des quatre premiers niveaux est semblable. Concernant le premier niveau, les nomenclatures s'accordent sur le fait que les systèmes de sécurité¹⁴ ne constituent pas des éléments d'automatisation. Le second niveau est défini par la délégation au système d'automatisation du contrôle latéral ou longitudinal du véhicule. Le conducteur reste impliqué physiquement dans la conduite. Le troisième niveau consiste en la délégation des fonctions

¹¹ Bundesanstalt für Straßenwesen

¹² Traduction de l'autrice (Dictionnaire en ligne LEO : <https://www.leo.org/allemand-français>)

¹³ <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>

¹⁴ Comme par exemple les systèmes d'avertisseur de collision, de détection de déviation de la trajectoire, de détection d'obstacles transversaux ou de reconnaissance de la signalisation

de contrôle latéral et longitudinal, permettant au conducteur de se désengager physiquement de la conduite. Il doit cependant superviser le véhicule de manière permanente. Ces deux niveaux d'automatisation sont actuellement disponibles. Toutefois, l'interaction entre véhicule et conducteur reste délicate du fait du transfert de contrôle récurrent, qui doit être réalisé de manière sécurisée (Blanco et al., 2015 ; Herrmann et al., 2018). Le quatrième niveau consiste également en la délégation des fonctions de contrôle latéral et longitudinal au système d'automatisation, mais le conducteur peut cette fois ne plus prêter attention au contrôle du véhicule, sous réserve de pouvoir reprendre la main dans un laps de temps qualifié de « confortable » (NHTSA, 2013). Le « cinquième » niveau d'automatisation : « *High Driving Automation* » ne figure que dans la nomenclature de la SAE. Il consiste en une automatisation complète du véhicule, où aucune intervention du conducteur n'est attendue, mais dans un périmètre délimité géographiquement, un espace désigné sous le terme d'« *operational design domain* » (ODD). Finalement, le dernier niveau, l'automatisation complète, où le système d'automatisation assure l'ensemble des fonctions de conduite dans tous types d'environnements, est commun aux trois classifications.

Nous ferons référence à la classification en six niveaux de la SAE (2018) dans la suite de notre travail. La description détaillée des trois nomenclatures est disponible à l'Annexe 2.

Ces trois classifications ont toutefois fait l'objet de plusieurs critiques :

- la décorrélation entre les niveaux d'automatisation décrits et les difficultés techniques associées, par exemple, le niveau SAE 3 suggère la capacité d'identifier les situations de conduite non gérées par le système dans une limite temporelle compatible avec la reprise en main, ou encore de définir un mode de fonctionnement critique dans le cas où le conducteur ne répond pas à la requête de reprise en main (Loro, 2014) ;
- l'absence de description de la complexité de l'environnement de conduite (Loro, 2014), ainsi, les niveaux d'automatisation SAE 3, SAE 4 et SAE 5 peuvent atteindre le même niveau de performance selon la complexité de l'environnement de conduite ;
- le classement sous forme numérique suggère qu'il s'agit du processus de développement technologique.

Il n'est cependant pas représentatif, des « chemins de développement » qui se dégagent, l'un selon le niveau de ségrégation (Alessandrini et al., 2015) (Fig. 2) et l'autre selon l'ampleur de la zone géographique de déploiement, comme l'expose Emilio Frazzoli, directeur technique de la start-up *Nutonomy*, en 2018 (Fig. 3).

Figure 2 : Processus d'automatisation selon le niveau d'automatisation et niveau de ségrégation (Alessandrini et al., 2015)

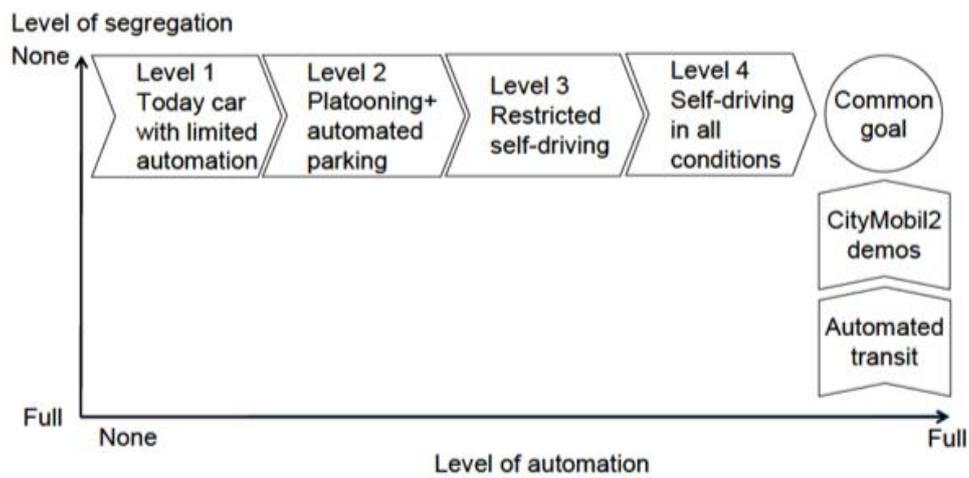
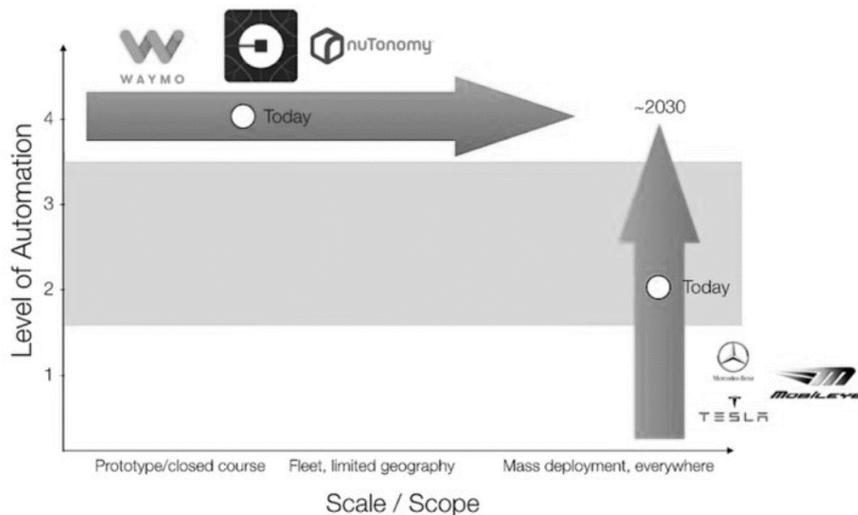


Figure 3 : Processus d'automatisation selon le niveau d'automatisation et la zone géographique de déploiement (Frazzoli, 2018)

Paths to Level 4



L'ensemble de ces remarques fait écho à des critères présents dans d'autres classifications, auxquelles nous avons fait référence au début de cette rubrique. Les nomenclatures actuellement utilisées sont donc surtout empreintes des besoins de définitions légales, particulièrement de la répartition de la responsabilité civile et pénale entre passagers et concepteurs.

Dans l'objectif de poursuivre la présentation des débats de définition autour du véhicule automatique, nous exposons dans la section suivante les classifications des systèmes de transport routiers automatiques.

Les classifications des systèmes de transport automatiques, un canevas pour la description des différentes applications du véhicule automatique

Au sein des classifications présentées précédemment, les distinctions reposent principalement sur des nécessités légales pour ce qui est du niveau d'automatisation et sur des formulations technologiques différenciées pour ce qui est de la distinction entre autonome et coopératif. Le véhicule automatique peut également être intégré dans des nomenclatures plus larges, rassemblant différents systèmes de transport. Le mot système est ici entendu comme « une technologie élémentaire pour déplacer une entité entre deux lieux ». Le véhicule routier automatique entre ainsi dans des catégorisations de services de transports publics automatiques, ainsi définis : « services de transport de passagers disponibles à toute personne payant un certain tarif, dont il n'est pas nécessaire qu'ils soient opérés par un conducteur » (Liu, 2016 ; traduction de l'auteur). Nous trouvons deux catégorisations de ce type, l'une proposée par Liu (2016) (Fig. 4) et l'autre par Kyomans et al. (2013), reprise par Innamaa et al. (2018) (Fig. 5).

Figure 4 : Catégorisation des systèmes de transport automatiques (Liu, 2016)

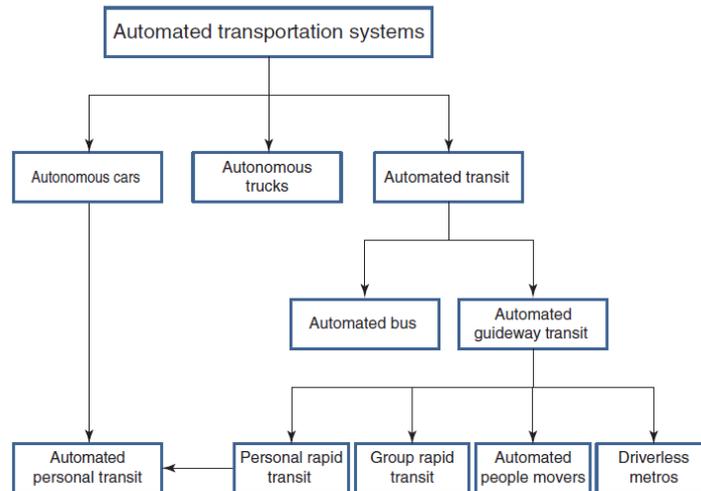
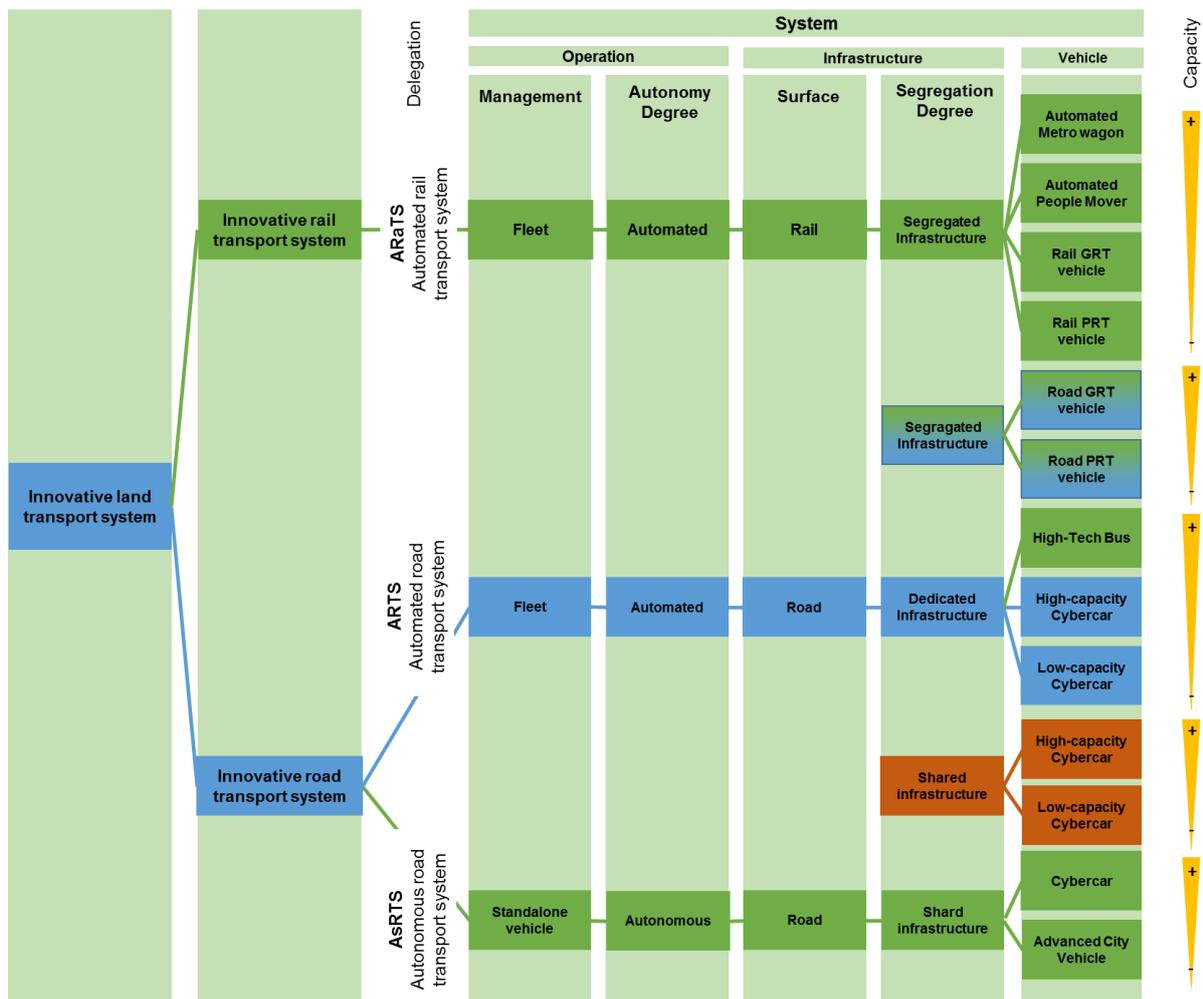


FIGURE 1.3 Automated Transportation.

La représentation hiérarchique proposée par Liu (2016) comporte trois niveaux. Le premier distingue transport privé : « *autonomous car* », voiture automatique, et transport public : « *automated transit* », transports en commun automatiques. Le second niveau divise la catégorie des transports en commun automatiques en deux ensembles selon le critère de présence d'une infrastructure de guidage : « *automated guideway transit* », transports en commun guidés automatiques, et « *automated bus* », bus automatiques. A noter, aucun système de ce dernier type n'est actuellement en service, même si certaines fonctions de conduites automatisées ont été testées et parfois intégrées (Liu, 2016). Au troisième niveau, les transports guidés automatiques sont distingués selon la taille des véhicules utilisés, leur capacité et leurs caractéristiques d'opération. Le mode « *personal rapid transit* » (*PRT*), défini comme un service de station à station à la demande utilisant des véhicules d'une capacité d'une à cinq places et opérant sur une infrastructure guidée apparaît proche de l' « *automated personal transit* » ou transport personnel automatique, son équivalent routier, sans infrastructures de guidage, et donc possiblement sans stations prédéfinies.

Le transport personnel automatique est donc discriminé des autres services de transport automatisés selon deux dimensions : la présence d'une infrastructure de guidage et la capacité des véhicules, il se distingue du *PRT* par la nature de l'infrastructure nécessaire et du bus automatique par sa capacité. De plus, il se différencie de la voiture automatique par ses caractéristiques d'opération, selon une dichotomie individuel/collectif.

Figure 5: Catégorisation des systèmes de transport automatiques (Kyomans et al., 2013, cités par Innamaa et al., 2018 ; reproduction de l'auteure)



La classification de Kyomans et al. (2013) prend également la forme d'une arborescence. Le premier niveau de distinction concerne l'infrastructure d'opération, ferroviaire ou routière. Au sein des systèmes de transports automatiques routiers, une différenciation est réalisée entre systèmes dits automatiques (ARTS) et systèmes dits autonomes (AsRTS). Ces deux ensembles se distinguent par leurs caractéristiques d'opération, en flotte pour les premiers, individuellement pour les seconds, et par leur degré d'autonomie. Les deux derniers niveaux portent sur le niveau de ségrégation avec l'infrastructure routière : dédiée, séparée ou partagée, et sur la capacité des véhicules. Neuf types de systèmes automatiques routiers sont ainsi décrits.

Cette sous-partie avait pour objectif de définir le véhicule automatique techniquement et de caractériser ses différentes applications. Les nomenclatures présentées, qu'elles soient centrées sur le véhicule personnel ou plus générales, nous ont permis de dégager les dimensions discriminantes d'un mode de transport automatique routier : niveau d'automatisation, capacité des véhicules, infrastructures nécessaires (physiques et de télécommunications) et type d'opération (individuel ou collectif).

Les distinctions techniques présentées sont naturellement le fruit d'évolutions historiques. Pour mieux appréhender le contexte actuel de développement du véhicule automatique, nous détaillons ces dernières dans la prochaine sous-partie.

1.2. De l'application de nouvelles technologies à la formation d'une filière industrielle

La phase de développement actuelle du véhicule automatique et les formulations techniques que nous avons pu détailler sont le résultat de recherches quasi centenaires. Afin de mettre la situation en perspective, nous nous penchons sur le déroulement chronologique de ces recherches. Nous relatons donc les différents épisodes d'investissements que cette technologie a connus depuis les années 1930 (1.2.1) et décrivons ensuite les dynamiques industrielles récentes (1.2.2). Nous présentons finalement l'action publique menée à l'échelle nationale dans des pays fortement impliqués dans le développement de cette technologie, et à l'échelle internationale (1.2.3).

1.2.1. Un développement technologique historiquement bicéphale

Le véhicule automatique, capable de se diriger sans conducteur, a fait l'objet de diverses tentatives de mise en œuvre depuis le début du XX^{ème} siècle. Dans les années 1920, les progrès dans les domaines de l'aviation et du guidage radio permettent la conception de deux prototypes. Le premier est présenté par la *Radio Air Service* à Payton (Ohio) en 1921, le second par la *Houdina Radio Control Compagny* à New York en 1925 (Kröger, 2016). Leur fonctionnement repose sur un contrôle par signal radio, émis depuis une voiture suiveuse. Il s'agit ainsi davantage de véhicules télécommandés qu'automatiques.

En 1939, le concept « *hands free, feet free driving* » ou d'autoroute électronique (*electronic highway*) de Norman Bel Geddes est présenté lors de la Foire Internationale de

New York, au sein de l'exposition *Futurama*, sponsorisée par *General Motors*. Le système en question est également basé sur le contrôle radio (Lipson et Kurman, 2017, p. 108). Son développement débute à la fin des années 1950.

En 1958, un partenariat entre la *Radio Corporation of America Labs* et *General Motors* donne lieu à une démonstration sur une distance d'une centaine de mètres dans la périphérie de Lincoln (Nebraska). Le guidage du véhicule est assuré grâce à des circuits détecteurs incrustés dans la route (Wetmore, 2003 ; Lipson et Kurman, 2017). Au début des années 1960, l'idée se répand. Un projet expérimental est envisagé par le *Bureau of Public Roads*, ancêtre de la *Federal Highway Administration*, agence du Ministère des transports des Etats-Unis responsable des autoroutes, et une série de tests de véhicules guidés par câbles magnétiques est réalisée par le *United Kingdom Road Research Laboratory*, aujourd'hui *Transport Research Laboratory* (Bimbraw, 2015). La voiture automatique est donc initialement pensée en relation avec l'infrastructure routière (Wetmore, 2003).

La fin des années 1960 est marquée par la remise en cause de la faisabilité économique de tels dispositifs. Le rapport « *The Electronic Highway* », de Robert E. Fenton et Karl W. Olson en 1969, estime le coût de ces équipements entre 20 000 et 200 000 \$ par mile (Lipson et Kurman, 2017). Par ailleurs, les préoccupations sécuritaires et environnementales ont pris le pas. Les normes de sécurité se durcissent aux Etats-Unis à la suite de la parution de « *Unsafe at Any Speed* » de Ralph Nader en 1965 et le choc pétrolier de 1973 montre la nécessité de limiter la consommation de carburant des véhicules et de normes environnementales plus strictes (Lipson et Kurman, 2017 ; Kröger, 2016).

Les recherches sur l'automatisation de conduite s'intensifient de nouveau au début des années 1980, selon deux axes. D'un côté, les travaux sur l'autoroute électronique se poursuivent en se réorientant vers l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, qui font leur apparition à cette période. De l'autre, les recherches s'ancrent dans le domaine robotique et profitent des développements de la microélectronique et des premiers ordinateurs de bord pour se concentrer sur l'automatisation des fonctions de conduite plutôt que sur la complémentarité avec l'infrastructure. Ainsi, aux Etats-Unis, l'« *Intermodal Surface Transportation Efficient Act* », promulgué en 1991, crée IVHS¹⁵ *America*, chargé d'équiper les autoroutes en matériel électronique et de télécommunications, et programme la réalisation d'un banc d'essai de l'autoroute automatique (Lipson et Kurman, 2017, p. 131). Afin de mener à bien ce second objectif, un appel à consortium est lancé en 1991. Il est remporté en 1994 par un groupement de cent vingt membres¹⁶ dont *General*

¹⁵ *Intelligent Vehicle and Highway Systems*

¹⁶ Dont notamment *Caltrans, Delco, Parsons Brinckerhoff, Bechtel, Lockheed Martin* (Bimbraw, 2015)

Motors a la tête (Wetmore, 2003). Le banc d'essai est mis en œuvre à l'été 1997 à San Diego, sous le nom de *Demo'97*. A la suite de cette démonstration, le système d'autoroute électronique est considéré comme irréalisable. Les financements accordés par le Ministère des transports cessent (Lipson et Kurman, 2017).

Parallèlement, d'autres prototypes issus de l'application des dernières innovations robotiques aux véhicules voient le jour : « *The Intelligent Vehicle* » du *Tsukuba Mechanical Engineering Laboratory* de l'Université de Tsukuba en 1977, la « *Stanford Cart* » de l'*Artificial Intelligence Laboratory* de l'Université de Stanford en 1979 et le « *CMU Rover* » du *CMU Robotics Institute* de l'Université de Carnegie Mellon en 1981. Ils montrent la meilleure performance de la résonance visuelle par ordinateur par rapport à l'électromagnétisme par câbles. Ainsi, ils marquent un tournant dans la manière de concevoir l'automatisation des véhicules (Bimbraw, 2015 ; Kröger, 2016). Considérant ces avancées, de nombreux projets nationaux et internationaux voient le jour à la fin des années 1980 (Kröger, 2016). Les projets *ALV*¹⁷ (1985-1988) et *PROMETHEUS*¹⁸ (1987-1995) en sont des exemples marquants. *ALV* est un projet de la *DARPA*¹⁹, cellule de recherche du Ministère des Armées des Etats-Unis, ayant pour objectif le développement de véhicules automatiques militaires. *PROMETHEUS* est un projet européen engagé sous l'impulsion de l'industrie automobile allemande. Il réunit constructeurs automobiles, universités, instituts de recherche, fabricants d'électronique et équipementiers européens. Il s'inscrit notamment dans la poursuite des travaux d'Ernst Dickmanns de l'Université de la Bundeswehr de Munich (Schaub, 2018).

Les recherches se focalisent donc sur les véhicules robotisés, dont les performances ont été confirmées par les projets *PROMETHEUS* et *ALV* et dont la faisabilité est renforcée par la puissance grandissante et la baisse du prix des microprocesseurs. Aux Etats-Unis, le « *2001 U.S. Congressional mandate* » stipule qu'un tiers des véhicules militaires utilisés en zone de guerre devra être automatique à l'horizon 2017. La coordination du développement des technologies nécessaires est confiée à la *DARPA* (Lipson et Kurman, 2017). L'agence décide d'organiser des compétitions entre spécialistes du domaine. Un dispositif qui avait déjà été mis en œuvre pour le développement d'autres types de robots, comme ceux d'intervention post-catastrophe (Lipson et Kurman, 2017). C'est ainsi que débute la série des *Grand DARPA Challenges*, courses de véhicules automatiques (Schaub, 2018).

La première édition a lieu en mai 2004 dans le désert des Mojaves et compte quinze participants. Aucun d'entre eux ne parviendra à réaliser les cent quarante-deux miles du

¹⁷ *Autonomous Land Vehicle*

¹⁸ *PROMETHEUS* est une des trois principaux projets du programme EUREKA, initiative intergouvernementale lancée le 17 juillet 1985 par la signature de la Déclaration de Hanovre et visant à améliorer la compétitivité européenne par le soutien au développement de produits et de services innovants.

¹⁹ *Defense Advanced Research Projects Agency*

tracé (Schaub, 2018). La seconde édition se déroule dans le même environnement en octobre 2005, sur un parcours de cent trente-deux miles. Cinq équipes des vingt-trois engagées parviennent à terminer la course. L'équipe gagnante, « *Stanley* » de l'Université de Stanford, a utilisé des algorithmes d'apprentissage pour la programmation de son véhicule (Lipson et Kurman, 2017). La dernière édition, en novembre 2007, a lieu sur une base militaire aménagée afin de simuler un environnement urbain. Les véhicules doivent effectuer diverses manœuvres imposées. Six des onze véhicules engagés franchissent la ligne d'arrivée, dont trois sans aucune intervention humaine (Schaub, 2018). Ces compétitions font la démonstration des avancées techniques réalisées et marquent le début du regain d'intérêt de l'industrie pour l'automatisation de conduite (Schaub, 2018 ; Herrmann et al., 2018).

1.2.2. Un emballement industriel à l'issue encore incertaine

La dernière édition des *Grand DARPA Challenge* marque donc le passage de la recherche militaire et universitaire au développement industriel (Herrmann et al., 2018). Le programme de recherche de l'entreprise *Google* : « *Google car project* », débuté en 2009, joue un rôle important dans cette transition²⁰. Sponsor du *Grand DARPA Challenge* de 2005, l'entreprise recrute deux de ses participants, Sebastian Thrun et Chris Urmson de l'Université de Carnegie Mellon, à la tête de ses activités dans le domaine (Lipson et Kurman, 2017 ; Schaub, 2017). *Google* organise de premiers tests en conditions réelles en 2012 dans l'État du Nevada (Anderson et al., 2014).

Les annonces des constructeurs automobiles sur la disponibilité imminente de cette technologie, à l'horizon 2020, se multiplient dès lors : Carlos Ghosn (*Renault-Nissan*) en août 2013²¹, Mark Fields (*Ford*) en juillet 2015²² ou encore Harald Krüger (*BMW*) en mai 2016²³. De nombreux prototypes sont également présentés (Attias, 2017). *Alphabet* crée *Waymo* en 2016, filiale dédiée à l'automatisation de conduite. Cela catalyse l'attention et accélère les initiatives. Les recherches sur les systèmes d'automatisation ne sont toutefois pas nouvelles pour la filière automobile. Il s'agit donc de les redynamiser et de faire la démonstration des avancées réalisées en matière d'aides à la conduite, dites aussi *ADAS*²⁴ (Poczter et Jankovic, 2014). Le secteur « numérique » se montre également particulièrement actif, à travers les stratégies de grands groupes (*Amazon, Apple, Intel, Nvidia, Microsoft, Baidu, Alibaba, Didi,*

²⁰ « Autonomous vehicles. Who is behind the wheel ? », Special Report, in *The Economist*, 01.03.2018

²¹ [Site internet de Nissan \(Etats-Unis\)](#)

²² Robequain, Lucile, « Dans le Michigan, une ville artificielle pour tester les voitures sans chauffeur », in *Les Echos*, 28.07.2015

²³ [Site internet de BMW](#)

²⁴ Advanced Driver Assistance Systems

Softbank, Sony, etc.) et l'émergence de start-ups, *Drive.ai, Cruise, Zoox* et *Nutonomy* pour les plus connues. Cette dernière a d'ailleurs été la première à expérimenter un service de taxis automatiques dans un quartier d'affaires de Singapour. Un mouvement accompagné des prédictions optimistes des cabinets de conseil, insistant sur le potentiel lucratif et révolutionnaire de cette technologie, par exemple dans : « *Self-driving cars : Are we ready ?* » (*KPMG, 2013*) ; « *Self-driving vehicles, robo-taxis, and the urban mobility revolution* » (Lang et al., 2016) ou « *Accelerating the Future: The Economic Impact of the Emerging Passenger Economy* » (*Strategy Analytics, 2017*). Des rapports dithyrambiques sur les effets du véhicule automatique sur la mobilité, et plus largement sur la société (Orfeuil et Leriche, 2019).

De multiples mouvements d'entreprises ont également lieu. Ils sont de trois types : acquisition de start-ups, comme l'achat de *Cruise Automation* par *General Motors* en mars 2016, celui de *Argo AI* par *Ford* en février 2017 ou encore celui de *Mobileye* par *Intel* en mars 2017 pour les plus conséquentes ; appariement entre constructeurs automobiles traditionnels et entreprises du « numérique », à l'instar de *General Motors et Lyft* en janvier 2016, de *Volvo et Uber* en août 2016, de *Renault-Nissan-Mitsubishi et Google* en septembre 2018 ou encore de *SoftBank et Toyota* en novembre 2018 ; et le rapprochement entre constructeurs automobiles, comme dans le cas de *Honda et General Motors* en octobre 2018 et de *Daimler et BMW* en février 2019²⁵. Aux Etats-Unis, grandes entreprises du numérique (*Google, Uber, Lyft*) et constructeurs automobiles (*Ford et Volvo*) s'allient au sein de la : « *Self-driving coalition for safer streets* », afin d'exiger un assouplissement des règles d'expérimentation et un cadre juridique dédié aux véhicules automatiques.

Cette dynamique s'est depuis largement ralentie, sous l'effet de la crise sanitaire du Covid-19 et des possibilités techniques réelles²⁶. L'accident mortel impliquant un véhicule automatique test de la société *Uber* survenu le 19 mars 2018 à Tempe, dans la périphérie de Phoenix (Arizona) était un des premiers signes d'achoppement. La firme, ainsi que *Nvidia* et *Toyota*, avaient alors freiné leurs essais.

C'est toutefois plus récemment que des signes de ralentissement notables sont apparus. Un fléchissement qui se manifeste de plusieurs manières. Des start-ups de premier plan se sont montrées en difficulté, comme *Drive.ai*, acquise en situation de faillite par *Apple* en juin 2019, ou *Zoox*, achetée par *Amazon* en juin 2020 à un niveau de valorisation deux fois moins important qu'un an auparavant²⁷. Les entreprises de VTC *Uber* et *Lyft* ont quant à elles cédé leur division dédiée à la recherche sur l'automatisation de conduite, respectivement à

²⁵ Demoux, Pierre, « Voiture autonome : 4 questions sur une révolution », *Les Echos*, 01.03.2017 ; Béziat, Eric et Boutelet, Cécile (Berlin, correspondance), « Alliances en série avec les GAFAs pour préparer la voiture du futur », *Le Monde*, 27.02.2019.

²⁶ Steinmann, Lionel, « Voiture autonome : Google fonce, les constructeurs lèvent le pied », *Les Echos*, 10.10.2020

²⁷ Piquard, Alexandre, « La voiture autonome, de la folie à l'âge de raison », *Le Monde*, 10.04.2021

Aurora en décembre 2020 et *Toyota* en avril 2021²⁸. Enfin, les budgets des entreprises impliquées ont été revus à la baisse, une diminution des investissements, annulés ou reportés, estimée à 20 milliards d'euros d'ici à 2025²⁹. Les déclarations des industriels se sont faites plus nuancées, mettant en avant le temps de développement nécessaire, voire l'impossibilité d'un véhicule complètement automatique³⁰. L'idée d'une bulle « technomobile » fait également son chemin, à l'aune de l'envolée de la valeur de l'action *Hyundai* à la suite de la révélation de discussions avec *Apple* en janvier 2021 et de la capitalisation très importante de firmes telles *Tesla* ou *Uber*³¹.

Les investissements dans le secteur restent toutefois élevés comme le montre la levée de fonds de trois milliards de dollars clôturée par *Waymo* en mai 2020, ainsi que les nouveaux partenariats avec des constructeurs automobiles conclus par celui-ci, dont *Fiat Chrysler* et *Volvo*^{26,32}. De même, l'investissement de deux milliards de dollars de *Microsoft* dans l'entreprise *Cruise* en janvier 2021, achetée par *General Motors* en 2016, est à noter. De plus, certains constructeurs automobiles restent formellement engagés dans le domaine, comme le montrent les plans d'investissement de *Ford* ou de *Volkswagen*³³.

En résumé, les avancées en matière de recherche et développement réalisées ces dernières années par les secteurs du numérique et de l'automobile sont utiles pour l'amélioration des aides à la conduite et vont permettre l'intégration progressive de systèmes avancés³². Il est toutefois difficile de pronostiquer le niveau d'automatisation auquel va réellement mener la vague d'investissements actuelle, qui semble par ailleurs s'éloigner doucement.

1.2.3. La structuration de l'action publique en accompagnement de la constitution d'une nouvelle filière industrielle

L'intervention publique se structure à partir du début des années 2010, notamment motivée par l'importance économique de l'industrie automobile dans de nombreux pays (Herrmann et al., 2018 ; Houlié et Levy-Heidmann, 2018). Elle prend plusieurs formes : évolution législative, agencement de partenariats industriels et/ou scientifiques,

²⁸ Guérin, Jean-Yves, « Les plateformes de VTC en marche arrière sur le véhicule autonome », *Le Figaro*, 28.04.2020

²⁹ Steinmann, Lionel, « Les constructeurs lèvent le pied », *Les Echos*, 12.10.2021

³⁰ Feitz, Anne, « Premiers coups de frein sur la voiture autonome », *Les Echos*, 26.03.2019

³¹ Béziat, Eric et Piquard, Alexandre, « D'Apple à Alibaba, les entreprises technologiques prennent le virage de la voiture électrique », *Le Monde*, 30.01.2021

³² Moutot, Anaïs, « De la Google Car à aujourd'hui, comment Waymo est devenu le leader de la voiture autonome », *Les Echos*, 09.10.2020

³³ Feitz, Anne, « La révolution du logiciel bouscule les constructeurs automobiles », *Les Echos*, 11.02.2021

investissement dans de nouvelles infrastructures, notamment des centres d'essais, ou encore émission d'appels à projets.

Aux Etats-Unis, les premières adaptations législatives ont lieu au début des années 2010. Une dynamique d'abord étatique, manifeste de la concurrence à cette échelle. L'État du Nevada est le premier à légiférer sur les conditions de circulation des véhicules automatiques en 2011 (Hubbard, 2017). Vingt-neuf législations différentes s'ensuivent³⁴. Un patchwork qui amène le gouvernement américain à établir un plan fédéral de développement et de déploiement, annoncé en janvier 2016. D'une durée de dix ans et d'un montant de quatre milliards de dollars, il insiste particulièrement sur la tenue de tests. Dix terrains d'essai sont désignés³⁵. En septembre 2016, la *NHTSA* publie « *Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety* » comprenant une proposition de « *model state policy* », soit un modèle de répartition des compétences entre les niveaux fédéral et étatique (*NHTSA*, 2016 ; Hubbard, 2017 ; Mc Gehee, 2016). En septembre 2017, le SELF DRIVE Act³⁶, propose que les Etats ne puissent appliquer des lois ou standards spécifiques, il affirme la nécessité de nouveaux standards de sécurité, de ressources informationnelles et communicationnelles pour les futurs acquéreurs et d'un plan en matière de cybersécurité. Il est approuvé par la Chambre des Représentants. Cependant, débattu au Sénat sous le nom d'AV START Act³⁷ depuis novembre 2017, il n'a pas trouvé d'issue favorable jusqu'à présent. Les Etats américains sont donc toujours libres de leur réglementation du VA. Certains l'ont ainsi assoupli, comme le Michigan, le Nevada et la Californie, en autorisant notamment l'absence d'une personne derrière le volant.

En Europe, les pouvoirs publics engagent des initiatives concernant le véhicule automatique à partir des années 2010, d'abord au niveau étatique, puis au niveau communautaire. Plusieurs Etats se sont montrés actifs, particulièrement le Royaume-Uni et l'Allemagne.

Au Royaume-Uni, après un plan de subventions de dix millions de livres aux collectivités souhaitant réaliser des tests de véhicules automatiques à l'automne 2013, le gouvernement lance un appel à projets visant à renforcer sa position internationale en juillet 2014 : « *Introducing driverless cars to UK roads* ». Il donne lieu à trois projets, débutés en 2015 : *VENTURER* à Bristol, *UK Autodrive* à Coventry et *GATEway* à Londres. Le Ministère des transports anglais publie la même année un code des bonnes pratiques d'expérimentation

³⁴ <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>

³⁵ <https://www.transportation.gov/briefing-room/dot1717>

³⁶ Safely Ensuring Lives Future Deployment and Research In Vehicle Evolution, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/3388>

³⁷ [S.1885 - AV START Act](#)

: « *The Pathway to Driverless Cars : A Code of Practice for testing* », mis à jour en 2019³⁸. Une entité interministérielle dédiée au véhicule automatique est créée en 2016 : « *Centre for Connected & Autonomous Vehicles* » (Houlé et Levy-Heidmann, 2018, p 41). Les projets se multiplient depuis sous l'égide de cette organisation, qui formule régulièrement de nouveaux appels à projets comme en novembre 2016, juillet 2017, janvier 2018 et juin 2018³⁹. Un centre de test dédié au véhicule automatique « *Autonomous Village* » a également été inauguré en septembre 2019.

L'Allemagne dévoile sa stratégie en matière de véhicules automatiques en septembre 2015⁴⁰. Outre la définition de positions concernant les infrastructures, le cadre légal, les systèmes de validation ou encore la cybersécurité, ce document stratégique spécifie le plan de financement de projets de recherche dans le domaine à hauteur de cent millions d'euros et la mise en place d'un banc d'essai en Bavière. Des bancs d'essais ont également été installés dans des environnements urbains, comme à Berlin, Braunschweig, Dresden, Düsseldorf, Hambourg ou Ingolstadt. Les projets de recherche s'inscrivent dans quatre principaux domaines, désignés par une commission d'experts de l'automatisation de conduite issus de l'industrie, du monde académique, du monde associatif et de l'administration, formée en 2013 : « *Runder Tisch 'Automatisiertes Fahren'* ». En juin 2017, l'Allemagne est le premier Etat à promulguer une adaptation de sa législation et à publier un rapport sur les enjeux éthiques du véhicule « autonome et connecté » (Houlé et Levy-Heidmann, 2018). De nouveau, grâce à une loi votée le 19 juin 2021, l'Allemagne devient le premier pays à définir un cadre juridique complet pour la circulation des véhicules à conduite automatisée de niveau SAE 4, intégrant notamment des dispositions en matière d'enregistrement et d'exploitation des données⁴¹. A noter, les zones et scénarios⁴² d'exploitation sont préalablement définis et les autorisations d'exploitation délivrées individuellement.

Avant de décrire les initiatives au niveau de l'Union Européenne (UE), revenons sur la stratégie française en matière d'automatisation de conduite.

En 2013, le « véhicule à pilotage automatique » est désigné comme l'un des trente-quatre plans prioritaires par le programme Nouvelle France Industrielle. Un comité de pilotage dédié est créé en 2014, constitué de constructeurs automobiles, d'équipementiers, de

³⁸ [Code of Practice: Automated vehicle trialling](#)

³⁹ [UK Connected & Autonomous Vehicle Research & Development](#)

⁴⁰ [Strategy for Automated and Connected Driving. Remain a lead provider, become a lead market, introduce regulare operations](#)

⁴¹ Cazenave, Franck, « L'Allemagne devient le premier pays au monde à intégrer des véhicules sans chauffeur à la mobilité du quotidien », *Le Monde*, 05.06.2021

⁴² « Navettes entre un point A et un point B ; bus, avec un itinéraire défini ; hub2hub, le transport de marchandises entre deux dépôts logistiques ; transport à la demande dans des zones périphériques et rurales ; mobilité du dernier kilomètre pour les biens et les personnes ; voiturier autonome pour le stationnement »

sociétés de transport, de laboratoires de recherche et de pôles de compétitivité. Il met l'accent sur la mise en œuvre d'expérimentations et la définition des conditions de l'introduction de cette technologie, particulièrement sur les plans juridique, réglementaire, assurantiel, technologique et industriel (Houlé et Levy-Heidmann, 2018, p. 36). Ses principales réalisations sont la définition des axes de recherche pour les appels à projets nationaux, la démonstration « ITS Bordeaux » et un accord franco-allemand pour la création d'une zone de test frontalière (Houlé et Levy-Heidmann, 2018). En 2016, de nouveaux investissements s'amorcent et la législation est modifiée en vue de permettre des tests (ordonnance n°2016-1057). Soixante-quinze millions d'euros sont investis, notamment pour le financement des travaux de recherche des instituts *Vedecom* et *System X* et la création d'un centre d'essai.

En octobre 2017, Anne-Marie Idrac est nommée « Haute représentante pour le développement des véhicules autonomes ». La première stratégie publique nationale : « Développement des véhicules autonomes, Orientations stratégiques pour l'action publique »⁴³ est publiée en mai 2018. Un plan national d'expérimentations, d'un montant de quarante-deux millions d'euros, est annoncé en juin 2018. En avril 2019, deux projets sont ainsi financés : *Sécurité et Acceptabilité de la conduite et de la Mobilité autonome (SAM)*, conduit par la Plateforme Française de l'Automobile et *Expérimentations de Navettes Autonomes (ENA)*, mené par l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. A eux deux, ils rassemblent seize expérimentations. Puis, en 2019, l'article 125 de la loi PACTE élargit l'ordonnance n°2016-1057 et désigne notamment le titulaire de l'autorisation d'expérimentation comme responsable pénal. Son application suppose, selon le décret n°2020-1495, que les expérimentations sans opérateur à bord sont désormais autorisées. Parallèlement, la loi d'orientation des mobilités fixe plus généralement le régime de responsabilité pénale s'appliquant au véhicule automatique (art. 31, ordonnance n°2021-443, décret n°2021-873) et les règles d'accès aux données des véhicules (art. 32, ordonnance n°2021-442). Finalement, une nouvelle version de la stratégie nationale en matière de véhicule automatique est publiée le 15 décembre 2020 : « Stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée 2020-2022 »⁴⁴. Ses objectifs portent notamment sur la finalisation du cadre réglementaire, le financement de démonstrateurs d'ampleur, la validation de la sécurité et la connectivité des véhicules. Ainsi, la circulation de véhicules automatiques de transports publics ou partagés sur des parcours prédéfinis sans opérateur à bord est envisagée à l'horizon 2022.

⁴³ [Développement des véhicules autonomes, Orientations stratégiques pour l'action publique](#)

⁴⁴ [Stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée 2020-2022](#)

Considérant ces initiatives, une stratégie communautaire est formulée en 2016. La Déclaration d'Amsterdam, « *Cooperation in the field of connected and automated driving* »⁴⁵, signée par les Ministres des Transports des vingt-huit pays membres en avril 2016, a pour objectif une meilleure coordination des Etats membres dans le développement des activités économiques dans ce secteur et un positionnement mondial compétitif. Elle est présentée comme le prolongement des travaux de la Commission Européenne (CE) portant sur les « systèmes de transports intelligents ». Plus précisément, les objectifs suivants sont énoncés : déploiement d'un réseau de télécommunications commun et interopérable à l'horizon 2019, coopération technologique, coopération transfrontalière, protection des données personnelles et unité juridique grâce à une standardisation commune réalisée de concert avec le Japon et les Etats-Unis (Herrmann et al., 2018). L'apprentissage par la pratique est également mis en avant, ce qui suppose des espaces d'expérimentation à grande échelle⁴⁶. En ce sens, un accord pour la réalisation de tests en zones frontalières a été signé par vingt-neuf pays européens en janvier 2017⁴⁷. Plus tard, en mai 2018, la Commission Européenne publie la stratégie de l'UE en matière de mobilité connectée et automatique : « En route vers la mobilité automatisée : une stratégie de l'UE pour la mobilité du futur »⁴⁸. Cette feuille de route traite des questions du lien entre automatisation et connectivité, du cadre d'homologation de ces nouveaux véhicules, particulièrement d'un point de vue sécuritaire, de l'enregistrement, de l'échange et de l'exploitation des données issues des véhicules, de cybersécurité et des évolutions du marché de l'emploi, tout en affirmant l'intérêt industriel stratégique de cette technologie pour le continent au vu de sa structure économique. Deux rapports complémentaires ont suivi la publication de ces lignes directrices, l'un porte sur la procédure d'homologation exceptionnelle des véhicules automatiques, qui n'entre pas dans les règles européennes fixées actuellement, en vue d'en proposer une harmonisation⁴⁹ (février 2019) et l'autre concerne les enjeux éthiques des véhicules automatiques et connectés. Ce dernier comporte des recommandations en matière de sécurité, de gestion des données et algorithmes et de responsabilité⁵⁰ (septembre 2020). Le principe de responsabilité n'y est pas cantonné à la répartition de la responsabilité en cas d'accident mais étendu à la prévention des conséquences indésirables du véhicule automatique.

Par ailleurs, de nombreux projets de recherche sont également en cours, au sein desquels nous repérons trois ensembles thématiques : les infrastructures dites connectées,

⁴⁵ [Declaration of Amsterdam on cooperation in the field of connected and automated driving. Navigating to connected and automated vehicles on European roads, 14 April 2016](#)

⁴⁶ [Assemblée Nationale, Commission des affaires européennes, Compte rendu n°65](#)

⁴⁷ [EU and EEA Member States sign up for cross border experiments on cooperative, connected and automated mobility](#)

⁴⁸ [En route vers la mobilité automatisée : une stratégie de l'UE pour la mobilité du futur](#)

⁴⁹ [Guidelines on the exemption procedure for the EU approval of automated vehicles](#)

⁵⁰ [Ethics of connected and automated vehicles](#)

les systèmes d'automatisation embarqués et les tests en conditions réelles. Dans le premier ensemble, nous trouvons des études de déploiement (C-ROADS [octobre 2016- décembre 2020], AUTO C-ITS [novembre 2016-décembre 2018]), d'optimisation de la circulation (interACT [mars 2017- avril 2020], INFRAMIX [juin 2017- mai 2020]) et d'inventaire des technologies disponibles (Autopilot [janvier 2017 – décembre 2019], CONCORDA [octobre 2017 – juin 2020], SAFE TRIP [mai 2017- avril 2020]). Le second ensemble comprend des recherches sur les sous-systèmes permettant l'automatisation de conduite : géolocalisation (ProPART [janvier 2018 – décembre 2020]), reconnaissance visuelle (Vi-DAS [septembre 2016- août 2019]), interface homme-machine (AutoMate [septembre 2016- août 2019]) et capteurs physiques (DENSE [juin 2016- mai 2019]). Enfin, le troisième ensemble intègre des programmes de tests de véhicules semi-automatiques (CARTRE [octobre 2016-septembre 2018], L3 Pilot [septembre 2017-septembre 2021]).

Sur le plan international, la législation a également évolué. Les articles 8 et 13 de la Convention de Vienne, concernant le contrôle et la maîtrise du véhicule par le conducteur, ont été modifiés en mars 2016 afin de les rendre compatibles avec les systèmes d'automatisation de conduite embarqués. Ces derniers doivent cependant pouvoir être « neutralisés ou désactivés » par le conducteur. L'article 8 qui stipule qu'un véhicule en mouvement doit avoir un conducteur disposant constamment du contrôle de son véhicule reste opérant (Houlé et Levy-Heidman, 2018). L'introduction du niveau d'automatisation SAE 3 est ainsi facilitée. En juin 2020, la réglementation internationale s'est de nouveau précisée avec l'adoption d'un règlement dédié aux systèmes de type « *Automated Lane Keeping Systems* », émanant du forum mondial pour l'harmonisation des réglementations sur les véhicules. Celui-ci énonce les conditions dans lesquelles ces systèmes sont autorisés (zones interdites aux piétons et cyclistes, infrastructures équipées d'une séparation physique, vitesse maximale de 60 km/h), les règles de sécurité s'agissant des manœuvres et des demandes de transition et les équipements annexes obligatoires (système de reconnaissance de la disponibilité du conducteur et boîte noire)⁵¹.

Cette sous-partie avait pour but de décrire la phase de développement actuel du véhicule automatique, en la replaçant notamment historiquement. Le véhicule automatique routier apparaît comme une idée ancienne, évoluant dans sa formulation technique en fonction des évolutions technologiques dans d'autres domaines, particulièrement informatique et électronique. Nous distinguons quatre vagues d'investissement et de travaux de recherche : les années 1960, 1980, 2000 et 2010. Les premières sont marquées par l'idée d'une autoroute automatique s'appuyant sur la communication entre véhicules et

⁵¹[Proposition de nouveau Règlement ONU énonçant des prescriptions uniformes relatives à l'homologation des véhicules en ce qui concerne leur système automatisé de maintien dans la voie](#)

infrastructures par les biais de la radio et de l'électromagnétisme. Les années 1980 voient l'application des innovations robotiques aux véhicules, et par là le développement de systèmes permettant l'automatisation de certaines fonctions de conduite. Les années 2000 connaissent le renouveau de la conception de l'autoroute automatique grâce à de nouvelles technologies de l'information et de la communication et des avancées en matière informatique, notamment démontrées lors des *Grand DARPA Challenges*. Enfin, les années 2010 voient le lancement de projets industriels par de grandes entreprises du numérique, particulièrement *Google*, et un réinvestissement de la question par les constructeurs automobiles. Deux axes de recherche autour du véhicule automatique perdurent toujours jusqu'à présent, l'un centré sur la robotisation du véhicule, l'autre sur la communication entre véhicules et infrastructures.

Conclusion : Une nouvelle vague d'investissement qui rapproche la possibilité de l'automatisation de conduite complète

Deux dimensions nous ont parues importantes à examiner pour définir notre sujet d'étude, le véhicule automatique, et expliquer l'effervescence actuelle : sa définition technique et le contexte historique de son développement, nous menant à la période actuelle.

Dans la première sous-partie, deux ambivalences terminologiques ont été discutées. Le terme automatique a ainsi été privilégié au terme autonome. D'autre part, l'association entre véhicule automatique et véhicule connecté renvoie à des débats anciens en matière de définition technologique, portant sur la place des réseaux de télécommunications dans le fonctionnement de l'automatisation. En effet, si le recours à de telles infrastructures permet de pallier les limites des systèmes d'automatisation de conduite actuels, particulièrement en matière de perception, ces infrastructures sont cependant très coûteuses et pourraient se montrer rapidement obsolètes. D'autres critères ont pu être mis en avant pour caractériser les applications du véhicule automatique en tant que mode de transport : niveau d'automatisation, capacité, infrastructures physiques nécessaires ou encore mode d'opération. Dans ce travail, nous nous intéressons uniquement à des véhicules complètement automatiques, soient de niveau SAE 4 ou SAE 5.

Considérant la trajectoire historique de développement de cette technologie, le véhicule automatique apparaît comme une idée relativement ancienne. Quatre périodes d'investissement peuvent être distinguées (1960, 1980, 2000 et 2010). La vague de financements actuelle semble s'essouffler, même si les investissements dans le domaine restent élevés et le soutien de la puissance publique important. Ainsi, bien qu'une nouvelle étape de développement ait été franchie, l'issue des développements technologiques actuels reste incertaine. Ces « désinvestissements » rappellent par ailleurs les dynamiques d'automatisation dans le secteur des transports collectifs, freinées par de mauvais résultats financiers et la variabilité des technologies employées (voir encadré ci-dessous) (Liu, 2016). Quoi qu'il en soit, les initiatives des entreprises et des pouvoirs publics des pays industrialisés sont significatives de la formation d'une nouvelle filière industrielle et de la potentielle commercialisation de tels véhicules à moyen terme.

L'actualité de ce sujet et les avancées technologiques récentes justifient de se questionner sur son intégration dans le système de transport. Nous proposons donc dans le chapitre suivant une synthèse des contributions scientifiques portant sur les effets potentiels des véhicules automatiques routiers.

L'automatisation des transports collectifs

L'histoire de l'automatisation des transports collectifs est parallèle à celle de l'automatisation des véhicules routiers particuliers. Liu (2016) distingue quatre phases de développement : les concepts des années 1960, les premières démonstrations des années 1970 et 1980, les premières applications dans des environnements fermés dans les années 1990 et 2000 et un déploiement « multipolaire » à partir des années 2000. L'un des concepts initiaux des transports collectifs automatiques, le « *individualized automated transit* » a connu un retentissement international. Des prototypes ont émergé simultanément à plusieurs endroits. Un véritable engouement pour ce concept, « qui allie les avantages de l'individualisation du déplacement et de l'absence de congestion », a lieu (Anderson, 1996 ; Latour, 1992).

Aux Etats-Unis, le développement de systèmes de transport collectifs automatiques capacitaires est annoncé comme prioritaire par Richard Nixon en 1972. Le plan *Downtown People Moover* de 1975 a ainsi bénéficié aux villes de Los Angeles, Saint Paul, Cleveland et Houston. Plus largement, les inaugurations de ce type de systèmes se multiplient : Lille (1983), Vancouver (1985), Miami (1986), Détroit (1987) ou encore Jacksonville (1989). Aux Etats-Unis, ces applications sont considérées comme décevantes, en témoigne le rapport « *Automated Guideway Transit : An Assessment of PRT and Other New Systems* de l'*Office of Technology Assessment* » en 1975. Par conséquent, aucune institution dédiée ne voit le jour. L'intervention de celles impliquées, *l'American Society of Civil Engineers*, le *Transport Research Board* et *l'International Association of Public Transport*, se limite à la définition de standards et la collecte de données (Liu, 2016).

Dans les années 1990 et 2000, ces systèmes sont principalement mis en place dans des environnements fermés : aéroports, parcs d'attractions, musées et hôpitaux (Liu et Huang, 2010). Une période qui est également marquée par l'installation de plusieurs monorails, notamment à Las Vegas et à Kuala Lumpur.

A partir des années 2000, les systèmes de transports collectifs automatiques se développent selon plusieurs axes : la poursuite du déploiement des *Personal Rapid Transit* au sein des aéroports, notamment le système *Ultra* de l'aéroport d'Heathrow (2011), la mise en place de systèmes urbains hybrides comme à Masdar City (2011) et Sucheon Bay (2014) et l'automatisation des métros, *a priori* ou *a posteriori*, comme à Paris, Beijing ou encore Singapour (Hernandez, 2014).

Chapitre 2 : Des effets attendus majoritairement situés dans le champ d'action des pouvoirs publics locaux

Les avancées technologiques récentes nous invitent à nous interroger sur les effets que pourraient avoir les véhicules automatiques, en particulier sur le système de transport. S'il faut estimer ces impacts, leur nature et leur ampleur, il est également nécessaire de déterminer les principaux facteurs les influençant. A cet égard, le rôle de la régulation publique locale est particulièrement d'intérêt.

Ce chapitre traite donc des effets anticipés du véhicule automatique (2.1), en distinguant les effets directs, conséquences d'un ou plusieurs attributs de l'automatisation de conduite (2.1.1), des effets indirects, qui découlent des effets directs, essentiellement du fait de modifications de comportement (2.2.2.). La dépendance de ces effets au mode d'introduction de la technologie nous a amené à nous intéresser de plus près à l'action publique locale, déterminante en la matière (2.2). Nous adressons ainsi les moyens d'intervention actuels (2.2.2), le positionnement des acteurs publics locaux (2.2.3) et les moyens d'intervention à moyen et long terme (2.2.4).

2.1. Les effets anticipés du véhicule automatique, incertitude et dépendance au mode d'introduction

Les avancées techniques réalisées et la perspective d'une intégration des véhicules automatiques au système de transport à moyen terme nous invitent à anticiper leurs effets, en s'attachant plus particulièrement au niveau urbain. La littérature scientifique dédiée s'est récemment étoffée et diversifiée. Depuis 2015, les sciences sociales sont davantage représentées, même si les travaux portant sur la conception des systèmes d'automatisation prédominent toujours (Gandia et al., 2018 ; Milakis, 2019).

Les contributions référencées ci-après ont été collectées à partir de recherches personnelles, tout en prenant en considération les synthèses et revues de littérature déjà réalisées (Fagnant et Kockelman, 2015 ; Thomopoulos et Givoni, 2015 ; Hörl et al., 2016 ; Wadud et al., 2016 ; Berrada et Leurent, 2017 ; Johsen et al., 2017 ; Milakis et al., 2017 ; Acheampong et al., 2018 ; Faisal et al., 2018 ; Stocker et Shasheen, 2018 ; Taeibat et al., 2018 ; Le Gallic et Aguilera, 2019 ; Litman, 2019a ; Soteropoulos et al., 2019).

Notre exposé se divise en deux parties, l'une exposant les potentiels effets directs (1.3.1), en lien avec une des propriétés de l'automatisation de conduite, et l'autre détaillant les effets indirects, dérivés des premiers (1.3.2). Nous discutons également des effets conjoints de trois hypothèses associées à l'automatisation de manière récurrente : connectivité, électrification et partage des véhicules.

2.1.1. Les effets directs, des gains supposément positifs mais particulièrement incertains

La sécurité routière, entre suppression de l'erreur humaine et nouvelles formes d'accidentologie

Les discussions sur l'impact du véhicule automatique en matière de sécurité routière renvoient aux nombreuses études réalisées sur les systèmes d'aide à la conduite (Carbaugh et al., 1998 ; Xiao et Gao, 2010). Ces dispositifs peuvent être distingués selon trois catégories : sécurité, confort et délégation de certaines tâches de conduite. La première comprend les systèmes de régulation de vitesse, d'aide au freinage, de maintien de la trajectoire, d'évitement de collision et d'alerte ; la seconde la direction assistée, le GPS et l'affichage des informations sur le tableau de bord et la troisième les systèmes de reconnaissance signalétique, d'aide au stationnement ou d'automatisation de certaines fonctions, comme l'allumage des feux. Ces dispositifs ont prouvé leur efficacité, notamment en matière d'évitement de collisions (Luo et al., 2016). Leur principale limite tiendrait à leur utilisation parfois non adéquate par les individus, limite inopérante dans le cas d'un véhicule complètement automatique.

Plus généralement, l'amélioration de la sécurité routière grâce à l'automatisation est justifiée par la suppression des erreurs humaines, amplifiée par la meilleure performance supposée des systèmes embarqués en matière de perception, de prise de décision et d'exécution (Hayes, 2011 ; Eno Center for Transportation, 2013 ; Fagnant et Kockelman, 2015 ; Kalra et Paddock, 2016). Cette hypothèse est souvent étayée par des statistiques portant sur les causes des accidents routiers, comme le rapport annuel de la NHTSA : « *Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey* », qui attribue plus de 90% des accidents à la personne au volant, dont 40% à une erreur d'identification de l'environnement. Des chiffres similaires en France (Berrada et Leurent, 2017 ; ONISR, 2019).

Cette hypothèse est remise en question par trois principaux contre-arguments : la possibilité de nouvelles formes d'accidentologie, conséquences de pannes liées aux vulnérabilités des logiciels ou à des cyberattaques (Petit et Shladover, 2015 ; Anderson et al., 2016 ; Litman, 2017 ; Milakis et al., 2017), une prise de risque accentuée des autres utilisateurs de la route, particulièrement des piétons et des cyclistes (Millard-Ball, 2016) et les mauvaises performances des systèmes de détection en cas d'intempéries ou de situations de conduite complexes (Schoettle et Sivak, 2015a).

Enfin, Kalra et Paddock (2016) mettent en avant que la comparaison des performances des véhicules automatiques et des véhicules manuels par roulage en conditions réelles n'est pas réalisable. En effet, des millions, voire des milliards de kilomètres, seraient nécessaires pour obtenir des résultats statistiques fiables sur le nombre de blessés et de tués. De nouvelles méthodes de tests doivent donc être développées.

Des avantages potentiellement substantiels en matière de circulation et de capacité routières

L'automatisation de conduite pourrait permettre une amélioration de la circulation et de la capacité routière grâce à la baisse du nombre d'accidents, à l'origine de 25 % de la congestion aux Etats-Unis, et à l'action des systèmes de contrôle adaptatifs de la navigation (Fagnant et Kockelman, 2015). La littérature sur les effets de ces derniers sur la circulation et la capacité routière n'offre toutefois pas de consensus (Van den Berg et Verhoef, 2016). En effet, concernant la fluidification de la circulation par la régulation des accélérations et décélérations, certaines études concluent à un effet positif : jusqu'à 50% de réduction de la congestion, même à des taux de pénétration faibles (Treiber et Helbing, 2001 ; Hoogendoorn et al., 2014 ; Kesting et al., 2014) et d'autres à des effets négligeables, voire négatifs, même à des taux de pénétration élevés (Van Arem et al., 2006 ; Bierstedt, 2014). Ces résultats sont dépendants du modèle utilisé et des hypothèses portant sur les intervalles de temps inter-véhiculaires. La diminution de ce dernier, grâce au temps de réaction plus faible des systèmes automatiques, est en effet la principale voie d'amélioration de la capacité routière. Les estimations de l'augmentation de capacité varient donc notablement selon les hypothèses employées, entre 1 à 90 % (Shladover, 2012 ; Van der Werf et al., 2002 ; Tientrakool et al., 2011).

Les effets des systèmes de contrôle adaptatifs de navigation sur la circulation et la capacité routière sont actuellement mal connus. De fait, malgré leur disponibilité sur le marché, leur faible taux de pénétration ne permet pas de fournir des données empiriques.

La consommation énergétique, un bilan des effets de l'écoconduite et des nouveaux équipements

Les systèmes d'automatisation de conduite peuvent permettre des pratiques de conduite énergétiquement optimisées, souvent résumées sous la dénomination d'écoconduite (Wadud et al., 2016). Ce dernier terme, correspond à l'optimisation du cycle de conduite en fonction des paramètres internes du véhicule et des caractéristiques de l'environnement (Orfila, 2011). Le profil d'opération est ainsi modifié et permet de limiter les situations énergétiques non optimales, comme par exemple les départs à froid, les arrêts-départs continus ou les changements brutaux et fréquents de vitesse (Taeibat et al., 2018). La gestion du freinage et de l'accélération peut ainsi réduire la consommation de carburant de 20% en moyenne (Luo et al., 2010). L'efficacité de ces systèmes varie selon les conditions de circulation. Les gains peuvent atteindre jusqu'à 50% en zone urbaine, où les arrêts-départs sont fréquents et chuter à 15% dans d'autres contextes (Wadud et al., 2016).

Par ailleurs, deux mouvements aux conséquences divergentes pourraient s'opérer s'agissant de la conception des véhicules, d'un côté une diminution du poids et de la taille des véhicules avec la disparition de certains éléments de sécurité passive, de l'autre l'apparition de nouveaux équipements, nécessaires à l'automatisation (radars, capteurs, ordinateurs de bord, etc.) altérant notamment l'aérodynamisme des véhicules (Folsom, 2012 ; Wadud et al., 2016). Des équipements qui conduiraient par ailleurs à une augmentation entre 3 et 20% de la consommation d'énergie primaire selon une analyse en cycle de vie réalisée par Gawron et al. (2018) pour un véhicule automatique connecté de niveau SAE 4.

Une diminution modeste de la valeur du temps de transport, résultat de la réalisation d'activités non productives

La valeur du temps de transport est un principe de monétarisation du temps largement utilisé dans le cadre des analyses coûts-avantages des projets de transport. Ainsi, dans la majorité des cas, la valorisation des gains de temps de transport représente la principale composante des avantages monétarisés d'un projet. L'affectation d'une valeur au temps de transport correspond à le considérer comme un coût, une source de désutilité. La demande de déplacements est en effet appréciée comme une demande dérivée, permettant de satisfaire une demande finale à destination. Cette désutilité est justifiée par le coût d'opportunité du temps de transport, qui pourrait être consacré à d'autres activités, éventuellement majorée de la fatigue et du stress engendrés par le déplacement. La valeur

du temps de transport est ainsi dépendante du motif, du mode, de la durée et des conditions de déplacements. Ainsi, théoriquement, la réalisation d'activités pendant le temps de transport, particulièrement si elles sont productives, entraîne une diminution de sa désutilité (Le Vine et al., 2015 ; Wardman et Lyons, 2016). L'automatisation modifie ainsi la valeur du temps de transport à travers deux éléments : la suppression de la tâche de conduite et l'amélioration du confort de déplacement (Trommer et al., 2016 ; Anderson et al., 2014 ; Fraedrcih et al., 2016).

Plusieurs travaux se sont intéressés, à l'aide d'enquêtes, aux activités qui seraient potentiellement entreprises lors d'un trajet dans un véhicule automatique. Ces études, réalisées dans différentes zones géographiques, s'accordent sur plusieurs points. Tout d'abord, l'activité déclarée « regarder à l'extérieur » domine à plus de 40%, viennent ensuite les activités de discussion avec les autres passagers, d'écoute de la radio ou de musique (Schoettle et Sivak, 2014 ; Cyganski et al., 2015 ; Wadud et Huda, 2019 ; Pflieger et al., 2016). Pflieger et al. (2016) notent également des intentions d'activités basées sur l'utilisation d'appareils électroniques nomades : appels téléphoniques, navigation sur Internet et envoi de messages, et d'activités tenant du repos et de la relaxation. Le travail n'occupe ainsi qu'une part mineure des intentions d'activités entre 5% et 23 % (Schoettle et Sivak, 2014 ; Cyganski et al., 2015 ; Bansal et Kockelman, 2017 ; Wadud et Huda, 2019) sauf dans le cas précis d'un trajet aller d'un déplacement professionnel (Wadud et al., 2019). L'utilisation de préférences déclarées comporte des limites pour la prédiction de nouveaux comportements de déplacement dans le cas d'un système inconnu des personnes enquêtées comme le constatent Peters et Dütschke (2014) dans le cas de la mobilité électrique (Cyganski et al., 2015). Ces observations sont cohérentes avec celles réalisées dans le cas de déplacements ferroviaires, où les activités de travail tiennent une place réduite, alors que les activités dites passives, telles que « regarder à l'extérieur » ou écouter la radio ou de la musique, sont prédominantes (Lyons et al., 2007). La possibilité de travailler en roulant ne semble donc pas être vue comme un avantage majeur du véhicule automatique (Milakis et al., 2017). A partir de ce type de données, certains travaux s'attachent à estimer l'évolution de la valeur du temps de transport. Ils concluent à une réduction de 25 et 56% par rapport à la conduite d'une voiture personnelle (De Loof et al., 2018 ; Steck et al., 2018 ; Kolarova et al., 2017). Des résultats conformes aux études comparant la valeur du temps de transport entre conducteur et passager d'une voiture (Rodier, 2018). Les analyses réalisées dans le cas du mode ferroviaire et du mode automobile semblent donc constituer de bonnes approximations.

Singleton (2018) conclut ainsi à une baisse de la valeur du temps de transport modeste, majoritairement issue de gains en matière de confort : réduction du stress de conduite et possibilité de se reposer. Il exclut de potentiels gains de productivité, qui ne

pourraient se réaliser que dans le cas de trajets longs et de conditions de voyage optimales, peu probables dans le cas d'une opération routière sur voies non dédiées (Singleton, 2018 ; Heinrichs et Cyganski, 2015).

Les « exclus » de la conduite, vers l'expression d'une nouvelle demande ?

L'accès à la mobilité d'individus dont les besoins ne sont actuellement pas satisfaits est régulièrement mentionné comme un des principaux avantages du véhicule automatique, qui permettrait la diminution de l'exclusion sociale due à l'exclusion de la conduite (Alessandrini et al., 2015 ; Meyer et al., 2017 ; Ohnemus et Perl, 2016 ; Litman, 2017 ; Wadud et al., 2016 ; Johnsen et al., 2017). Les groupes d'individus concernés sont les jeunes, dont l'âge est inférieur à l'âge légal d'obtention du permis de conduire ; les personnes âgées, du fait de leur moindre capacité à assurer la tâche de conduite ; les personnes handicapées ou non autorisées à conduire pour des raisons médicales ou les personnes à faibles revenus, qui ne disposent pas du permis de conduire pour des raisons financières (Guerra, 2015 ; Alessandrini et al., 2015). Quatre études, aux hypothèses différentes, s'attachent à estimer cette demande latente.

Wadud et al. (2016) s'intéressent à l'incidence de la « libération » de la demande de déplacements des personnes âgées. Ils supposent une annulation du déclin du nombre de kilomètres parcourus constaté après soixante-deux ans. Ils prolongent donc le niveau de mobilité observé entre quarante-quatre et soixante-deux ans et estiment une augmentation globale du nombre de véhicules-kilomètres entre 2 et 10%. Les autres estimations portent sur l'ensemble des groupes susmentionnés. Harper et al. (2016) supposent trois situations intégrant différentes hypothèses sur l'amélioration de la mobilité des individus âgés ou présentant des problèmes médicaux, et estiment une augmentation du nombre de miles parcourus entre 2 et 9%. Schoettle et Sivak (2015b) basent leurs calculs sur une enquête portant sur les raisons de ne pas disposer du permis de conduire. Ils considèrent ces motifs annulés par l'automatisation de conduite et attribuent aux individus concernés le niveau de déplacement d'individus aux caractéristiques sociodémographiques similaires mais possédant le permis de conduire. Ils estiment ainsi une augmentation de 11% de la demande de transport. Les 18-39 ans en sont les principaux contributeurs. Finalement, Brown et al. (2014), en supposant que l'ensemble des segments de population entre seize et quatre-vingt cinq ans se déplacent autant que le décile le plus mobile, estiment une augmentation du nombre de kilomètres parcourus de 40%. Celle-ci ne concorde toutefois pas avec les précédents calculs et semble abusive.

L'automatisation pourrait permettre l'accès à la mobilité de groupes actuellement limités dans leurs déplacements, particulièrement du fait de contraintes liées à l'âge. L'expression de cette demande reste cependant plus globalement dépendante des activités menées par les individus en question et de leur capacité à utiliser ces véhicules.

Le partage des véhicules, une hypothèse récurrente qui trouve peu d'écho dans les enquêtes de préférences déclarées

Les travaux sur les impacts du véhicule automatique sont marqués par l'idée d'un partage facilité des véhicules. Une supposition qu'il est nécessaire de discuter avant d'aborder plus avant les effets exposés dans la littérature.

L'introduction des véhicules automatiques est souvent présentée comme un vecteur de « nouveaux » services de mobilité dits partagés, où les véhicules sont utilisés successivement ou simultanément par plusieurs individus (Kornhauser et al., 2013 ; Fagnant et al., 2015). Deux types de références comparatives sont alors utilisées : l'autopartage (Fagnant et Kockelman, 2014 ; Martinez et Crist, 2015 ; Johnsen et al., 2017) et le taxi (Bischoff et Maciejewski, 2016). La justification de ces rapprochements repose sur une comparaison avec le fonctionnement actuel de ces services. Dans le cas de l'autopartage, les éléments suivants sont mis en avant : suppression du temps de marche pour l'accès à une station, meilleure disponibilité des véhicules, suppression des tâches de conduite et de stationnement, baisse des coûts due à la suppression de la main d'œuvre en charge du rééquilibrage de l'offre aux stations et réduction du nombre de véhicules nécessaires (Spieser et al., 2014 ; Fagnant et Kockelman, 2014 ; Fagnant et Kockelman, 2015 ; Bösch et al., 2016 ; Kool, 2016 ; Johnsen et al., 2017 ; Greenblatt et Shaheen, 2015) . Pour les services de taxi, la diminution du coût du service liée à la suppression de la main d'œuvre et plus étonnement l'optimisation de la gestion de la demande par la centralisation des commandes sont avancées (Milakis et al., 2017 ; Litman, 2018 ; Kool, 2016 ; Fagnant et al., 2015). Cette dernière se confond avec un monopole d'opération. L'hypothèse de partage des véhicules automatique s'appuie également sur un contexte d'utilisation généralisée du téléphone portable et de passage tardif du permis de conduire. Finalement, nous constatons un argument tenant d'un inversement de la causalité, où les services de transport partagés facilitent l'introduction des véhicules automatiques grâce à une répartition des coûts d'investissement et d'entretien, difficilement supportables à l'échelle individuelle, et ainsi une pénétration plus rapide (Wadud et al., 2016 ; Clark et al., 2016 ; Kool, 2016). Nous utiliserons par la suite le terme de taxi automatique pour faire référence à cette hypothèse de partage des véhicules, qui nous paraît plus représentatif du mode en question qu'une analogie avec un système d'autopartage.

Certaines enquêtes de préférences déclarées sur le choix modal comprenant le taxi automatique ont été réalisées, dans différents pays (Etats-Unis, Australie, Pays-Bas, Allemagne et Israël). Elles s'accordent sur deux constats : une faible appétence pour le partage des véhicules par rapport à la possession et la persistance de l'influence des attributs classiques du choix modal (temps de transport, temps d'attente et prix) (Zmud et al., 2016 ; Haboucha et al., 2017 ; Zhang et al., 2018b ; Krueger et al., 2016 ; Steck et al., 2018). Les caractéristiques sociodémographiques, attitudinales, ainsi que les habitudes de mobilité des individus ne sont pas pour autant sans importance. Les facteurs qui contribuent positivement et négativement au choix de ce mode sont décrits. Dans la première catégorie, nous rencontrons le fait d'être de sexe masculin, d'être jeune, d'avoir un niveau d'éducation élevé, de résider en zone urbaine, de présenter une attitude technophile, d'avoir une sensibilité écologique, d'avoir un temps de transport quotidien important, d'utiliser les transports collectifs, d'être client-e de services d'autopartage ou de VTC, d'effectuer régulièrement des déplacements en tant que passager et plus largement de montrer une mobilité multimodale (Bansal et al., 2016 ; Haboucha et al., 2017 ; Cyganski et al., 2017 ; Lavieri et al., 2017 ; Ashkrof et al., 2019 ; Krueger et al., 2016). A contrario, d'autres caractéristiques influencent négativement l'utilisation de ce mode : être âgé-e, éloigné-e du centre-ville, posséder un véhicule ou le permis de conduire, disposer d'une place de stationnement au lieu d'habitation, transporter régulièrement des objets encombrants et n'avoir jamais utilisé-e de services d'autopartage ou de VTC (Haboucha et al., 2017 ; Cyganski et al., 2017 ; Bansal et al., 2016 ; Lavieri et al., 2017).

Dans la littérature sur le véhicule automatique, les services de taxis sont souvent partagés, une pratique désignée par le terme de *dynamic ridesharing* et justifiée par l' « élimination des barrières de rencontre entre voyageurs » (Fagnant et Kockelman, 2016 ; Litman, 2019a). Les enquêtes sur le sujet, pour l'instant seulement réalisées aux Etats-Unis et en Australie montrent pourtant une faible appétence pour le covoiturage dans le cas de ce mode. Entre 22,5 % (sans allongement du temps de parcours) et 38% (considérant une tarification kilométrique inférieure de 40%) des personnes interrogées accepteraient de partager leurs trajets (Gurumurthy et Kockelman, 2018 ; Quarles, 2018 ; Krueger et al., 2016). Les caractéristiques favorables à cette pratique sont similaires à celles relevées dans le cas de l'utilisation de taxis automatiques en général : sexe masculin, jeune, niveau d'éducation élevé, distance domicile-travail importante, déplacements fréquents en tant que passager et utilisation de services d'autopartage (Gurumurthy et Kockelman, 2018 ; Quarles, 2018).

L'hypothèse de partage des véhicules automatiques, couramment rencontrée dans les résultats que nous allons exposer, ne semble donc pas justifiée par les études réalisées

jusqu'à présent. Un constat qu'il est bon de garder en tête lors de la lecture des sections suivantes.

La réduction du coût de déplacement, une hypothèse essentiellement valable dans le cadre d'une comparaison avec les services de taxis actuels

Au vu des équipements nécessaires à l'automatisation (radars, capteurs, ordinateurs de bord, etc.), le coût d'acquisition d'un véhicule complètement automatique est amené à être supérieur à celui d'un véhicule manuel. De plus, nombre des technologies nécessaires sont actuellement particulièrement onéreuses, comme les systèmes LIDARs, dont l'utilisation dépendra d'une baisse drastique de prix, soit notamment de leur production à grande échelle (Fagnant et Kockelman, 2015). Plusieurs estimations de l'augmentation du coût d'acquisition unitaire ont été proposées : entre 25 000 et 50 000 \$ à maturité (Fagnant et Kockelman, 2015) ; entre 14 000 et 17 000 \$ en 2020 (Wadud et al., 2016) ; de 30 000 \$ en 2020, puis 24 000 \$ en 2025 (Bansal et Kockelman, 2017) ou encore de 8000 à 12 000 € en 2020, puis de 3000 à 5000 € en 2050 (Saujot et al., 2018). Elles témoignent de fortes incertitudes.

Une indétermination qui concerne également les frais de gestion et d'opération (Bösch et al., 2017). Une seconde famille d'études s'intéresse en effet au coût de d'utilisation au kilomètre, majoritairement dans le cas de systèmes de taxis automatiques (tabl. 1).

Tableau 1 : Synthèse des estimations du coût d'utilisation d'un véhicule automatique

Estimation(s)	Source
0,40 \$ par véhicule-mile	Burns et al., 2013
0,45 - 0,59 \$ par véhicule-mile	Loeb et Kockelman, 2019
0,80\$ -1,20 \$ par véhicule-mile	Stephens et al., 2016
0,85 \$ par véhicule-mile en 2018, puis 0,35 \$ en 2035	Johnson et Walker, 2017
0,66 \$ par véhicule-kilomètre	Spieser et al., 2014
0,43 CHF par véhicule-kilomètre	Bösch et al., 2017

Du point de vue du prix, l'automatisation des véhicules aboutit donc à deux mouvements : l'augmentation du prix d'achat et la diminution du coût d'opération, principalement par la suppression de la main d'œuvre, proportionnellement à la rémunération (Bösch et al., 2017 ; Taeibat et al., 2018). Les estimations varient selon les éléments pris en compte dans la décomposition des coûts et du niveau actuel de ceux-ci dans les zones géographiques étudiées. Bösch et al. (2017) proposent la décomposition la plus complète :

carburant, nettoyage, stationnement, péages, taxes, assurance, dépréciation, intérêt, maintenance et supervision.

En résumé, le coût d'acquisition et d'utilisation d'un véhicule automatique sera probablement supérieur à un véhicule manuel, même si cette différence est amenée à se réduire avec la production massive et la réduction de certains coûts d'opération (Bösch et al., 2017). Des gains monétaires sont actuellement surtout garantis dans le cas du remplacement d'une main d'œuvre salariée.

L'emploi, entre disparition des métiers de conduite et création de postes dans des secteurs exigeant un niveau de qualification élevé

Les études disponibles sur les effets de l'automatisation de conduite sur l'emploi décrivent à la fois une disparition et une redistribution des emplois (Beede et al., 2017 ; Acheampong et al., 2018 ; Alonso Raposo et al., 2018 ; Tæihagh et Lim, 2019). Deux études quantifient la part des emplois menacée de substitution. Les estimations sont de 11% dans le cas des Etats-Unis et 1,5% dans celui de l'Europe (Beede et al., 2017 ; Alonso Raposo et al., 2018). Des résultats éloignés qui reflètent des structures de l'emploi différentes mais surtout des approches méthodologiques variables (Alonso Raposo et al., 2018). Malgré ces conclusions dissemblables, les catégories d'emplois touchées désignées sont similaires. Elles sont établies à partir de la part de la tâche de conduite dans l'ensemble des tâches de l'emploi. Dans le cas du transport de passagers, nous trouvons ainsi les conducteurs de taxis et de véhicules de transports en commun, les techniciens en charge de la maintenance et de la réparation des véhicules, les métiers en lien avec la location et le stationnement des véhicules et avec la gestion de la circulation et des accidents routiers ou les employés d'auto-école. Ces métiers sont actuellement majoritairement exercés par des hommes, au niveau d'éducation faible et sont peu rémunérés (Beede et al., 2017 ; Alonso Raposo et al., 2018). Cette évolution nécessitera une intervention publique en matière de garantie de revenu et de formation, actuellement discutée à Singapour et en Australie (Thomopoulos et Givoni, 2015 ; Alonso Raposo et al., 2018 ; Tæihagh et Lim, 2019). Cette disparition d'emplois s'opérerait conjointement à une création dans d'autres secteurs, principalement informatique, électronique, des télécommunications et de l'aménagement routier et urbain, qui requièrent une main d'œuvre qualifiée (Acheampong et al., 2018 ; Alonso Raposo et al., 2018). En cela, les études concluent à une redistribution des emplois ainsi qu'à une sophistication des tâches, notamment une migration de la conduite vers la supervision, ou encore une complexification des tâches d'entretien des véhicules (Alonso Raposo et al., 2018).

En somme, le bilan numérique de l'automatisation de conduite en matière d'emplois est incertain (Alonso Raposo et al., 2018). Les analyses présentées dans cette rubrique ont été réalisées à un niveau national, mais sont d'intérêt au niveau urbain, lieu de concentration des emplois, particulièrement des emplois de conduite dans le secteur du transport de passagers.

La « connectivité » pour amplifier les bénéfices en matière de circulation et de consommation énergétique

Le véhicule automatique connecté se distingue de son homologue non connecté par des modules permettant l'échange de données avec les autres véhicules, les infrastructures ou tout autre objet équipé. Ces derniers pourraient permettre la coordination des véhicules et la réduction des distances inter-véhiculaires. La capacité routière pourrait être ainsi davantage améliorée à taux de pénétration égal (Tientrakool et al., 2011 ; Shi et Prevedouros, 2016). Des économies de carburant supplémentaires pourraient également être réalisées grâce à l'harmonisation des vitesses et la réduction des départs à froid (Taeibat et al., 2018 ; Milakis et al., 2017). De plus, le développement de la circulation en peloton ou *platooning*, consistant en la circulation très rapprochée de groupes de véhicules, permise par une communication inter-véhiculaire spécifique, pourraient, dépendamment de la vitesse de circulation, du type et du nombre de véhicules présents, réduire la traînée aérodynamique de 10 à 60%, entraînant une baisse de la consommation de carburant (Wadud et al., 2016 ; Brown et al., 2014).

Notons deux limites à ces résultats. D'une part, les effets des systèmes de coopération télécommunicants sont mal connus à des taux de pénétration élevés. D'autre part, l'augmentation de la vitesse permise pourrait engendrer une augmentation de l'intensité énergétique de 7 à 22%. De plus, les nouveaux systèmes de télécommunications nécessaires occasionneraient une consommation énergétique supplémentaire, qui n'est ici pas prise en compte (Taeibat et al., 2018).

L'électrification des véhicules automatiques, des synergies sur les plans technique et de l'usage et un alignement avec le contexte de déploiement

Le véhicule automatique est communément présenté comme un véhicule électrique ou à motorisation alternative (Hörl et al., 2016 ; Wadud et al., 2016). Des synergies existent en effet : l'ordinateur de bord optimise le cycle de conduite et la régénération lors du freinage, l'accès à l'infrastructure et la gestion du temps de recharge sont facilités car le véhicule effectue cette tâche indépendamment de son utilisateur, et la conception des zones de

recharge peut être optimisée par la densification des points de recharge (Taeibat et al., 2018 ; Brown et al., 2014 ; Taeibat et Xu, 2019). En outre, si l'on suppose l'intégration des VA à des flottes de taxis, deux avantages apparaissent : le taux d'utilisation très élevé favorise des véhicules aux coûts de fonctionnement faibles, tels les véhicules électriques, et l'usage de la batterie est amélioré (Offer, 2015 ; Mazur et al., 2018).

Au-delà de ces potentielles synergies, l'électrification supposée des véhicules automatiques apparaît comme une intégration des objectifs environnementaux actuels. La superposition de ces deux technologies semble avant tout régit par le contexte de déploiement (Offer, 2015 ; Greenblatt et Saxena, 2015 ; Taeibat et Xu, 2019).

Dans cette première sous-partie, nous avons présenté les effets directs de l'automatisation de conduite. Toutefois, il faut également compter avec les effets indirects, résultats de changements de comportement induits par l'introduction et l'usage des VA. Nous prolongeons donc notre synthèse par une description de ces effets.

2.1.2. Les effets indirects, une menace pour les bénéfices directs

Une hausse des kilomètres parcourus dépendante du mode d'exploitation

La présentation des effets des véhicules automatiques réalisée jusqu'ici met en avant plusieurs contributeurs potentiels à l'augmentation du nombre de véhicule-kilomètres parcourus : baisse du coût des déplacements ; augmentation de la capacité routière, selon le principe de demande induite ; accès à de nouveaux usagers ; baisse de la valeur du temps de transport ; capacité des VA à parcourir des kilomètres à vide, sans passager à bord, pour des missions de stationnement, de recharge, ou encore de repositionnement dans le cas de services de taxis automatiques (Anderson et al., 2014 ; Mares et al., 2018 ; Litman, 2019a).

La plupart des études traitant de l'incidence de l'introduction des véhicules automatiques sur le nombre de véhicule-kilomètres parcourus concluent à une augmentation. Cependant, leurs résultats sont marqués par une grande variabilité. Cette dernière provient des principes et des hypothèses de simulation utilisés, portant sur l'évolution de la valeur du temps, de la capacité routière, des coûts de déplacement ou encore le taux et le type de déplacements remplacés par le mode de transport automatique (Pernestål Brenden et Kristoffersson, 2018 ; Auld et al., 2017 ; Fagnant et Kockelman, 2016).

Pour résumer ces éléments, nous reprenons la représentation graphique réalisée par Pernestål Brenden et Kristoffersson (2018) à partir d'une large revue des travaux de modélisation.

Figure 6 : Evolution du nombre de véhicule-kilomètres parcourus (%) selon le type d'implémentation du véhicule automatique, résultats d'une trentaine de travaux de modélisation (Pernestål Brenden et Kristoffersson, 2019)

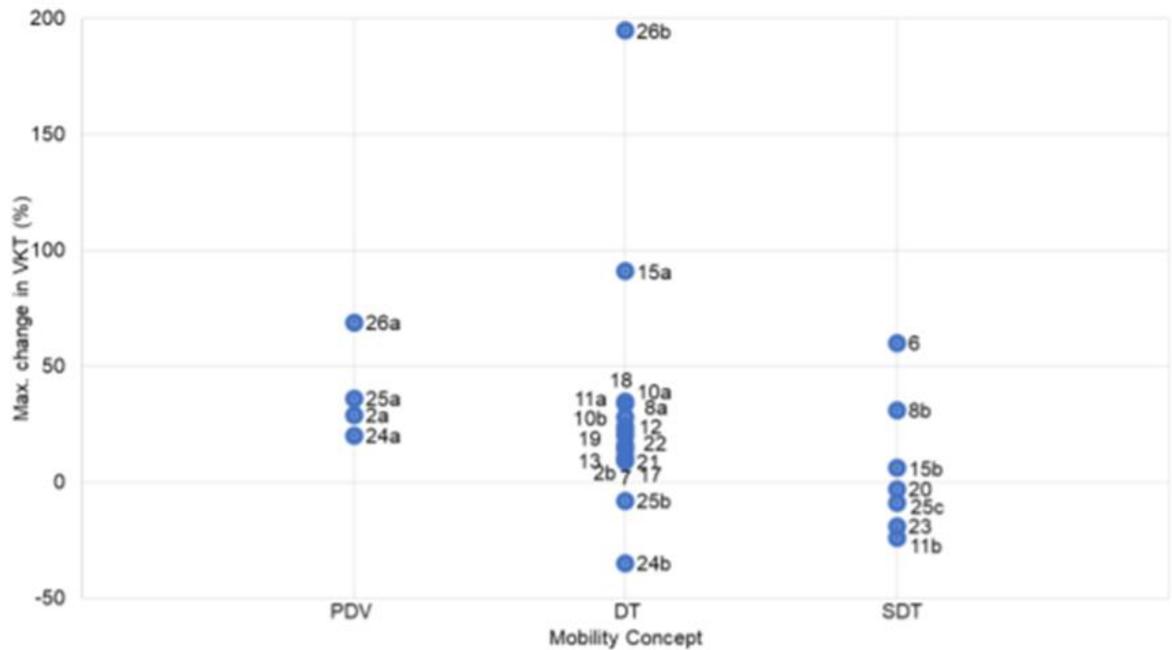


Figure 2. The relation between changes in VKT and mobility concept in the simulation studies.

PDV : véhicules automatiques privés
 DT : taxis automatiques
 SDT : taxis automatiques partagés

Trois cas sont différenciés : le véhicule automatique privé ; le taxi automatique et le taxi automatique dont les courses sont partagées.

Dans le premier cas, l'augmentation estimée se trouve entre 20 et 70%. Les véhicule-kilomètres supplémentaires sont composés d'une augmentation de la demande et de kilomètres à vide. La première est due à une diminution de la valeur du temps de transport et une augmentation de la capacité routière, et les seconds aux conditions de stationnement et aux pratiques de partage au sein des ménages.

Dans le second cas, les estimations se concentrent entre +5 et +35%. Les véhicule-kilomètres supplémentaires sont issus de la relocalisation des véhicules et des kilomètres

parcourus à vide. Les simulations concluant à une diminution supposent une tarification élevée (Childress et al., 2015 ; Davidson et Spinoulas, 2016).

Dans le troisième cas, les estimations s'établissent entre +30 et -25%. Le partage des courses pourrait donc permettre une diminution du nombre de véhicule-kilomètres parcourus (Soteropoulos et al., 2019 ; Heilig et al., 2017). Toutefois, lorsque la simulation est basée sur un modèle de choix, et non sur une hypothèse de taux de remplacement des déplacements, moins de courses sont partagées. La réduction de prix permise par le partage n'est donc pas un élément suffisant pour un report notable vers ce mode (Hörl, 2017).

Comme nous le voyons, il est difficile de conclure sur l'effet de l'introduction du véhicule automatique sur le nombre de kilomètres parcourus, sauf à comparer différents modes d'introduction. La comparaison des différents travaux de simulation s'avère en effet délicate du fait de la variété des contextes étudiés, des données utilisées et des hypothèses prises.

Citons finalement le travail de Harb et al. (2018). Il s'agit d'une expérience consistant à offrir soixante heures de courses de taxis gratuites pendant une semaine à treize ménages afin de simuler l'utilisation privée d'un VA. Elle montre une augmentation moyenne de la distance de déplacements de 83%, particulièrement des trajets supérieurs à une trentaine de kilomètres et après 18h. Ce résultat semble confirmer, toute proportion gardée, les conclusions précédentes sur l'augmentation substantielle des kilomètres parcourus que provoquerait l'introduction de véhicules automatiques personnels.

Un nombre de véhicules supposément diminué grâce au partage

Dans le cas de la taille du parc de véhicules, de nouveau, une distinction selon le mode d'implémentation étudié doit être faite. Dans le cas d'un remplacement de véhicules conventionnels privés par des véhicules automatiques privés, Zhang et al. (2018b) estiment une réduction du parc de 9,5%, due au partage du véhicule au sein des ménages. Lorsqu'il s'agit du remplacement de tout ou partie de la demande de transport par des services de taxis automatiques, les taux de réduction, à niveau de demande constant, sont naturellement bien plus importants : entre 67 et 92%, avec une concentration autour de 90% (Burns et al., 2013 ; Spieser et al., 2014 ; Fagnant et Kockelman, 2014 ; Fagnant et al., 2015 ; Martinez et Crist, 2015 ; Bösch et al., 2016 ; Bischoff et Maciejewski, 2016 ; Fagnant et Kockelman, 2016 ; Loeb et Kockelman, 2017 ; Dia et Javanshour, 2017 ; Gurusurthy et Kockelman, 2018). Dans le cas du partage des courses, les auteurs notent l'influence importante des hypothèses de temps d'attente maximum et des stratégies de relocalisation. Ce dernier point donne lieu à une littérature spécifique (Pernestål Brenden et Kristoffersson, 2018 ; Winter et al., 2021).

Ces résultats montrent une nouvelle fois l'importance des hypothèses de partage, telles que catégorisées par Pernestål Brenden et Kristoffersson (2019). Ils mettent à jour une probable décorrélation entre kilomètres parcourus et nombre de véhicules, prédisant d'un côté une augmentation et de l'autre une diminution.

Une possible baisse de l'utilisation des transports collectifs et des modes actifs, dépendante du mode d'exploitation des véhicules automatiques et de l'évolution de l'occupation de l'espace public

Dans les deux sections précédentes, nous avons évoqué les recherches traitant du véhicule automatique de manière isolée, et n'avons donc pas examiné l'évolution de l'utilisation des autres modes de transport urbains, à savoir des transports collectifs, du vélo et de la marche à pied. Considérons tout d'abord les relations supposées entre l'utilisation du véhicule automatique et la fréquentation des transports collectifs (TC). Deux types d'études se côtoient.

Les premières interrogent le renouvellement de la concurrence modale. En effet, le véhicule automatique menace potentiellement l'attractivité des transports collectifs en proposant également l'absence de conduite et de coûts de stationnement. De plus, il se montre compétitif en matière de coût dans le cas d'un service de taxis (Bösch et al., 2017 ; Lazarus et al., 2018 ; Basu et al., 2018). La majorité des travaux de simulation concluent ainsi

à une baisse de la fréquentation des TC (de 3 à 60%), mais également souvent à une baisse de la part modale de la voiture particulière (20 à 48%) (Kröger et al., 2018 ; Levin et Boyles, 2015; Chen et Kockelman, 2016 ; Hörl et al., 2016 ; Bösch et al., 2017). Toutefois, une des seules enquêtes considérant une introduction des modes automatiques partagés et personnels simultanément estime une baisse de 6% de la part modale des transports collectifs, et une stabilité de la part modale voiture particulière (Pakusch et al., 2018). Seules les études de Childress et al. (2015) et Heilig et al. (2017) concluent à une augmentation de la part modale des TC dans le cas de l'introduction des taxis automatiques, modeste, de respectivement 2 et 3%. Elles s'expliquent dans le premier cas par des hypothèses de coûts d'opération des services de taxis élevés et dans le second par le bannissement des véhicules privés de certaines zones géographiques.

Le second type d'études, bien plus rare, aborde le véhicule automatique comme une opportunité pour les transports collectifs, à travers une relation complémentaire (Wen et al., 2018 ; Alessandrini et al., 2015 ; Milakis et al., 2017). Le VA assurerait ainsi supposément la desserte de segments peu rentables, des premiers et derniers kilomètres, ou encore les services de « transport à la demande », améliorant ainsi fréquence et maillage territorial. Ils permettraient par ce biais une meilleure fréquentation des réseaux et desserte des zones dépendantes de la voiture (Thomopoulos et Givoni, 2015 ; Ohnemus et Perl, 2016; Lazarus et al., 2018). Vakayil et al. (2017) mettent en évidence l'intérêt de la complémentarité des services de taxis automatiques et des transports en commun en matière de kilomètres parcourus, inférieurs de 50% par rapport à un service de taxis automatiques.

Les études de l'influence des VA sur l'attractivité des modes doux sont plutôt rares. En la matière, les thèmes techniques et éthiques sont davantage présents (Meeder et al., 2017 ; Rangesh et al., 2016 ; Combs et al., 2019 ; Rouchitsas et Alm, 2019 ; Bonnefon et al., 2016). Elles montrent en tout cas un antagonisme. D'un côté, l'amélioration de la sécurité des déplacements permise par le véhicule automatique faciliterait le recours aux modes doux ; de l'autre, une augmentation du volume de transport limiterait leur pratique (Milakis et al., 2017 ; Meeder et al., 2017). Par ailleurs, l'occupation de l'espace urbain est un élément explicatif clé de la pratique de la marche à pied. Ainsi, l'introduction des VA bénéficierait aux piétons dans le cas d'une réduction de l'espace de stationnement et de circulation automobile, hypothèse que nous étayerons dans la rubrique suivante, et de sa conversion en espace public ou en aménités. A contrario, si l'interaction se montrait difficile entre les véhicules automatiques et les autres usagers de l'infrastructure, des voies spécifiques pourraient être créées. Les piétons seraient alors bannis de ces espaces et leurs zones de traversée restreintes, réduisant la fluidité de leurs déplacements (Meeder et al., 2017 ; Jacob, 2018). De plus, le développement

de voies dédiées constituerait une menace pour le financement des aménagements destinés aux modes actifs (Clark et Mann, 2017).

D'un point de vue quantitatif, des simulations considérant la performance comparée des modes doux et des modes basés sur le véhicule automatique font état d'une baisse des parts modales de 8 à 16% (Soteropoulos et al., 2019). Seuls Childress et al. (2015) et Heilig et al. (2017), estiment, pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment, des augmentations entre 4,5% et 6%.

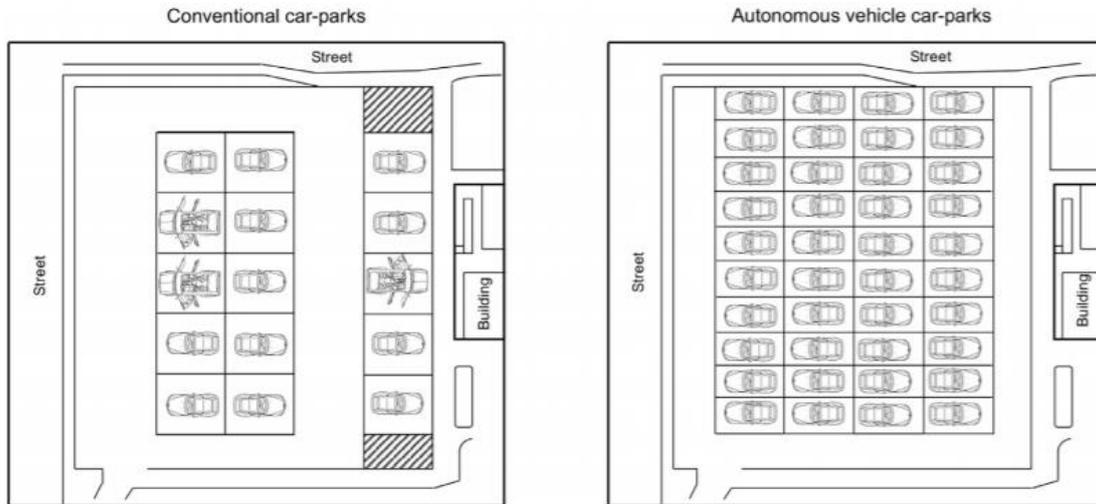
En conclusion, l'introduction des véhicules automatiques dans le système de mobilité fait peser le risque d'un report modal des transports collectifs et des modes doux vers les modes automobiles, renvoyant aux conséquences de la généralisation des services de VTC (Clewlow et Mishra, 2017 ; Basu et al., 2018). Les travaux de simulation intègrent rarement simultanément les véhicules automatiques personnels, les taxis automatiques, et les autres modes de transport (Taeibat et al., 2018). Cela permettrait pourtant de discuter de l'importance comparée des différents types de reports, des modes privés vers les modes partagés et des transports collectifs et modes doux vers les modes partagés.

L'espace public, une libération dépendante du partage des véhicules et de la réaffectation des gains de capacité routière

Deux principaux changements structurent l'effet des véhicules automatiques sur l'occupation de l'espace urbain : la réduction de l'espace de stationnement et la réduction de l'espace de voirie. L'espace économisé pourrait bénéficier aux autres modes ou être utilisé à des fins de loisirs ou de logement (Milakis et al., 2017 ; Taeibat et al., 2018 ; Jacob, 2018 ; Litman, 2019a).

La réduction de l'espace de stationnement est un des avantages du VA les plus couramment cités (Allessandrini, 2013 ; Anderson et al., 2014 ; Thomopoulos et Givoni, 2015 ; Acheampong et al., 2018). Il correspond à deux mécanismes : l'optimisation physique des zones de stationnement et la diminution du nombre de véhicules grâce à la généralisation des services de taxis automatiques. Dans le premier cas, plusieurs réaménagements permettraient une réduction de l'espace de stationnement : distances resserrées entre véhicules, suppression des accès piétons (ascenseurs et escaliers), réduction des voies de circulation au sein du parking et possibilité d'organiser le stationnement en lots (Norinejad et al., 2018). Les gains d'espace s'établiraient entre 62 et 82% (Norinejad et al., 2018 ; Sadfie, 1998, p.142).

Figure 7 : Organisation d'un parking conventionnel (à gauche) et d'un parking dédié à des véhicules automatiques (à droite), (Nourinejad et al., 2018)



Dans le second cas, la réduction de l'espace de stationnement résulte de la généralisation des services de taxis automatiques. Quelques estimations quantitatives sont disponibles à l'échelle urbaine, dans les cas de Singapour, Lisbonne et Atlanta. Dans la première situation, la réalisation des déplacements domicile-travail grâce à une flotte de taxis automatiques entraîne une baisse des besoins de stationnement de 50% (Kondor et al., 2018). Dans la seconde situation, le remplacement de l'ensemble de la demande de transport en voiture particulière et en bus provoque une baisse des besoins de stationnement de 94% (Martinez et Crist, 2015). Un effet qui devient cependant modeste lorsque le taux de remplacement de la demande de transport n'est que de 50%. Dans la troisième situation, une diminution de l'espace de stationnement de 5% pour un taux de pénétration des taxis automatiques de 5% est estimée (Zhang et al., 2017).

Par ailleurs, la capacité des VA à dissocier lieu de dépose des passagers et de stationnement questionne leur incidence en matière de kilomètres parcourus à vide et de localisation des zones de stationnement. Zhang et al. (2017) traitent de la répartition spatiale de ces dernières selon deux scénarios : l'un où le stationnement est gratuit, l'autre où le prix du stationnement est dépendant des valeurs foncières. Dans le premier cas, la demande de stationnement est répartie uniformément, relativement aux destinations des déplacements. Dans le second cas, les zones de stationnement se concentrent dans les aires les moins favorisées, au taux de pauvreté important. Zakharenko (2016) conclut également à la formation d'une « *parking belt* » en périphérie proche, où se reporte 97% du stationnement. Par ailleurs, Zhang et al. (2015) soulignent l'importance de la régulation des trajets à vide. S'ils sont interdits, le stationnement des véhicules reste concentré dans le centre-ville.

Le second bénéfice des VA concernait l'espace de voirie. En effet, les aptitudes des VA à la circulation rapprochée font présumer des gains de capacité transposables en nouvel espace disponible. Cette dernière approche est extrêmement rare dans la littérature. Nous trouvons seulement les estimations d'Ambühl et al. (2016), qui, dans le cas de VA personnels et d'un réseau viaire maillé hypothétique, apprécient une baisse de l'espace routier nécessaire d'environ 12%.

Les avantages spatiaux des véhicules automatiques détaillés dans cette rubrique apparaissent à la fois potentiellement importants et fortement dépendants du partage des véhicules pour l'un, et de l'allocation de l'espace économisé pour l'autre. Nous abordons dans la rubrique suivante les effets spatiaux à une échelle géographique supérieure, l'échelle urbaine.

Une périphérisation des ménages dans le cas de véhicules automatiques personnels

Comme nous l'avons décrit, les véhicules automatiques pourraient engendrer une densification des zones centrales par la reconquête d'une partie de l'espace urbain. Parallèlement, les VA amélioreraient l'accessibilité globale du territoire du fait des gains de capacité et de la diminution de la valeur du temps de transport (Milakis et al., 2017 ; Taeibat et al., 2018). Une hypothèse qui supposerait un allongement des distances parcourues, un regain d'attractivité des zones périphériques, aboutissant à une extension urbaine (Anderson et al., 2014). Elle est confirmée par diverses simulations dans le cas de l'introduction du VA personnel (Thakur et al., 2016 ; Meyer et al., 2017 ; Zakharenko, 2016). S'agissant de l'introduction de services de taxis automatiques, les effets sont plus hétérogènes. Aucun étalement urbain n'est prédit (Zhang et Guhathakurta, 2018). Selon Thakur et al. (2016) une densification proportionnelle à la distance au centre-ville et une diminution de la population en périphérie éloignée auraient lieu.

Plus précisément, dans un contexte de disponibilité du véhicule automatique, les volontés de déménagement et d'allongement du temps de transport se montrent dépendantes du profil sociodémographique (Moore et al., 2020). Les personnes les plus âgées auraient tendance à se rapprocher du centre-ville et les plus jeunes à s'en éloigner (Zhang, 2017 ; Zhang et Guhathakurta, 2018 ; Moore et al., 2020). Toutefois, de tels mouvements sont dépendants de l'évolution réelle de la valeur du temps de transport. Deux enquêtes récentes signalent l'utilisation d'hypothèses d'évolution de la valeur du temps de transport excessives dans la plupart des travaux de simulation, surévaluant ainsi les conséquences en matière de

choix de localisation (Krueger et al., 2019 ; Moore et al., 2020). En ce sens, Krueger et al. (2019) concluent à des conséquences marginales sur les choix de localisation.

L'évolution de la localisation des entreprises n'est traitée que par Zhang (2017) dans le cas de la généralisation de services de taxis automatiques. Une accentuation de la ségrégation spatiale entre activités industrielles et tertiaires est pronostiquée. Les premières se concentrent en périphérie et les secondes dans les zones centrales, sans qu'un étalement des localisations n'ait lieu.

A l'heure actuelle, comme pour la plupart des effets du véhicule automatique, il est difficile de conclure sur son influence sur la répartition géographique des ménages et des activités, même si les risques en matière d'étalement urbain semblent faire consensus dans les cas du VA individuel. Toutefois, les études menées jusqu'à présent sur ces questions utilisent des hypothèses surestimant probablement la baisse de la valeur du temps et donc la portée structurante de ces nouveaux modes de transport.

2.1.3. Le mode d'exploitation comme discussion centrale

Le panorama des effets attendus du véhicule automatique au niveau urbain proposé présente ces derniers selon deux parties, reprenant les effets « directs » pour l'une et les effets « indirects » pour l'autre. Dans les deux cas, les deux principales méthodologies mobilisées sont la modélisation du système de transport et l'enquête de préférences déclarées.

La synthèse thématique s'est montrée délicate. La comparaison des études est rendue difficile par la variabilité des hypothèses. Deux visions structurent toutefois le corpus en question : d'un côté le véhicule automatique personnel, de l'autre les services de taxis automatiques. La plupart des effets directs sont communs à ces deux modes :

- amélioration de la sécurité routière
- augmentation de la capacité des infrastructures routières
- diminution de la consommation énergétique des véhicules
- amélioration du confort de déplacement
- diminution de l'exclusion sociale due à l'exclusion de la conduite

Dans le cas des taxis, une diminution du prix et une disparition des métiers de conduite sont attendues.

S'agissant des effets indirects, plusieurs points de vigilance sont repérables : augmentation du nombre de véhicule-kilomètres parcourus et diminution de la fréquentation des transports en commun concernant les deux applications. L'introduction de la voiture automatique pourrait également engendrer la périphérisation des ménages. La diminution de la taille du parc de véhicules et une libération de l'espace public sont davantage associées aux taxis automatiques.

Au-delà de cette synthèse, il nous semble nécessaire d'insister sur l'incertitude généralisée s'agissant de l'ampleur de ces effets, voire de leurs natures. La plupart des résultats obtenus résultent en effet d'hypothèses de modélisation qui sont à relativiser. Deux types de critiques leur sont principalement adressés : leur manque de cohérence avec les enquêtes menées, particulièrement dans le cas de la valeur du temps de transport, et l'utilisation de valeurs « extrêmes », laissant supposer des effets structurant et confortant ainsi le statut « révolutionnaire » des véhicules automatiques. Ce premier constat est également valable dans le cas de l'hypothèse de partage des véhicules. La perspective de taxis automatiques est en effet très présente mais ne reflète pas les enquêtes réalisées jusqu'à présent. Ces dernières ne relèvent en effet pas de liens entre automatisation et substitution des déplacements en voiture personnelle par des déplacements en taxis ou en taxis partagés. Plus généralement, le coudolement de ces deux types d'applications s'agissant de l'estimation des effets de l'introduction des VA entretient une certaine nébulosité autour de ses potentielles conséquences, par la comparaison de ce qui constituerait des modes de transport différents (Krueger et al., 2016).

Quoi qu'il en soit, ces résultats mettent en lumière l'importance du type d'application, du mode d'exploitation du VA, qui dépendra de la rencontre des stratégies des acteurs privés, des préférences des consommateurs et des politiques publiques formulés (Clark et al., 2016 ; Wadud et al., 2016). Ainsi, le véhicule automatique apparaît comme un sujet pour la planification des transports, et plus généralement urbaine (Heinrichs, 2016). Son rôle futur sera dépendant de la régulation mise en place par les pouvoirs publics, particulièrement locaux (Stead et Vaddadi, 2019). Au vu de ce constat, nous étudions dans la deuxième sous-partie de ce chapitre l'implication actuelle des autorités publiques en la matière.

2.2. L'action publique locale dédiée au véhicule automatique, entre appropriation, incertitude et scepticisme

Dans la précédente sous-partie, nous avons mis en avant la dépendance entre le mode d'exploitation des véhicules automatiques et les effets attendus à l'échelle urbaine, et souligné le rôle qu'auront donc à jouer les pouvoirs publics locaux en la matière, particulièrement considérant les effets indirects négatifs attendus. Dans cette dernière sous-partie, nous appuyant sur les études disponibles, nous décrivons plus avant la nécessité d'une action publique locale (1.4.1), nous nous attachons à décrire celle actuellement menée, à l'heure de la multiplication des expérimentations (1.4.2), nous décrivons le positionnement actuel des acteurs locaux en matière de véhicules automatiques (1.4.3) et les moyens d'actions envisageables à plus long terme (1.4.4).

2.2.1. Une action publique locale nécessaire au vu des effets attendus du véhicule automatique

Comme nous avons pu le voir en début de chapitre, les gouvernements internationaux et nationaux sont impliqués dans la réglementation du VA, principalement dans les domaines de la sécurité, de l'assurance, de la cybersécurité, de l'interopérabilité des systèmes et de la protection des données personnelles (Taeihagh et Lim, 2019). Les instances locales sont de leur côté davantage concernées par la circulation, l'utilisation des transports en commun et des modes actifs, les infrastructures routières et l'occupation du sol et de l'espace public (Isaac, 2016 ; Telepak et Augustin, 2018 ; Papa et Ferreira (2018). Ainsi, les priorités des pouvoirs publics à l'égard de l'intégration du véhicule automatique se montrent différentes selon l'échelle. Les autorités nationales se concentrent sur les gains en matière de sécurité et d'efficacité énergétique, particulièrement dans le cas des déplacements longs, ainsi que sur les enjeux de compétitivité industrielle. Les autorités locales, quant à elles, fondent plutôt leurs décisions sur des enjeux de qualité de vie et de dynamisme économique du territoire (Fraedrich et al., 2019). Malgré leur influence *a priori* limitée sur le développement de cette technologie, les autorités locales jouent donc un rôle essentiel dans la gestion de l'intégration du véhicule automatique au système de transport, et par là dans la protection de l'intérêt public (Botello et al., 2019 ; Isaac, 2016 ; Telepak et Augustin, 2018 ; Papa et Ferreira, 2018 ; Orfeuil et Leriche, 2019, p. 235 ; Ho, 2019).

Plusieurs éléments justifient l'action publique locale. D'une part, comme présenté à la rubrique précédente, indépendamment du mode d'implémentation envisagé, les études sur l'automatisation de conduite montrent des conséquences potentiellement négatives : augmentation du nombre de véhicule-kilomètres parcourus, étalement urbain, diminution de l'utilisation des transports collectifs ou encore disparition de certains emplois (Hoadley, 2018 ; Freemark et al., 2019 ; Fraedrich et al., 2019). D'autre part, le développement et l'implémentation de cette technologie sont dépendants d'entreprises privées. Cela renforce ainsi leur place, et avec elle une vision centrée sur l'amélioration de la mobilité individuelle (Papa et Ferreira, 2018). Certains auteurs prédisent que le mode d'intégration du véhicule automatique sera dépendant du poids des différents acteurs, et notamment de la perception de la « légitimité des registres de justifications des acteurs » (Orfeuil et Leriche, 2019 ; Cohen et Cavoli, 2019). Des conditions qui rendent la libre concurrence, le « laisser-faire », un mode non optimal de régulation, aux effets néfastes sur la congestion et l'accessibilité (Anderson et al., 2014 ; Metz, 2018 ; Cohen et Cavoli, 2019 ; Papa et Ferreira, 2018). Reck et Axhausen (2019) prolongent cette réflexion et décrivent ainsi les imperfections de marché du marché des taxis automatiques : présence d'externalités (congestion, pollution), économies d'échelle supérieures au marché actuel des taxis du fait de l'augmentation de la taille du marché engendrée par la baisse des prix, et barrières à l'entrée amenant à une position privilégiée des firmes de grande taille. Ils concluent ainsi à la nécessité d'un mode de régulation permettant de se rapprocher d'un fonctionnement monopolistique, plus efficace pour répondre à la demande.

Face à ce constat, qu'en est-il des actions, préoccupations et positionnements actuels des acteurs locaux face au véhicule automatique ?

2.2.2. Les moyens d'intervention actuels : développement de la veille et expérimentations

Aux Etats-Unis et en Europe, plusieurs études proposent des inventaires des stratégies locales consacrées au véhicule automatique. En 2015, Guerra observe une faible intégration du sujet dans les documents de planification des grandes métropoles américaines, tout au plus mentionné comme un facteur de changement, sans plan d'investissement ou d'actions attachés. En effet, l'incertitude multidimensionnelle entourant le sujet, portant à la fois sur l'horizon temporel, la réglementation, le niveau de pénétration, le comportement des individus, et l'ampleur des conséquences par rapport à d'autres changements probables, invite à une position attentiste (Guerra, 2016 ; Yigitcanlar et al., 2019 ; Srinivason, 2016 ; Legacy et al., 2019).

Les états des lieux plus récents se montrent plus nuancés. Si aucune préparation particulière, assignement à un département spécifique, ou influence notable sur les décisions n'émergent, deux évolutions ont eu lieu (Freemark et al., 2019). D'une part, la connaissance du sujet par le personnel des services concernés s'est améliorée. D'autre part, le sentiment de nécessité d'intervention publique, particulièrement en matière sociale et environnementale, s'est renforcé (Legacy et al., 2019 ; Freemark et al., 2019 ; Fraedrich et al., 2019).

Au sein des territoires qui souhaitent « être à l'avant-garde », deux principaux registres d'actions existent : développement de divers moyens d'étude et de veille et organisation d'expérimentations. Dans la première catégorie, nous trouvons des dispositifs de partage d'information, comme par exemple des groupes de travail interservices ; des outils de veille et la réalisation d'études stratégiques (Chatman et Moran, 2019 ; Philanthropies, 2018 ; Ho, 2019). Les villes de Los Angeles, Phoenix, San Francisco, Toronto et Amsterdam se montrent particulièrement actives. Ces réflexions sont également menées au niveau international, au sein d'institutions regroupant de grandes métropoles mondiales, comme le collectif C40 et l'association « *The Bloomberg Aspen Initiative on Cities and Autonomous Vehicles* ». Cette dernière a été créée à l'initiative de l'ancien maire de New-York, Michael Bloomberg, en octobre 2016. Elle réunit notamment Paris, Londres, Washington, Los Angeles, Buenos Aires, Tel Aviv, Helsinki et Sao Paulo (Bloomberg Philanthropies, 2017).

Une multiplication des expérimentations a également lieu (Freemark et al., 2019). Les motivations à favoriser l'accueil ou organiser celles-ci se détachent des réflexions autour de la planification des transports. Elles sont d'abord économiques : favoriser l'emploi local par l'installation d'entreprises impliquées dans cette technologie, assurer la promotion du territoire ou encore afficher une image de « *smart city* » (Chatman et Moran, 2019). Elles sont l'occasion d'enquêtes, selon deux thèmes récurrents, l'acceptabilité de la technologie et la transformation des métiers de conducteur (Chatman et Moran, 2019 ; Boersma et al., 2018 ; Nordhoff et al., 2018). Ces expérimentations prennent deux principales formes. Des tests de navettes, où les autorités publiques sont impliquées dans le financement, la conception, l'exécution et l'analyse, et des essais de services de taxis automatiques organisés par des entreprises privées. Dans la première configuration, les pouvoirs publics interviennent sur le modèle des transports publics (Fraedrich et al., 2019). Dans la seconde, ils freinent ou incitent ces initiatives à travers les règles d'autorisation. Des partenariats ont parfois été conclus entre les municipalités et les entreprises concernées, principalement aux Etats-Unis. Ces accords sont cependant jugés insatisfaisants sur les plans de la coordination et du partage des données, particulièrement s'agissant des données d'opération des véhicules (Stocker et Shasheen, 2018 ; Chatman et Moran, 2019 ; Isaac, 2016, Srinivasan, 2016).

Au-delà de ces initiatives, de cet engagement dans des démarches expérimentales en coordination plus ou moins étroite avec des acteurs privés, comment les autorités locales jugent-elles de l'intérêt du véhicule automatique pour leur territoire, quelles préoccupations se dégagent ?

2.2.3. Le positionnement des acteurs locaux, entre scepticisme et préoccupation autour de l'impact sur les comptes publics

Malgré la mise en place d'actions à court terme, les études dédiées montrent un certain scepticisme des acteurs locaux quant à la capacité des véhicules automatiques à contribuer à l'atteinte de leurs objectifs. Plus précisément, des effets positifs en matière de sécurité, de congestion et d'efficacité énergétique sont supposés, mais ceux en matière de véhicules-kilomètres parcourus, de nombre de véhicules en circulation, d'étalement urbain, de fréquentation des transports collectifs ou encore d'emploi sont redoutés (Chatman et Moran, 2019 ; Fraedrich et al., 2019 ; Freemark et al., 2019).

Par ailleurs, deux domaines préoccupent particulièrement les gouvernements locaux concernant l'incidence du VA sur la gestion des affaires courantes, à savoir : le renouvellement des infrastructures et l'évolution des finances publiques locales (Freemark et al., 2019 ; Fraedrich et al., 2019). En effet, l'état actuel des technologies amènerait à une adaptation de l'infrastructure routière (carrefours, feux de circulation, signalisation, etc.), voire à la mise en place de voies réservées, même si cette dernière option se montre très impopulaire (Issac, 2016 ; Telepak et Augustin, 2018). Ces évolutions présument en effet d'investissements supplémentaires et d'un renforcement de la maintenance, surtout dans le cas d'équipements électroniques et informatiques nécessitant des mises à jour régulières, qui risquent de rencontrer des problèmes de financement (Mares et al., 2018 ; Adler, 2019 ; Mittereger et al., 2019 ; Freemark et al., 2019 ; Terry et Bachmann, 2019). Plus généralement, les réticences sont importantes, comme en témoignent les propos d'un des participants de l'enquête de Fraedrich et al. (2019) en Allemagne : « *l'infrastructure ne doit pas s'adapter au véhicule autonome, c'est l'inverse* » (traduction de l'autrice). Une observation qui mène au deuxième domaine de préoccupation des autorités locales : l'évolution des finances publiques. En effet, alors que les dépenses infrastructurelles sont amenées à augmenter, certaines recettes se voient menacées. Les recherches sur le sujet notent effectivement la possible disparition des recettes liées au stationnement et aux contraventions (Leimenstoll, 2017 ; Mares et al., 2018 ; Adler, 2019 ; Mittereger et al., 2019). D'autres recettes, comme celles issues de la taxation des carburants et des véhicules dépendront, pour les premières,

de l'évolution du nombre de kilomètres parcourus et de la motorisation des véhicules, et pour les secondes du nombre et de la valeur des véhicules. Dans le cas d'une opération en flotte, une augmentation de la taxe moyenne par véhicule peut être envisagée, en reportant la taxation de la possession à l'utilisation (Mares et al., 2018 ; Mittereger et al., 2019). Toutefois, plus indirectement, la densification des centres urbains permise par la disparition des parkings peut engendrer de nouvelles recettes fiscales et foncières avec l'installation de logements ou d'activités commerciales (Clark et al., 2017 ; Adler et al., 2019).

2.2.4. Reconsidérer les moyens d'intervention traditionnels pour assurer une intégration bénéfique du véhicule automatique

Considérant ces enjeux, différents auteurs se sont penchés sur les moyens d'intervention des pouvoirs publics locaux en vue d'assurer une intégration bénéfique des véhicules automatiques. Ils répertorient ainsi les politiques publiques et outils mobilisables. Papa et Ferreira (2018) distinguent huit aires d'intervention : gestion de la circulation, partage des véhicules, transports collectifs, mixité des modes, exclusion sociale, durabilité environnementale, stationnement et conception du réseau routier. Cohen et Cavoli (2018) divisent les moyens d'intervention en cinq types : régulation, instruments économiques, planification, organisation des services de transport et gestion des infrastructures. Nous nous appuyons sur ces deux typologies et sur les constats réalisés précédemment pour proposer une synthèse des recommandations les plus couramment formulées. Ces dernières se trouvent dans cinq champs d'action : gestion de la circulation, partage des véhicules, transports publics, mixité des modes et équité d'accès.

La gestion de la circulation est le champ le mieux renseigné. Plusieurs dispositifs de limitation de la demande sont envisagés. Premièrement, un instrument économique couramment étudié dans le domaine des transports : la taxation de l'utilisation de la route, ajustable à l'encombrement et à la distance parcourue (Isaac, 2016 ; Cohen et Cavoli, 2018 ; Bahamonde-Birke, 2018 ; Riggs et al., 2019). Outre ses vertus de temporisation de la demande, ce schéma de taxation interviendrait pour pallier les pertes de recettes du stationnement et des contraventions, d'autant que la tarification du stationnement, particulièrement en zones centrales, perdrait sa capacité à réguler la circulation (O'Shaughnessy et al., 2017 ; Mittereger et al., 2019). D'autre part, sa mise en place est facilitée par la « digitalisation », et particulièrement la géolocalisation des véhicules, qui permet d'appliquer uniformément la taxe sur le réseau routier, et d'éviter ainsi les effets de déversement (Adler et al., 2019). Deuxièmement, les trajets à vide intervenant pour la

recherche d'une place de stationnement ou pour la desserte de différents usagers pourraient être interdits ou drastiquement limités (Cohen et Cavoli, 2018 ; Bahamonde-Birke et al., 2018). Troisièmement, deux stratégies de planification pourraient être appliquées : la limitation, voire l'arrêt de l'expansion routière et la définition de limites urbaines (Isaac, 2016 ; NACTO, 2017 ; Riggs et al., 2019). Finalement, la dernière mesure citée dans la littérature consiste en l'optimisation du réseau et de la circulation en temps réel grâce à la centralisation des données issues des véhicules et des infrastructures (NACTO, 2017 ; Cohen et Cavoli, 2018 ; Metz, 2018).

En second lieu, comme nous l'avons constaté, de nombreux avantages associés au véhicule automatique tiennent à son mode d'utilisation, plus précisément au partage des véhicules. Pour favoriser cette pratique, la régulation pourrait favoriser les véhicules au taux de remplissage important par exemple grâce à des voies de circulation réservées ou à une tarification préférentielle, voire une subvention (Isaac, 2016 ; Snyder, 2016 ; O'Shaughnessy et al., 2017 ; Cohen et Cavoli, 2018). Par ailleurs, particulièrement s'il s'agit de taxis automatiques, des standards environnementaux peuvent être imposés à l'opérateur (Adler et al., 2019).

En troisième lieu, pour assurer une relation équilibrée avec les autres modes de transport, il est possible d'améliorer le système de transports en commun, en fréquence et en niveau de desserte, afin qu'il reste concurrentiel et de favoriser l'intermodalité grâce à l'intégration spatiale, temporelle et tarifaire des services de transport du territoire (Kalra, 2016 ; O'Shaughnessy et al., 2017 ; Cohen et Cavoli, 2018 ; Metz, 2018 ; Bahamonde-Birke et al., 2018). Parallèlement, la vitesse de circulation peut être abaissée, sans risque d'irrespect, en vue de favoriser la pratique des modes actifs (Isaac, 2016 ; NACTO, 2017 ; Cohen et Cavoli, 2018).

Le dernier pan de mesures concerne l'équité d'accès et d'utilisation du véhicule automatique. Deux vecteurs d'action sont décrits : la subvention des services de transport dans les zones non rentables et pour les publics défavorisés, afin de garantir leur disponibilité, et la réglementation de la conception des véhicules et des interfaces technologiques pour permettre une utilisation sans smartphone ou carte de crédit (Guerra, 2016 ; Kalra, 2016 ; Yigitcanlar et al., 2019).

En conclusion, les moyens d'intervention publique locaux proposés par la littérature dans le cas du VA, résumés dans le tableau ci-dessous, sont connus par ailleurs. Ils sont pour certains déjà mis en œuvre. Les véhicules automatiques permettent surtout l'utilisation des données qu'ils génèrent à des fins d'optimisation et de taxation et un respect strict des règles de circulation.

Tableau 2 : Synthèse des moyens d'intervention publique favorisant une bonne intégration du véhicule automatique

Aires d'intervention Moyens d'intervention	Gestion de la circulation	Partage des véhicules	Transports collectifs	Mixité des modes	Exclusion sociale
Réglementation	-Interdiction des trajets à vide -Cadre monopolistique pour le marché des taxis automatiques	-Voies de circulation réservées -Standards environnementaux		-Baisse de la vitesse de circulation	-Règles de conception des systèmes
Instruments économiques	-Taxation au kilomètre -Tarification du stationnement	-Subvention/ tarification préférentielle au covoiturage			-Subvention aux publics défavorisés
Planification	-Arrêt/limitation de l'expansion routière -Limites urbaines			- Aménagement de l'espace public au profit des modes actifs	
Organisation des services de transport			-Amélioration du système de transports publics -Organisation de l'intermodalité		-Subvention des services peu ou non rentables
Gestion des infrastructures	-Centralisation des données				

Cette dernière sous-partie avait pour objectif de mieux appréhender la place et les moyens de l'action publique locale face aux effets attendus des VA. En effet, nous avons vu que l'introduction de ces véhicules, sur le mode de la voiture personnelle ou du taxi, entraînerait probablement des effets négatifs et un renforcement de la place des entreprises privées, dont l'objectif est avant tout la satisfaction des consommateurs à l'échelle individuelle. Reck et Axhausen (2019) mettent en avant la nécessité de rapprocher le marché des taxis automatiques d'un fonctionnement monopolistique. Les missions de régulation et de préservation de l'intérêt collectif de l'administration locale s'appliquent donc naturellement.

A l'heure actuelle, deux principaux biais d'action peuvent être distingués : veille et études, particulièrement dans les grandes métropoles, et accueil d'expérimentations. Les expérimentations sont également motivées par l'objectif de promotion du territoire et significatives de l'importance des enjeux de communication autour des nouvelles technologies. Les acteurs publics locaux se montrent donc de mieux en mieux informés. Toutefois, ils restent sceptiques sur la capacité des véhicules automatiques à contribuer à l'atteinte de leurs objectifs. Par ailleurs, ils sont préoccupés par les impacts de ces véhicules sur les comptes publics locaux, considérant de nouvelles dépenses dédiées aux infrastructures routières et une diminution des recettes issues du stationnement et des contraventions.

De premiers travaux s'attachent à explorer les différentes aires (gestion de la circulation, partage des véhicules, transports collectifs, mixité des modes de transport et exclusion sociale) et moyens (réglementation, instruments économiques, planification, organisation des services de transport et gestion des infrastructures) d'intervention possibles. Ces derniers sont pour la plupart déjà connus. Si ces inventaires sont d'intérêt, les études en question présentent ces moyens d'action de manière générale, sans les relier aux différents effets anticipés du VA, sans que les mécanismes à l'œuvre ne soient explicités.

Conclusion : La régulation publique locale, outil fondamental de l'intégration bénéfique du véhicule automatique

Les avancées technologiques récentes ont fait du véhicule automatique un sujet pour les sciences sociales (Gandia et al., 2019). Pour déterminer ses possibles effets sur la société, deux méthodologies ont été principalement convoquées : modélisation du système de transport et enquête de préférences déclarées. Différentes potentialités d'amélioration du système de transport ont été mises en avant, selon des effets « directs », entendus comme résultants d'une propriété du véhicule automatique :

- amélioration de la sécurité routière
- augmentation de la capacité des infrastructures routières
- diminution de la consommation énergétique des véhicules
- amélioration du confort de déplacement
- diminution de l'exclusion sociale allée à l'exclusion de la conduite

A contrario, des risques, susceptibles de menacer les bénéfices attendus, ont également été désignés. Ils tiennent plus d'effets « indirects », découlant des premiers à travers une modification des comportements :

- augmentation du nombre de véhicule-kilomètres parcourus
- diminution de la fréquentation des transports en commun

Dans le cas spécifique de l'introduction de taxis automatiques, des effets indirects positifs sont toutefois mis en avant :

- réduction de la taille du parc de véhicules
- libération de l'espace public

La perspective de taxis automatiques, prégnante dans la littérature scientifique dédiée aux effets du véhicule automatique, fait toutefois l'objet de critiques, notamment à l'aune des résultats des enquêtes de préférences déclarées réalisées en la matière. En effet, aucune appétence particulière pour le partage des véhicules automatiques par rapport à leur possession n'est constatée.

Finalement, la variabilité des résultats disponibles s'agissant de l'ampleur, voire de la nature des effets des véhicules automatiques, rappelle l'incertitude des implications de cette technologie et l'influence centrale des hypothèses utilisées, qui sont avant tout un moyen

d'explorer le champ des possibles dans la perspective de son déploiement (Le Gallic et Aguiléra, 2019).

La diversité des résultats met également en lumière le lien entre les effets des VA et les caractéristiques de leur exploitation, notamment déterminées par la régulation à l'œuvre. D'autant que, comme nous avons pu le détailler, leur déploiement va de pair avec un renforcement du rôle des entreprises privées, notamment de grande taille. Ces deux dynamiques, et plus généralement l'enthousiasme autour de cet objet, ont poussés certaines collectivités, particulièrement de grandes métropoles, à mener des études sur le sujet, tenant principalement de la veille, et à accueillir des expérimentations. Toutefois, les enquêtes réalisées auprès des acteurs locaux témoignent d'un certain scepticisme quant à l'advenue de cette innovation et à son intérêt vis-à-vis de leurs objectifs actuels en matière de transport.

De premières études ont été réalisées au sujet des moyens d'intervention envisageables pour les collectivités, mais le manque d'outils d'analyse structurés, susceptibles de synthétiser de manière significative les effets du véhicule automatique pour aider à la définition de l'action publique locale est manifeste. La démarche d'évaluation, à laquelle il n'est pas directement fait référence dans les études dédiées à l'action publique locale en matière de VA, est couramment utilisée à cette fin dans le domaine des transports. Son application au véhicule automatique est donc d'intérêt.

Conclusion : L'évaluation pour appuyer la définition d'une stratégie publique locale dédiée aux véhicules automatiques

La présente partie avait pour objectif de contextualiser notre travail. Nous avons ainsi d'abord défini techniquement le véhicule automatique. En la matière, deux dimensions apparaissent centrales : le niveau d'automatisation, généralement appréhendé selon le niveau d'implication du conducteur, et la nécessité d'un réseau de télécommunications permettant au véhicule d'échanger des données avec les éléments constituant son environnement de conduite, en particulier les autres véhicules et l'infrastructure routière. Nous considérons le véhicule automatique comme un véhicule capable de se déplacer sans aucune intervention humaine. Ce qui correspond aux niveaux d'automatisation SAE 4 ou 5. Par ailleurs, des classifications des systèmes de transport automatiques plus générales, moins centrées sur le concept de véhicule particulier, nous ont permis de compléter les critères de description des applications du véhicule automatique, à savoir : la capacité du véhicule, le besoin d'adaptation de l'infrastructure physique et le mode d'exploitation.

Nous avons ensuite souhaité replacer l'effervescence actuelle dans une perspective historique. L'existence de quatre phases d'investissement (années 1960, 1980, 2000 et 2010) a ainsi pu être dégagée. L'engouement actuel, encouragé par de nouvelles solutions informatiques et l'évolution des réseaux de télécommunications, dessine une nouvelle filière industrielle, comme en témoignent la concurrence internationale et multisectorielle à l'œuvre et l'engagement de la puissance publique aux échelles nationales et internationales. Son aboutissement technologique, et notamment l'atteinte de l'automatisation complète, reste toutefois incertain.

De premières hypothèses sur les effets du véhicule automatique ont été formulées. Les études disponibles montrent des effets directs potentiellement positifs (amélioration de la sécurité routière, augmentation de la capacité des infrastructures, diminution de la consommation énergétique, amélioration du confort de déplacement, diminution de l'exclusion sociale). Les effets indirects sont plus incertains et pourraient largement inverser ce premier bilan, particulièrement dans le cas du véhicule automatique personnel. L'augmentation du nombre de véhicule-kilomètres parcourus et la diminution de la fréquentation des transports en commun et de l'utilisation des modes actifs sont particulièrement redoutés. Les taxis automatiques montrent des avantages en matière de réduction de la taille du parc de véhicules et donc d'occupation de l'espace public, mais ne sont pas particulièrement sollicités, comme le montrent les enquêtes de préférences déclarées dédiées.

La dépendance des résultats au mode d'exploitation des VA met en exergue la nécessité de la régulation publique, particulièrement au niveau local. De premiers inventaires des moyens d'intervention possibles ont été dressés, mais ceux-ci ne sont toutefois pas reliés à une analyse structurée des effets. Une méthodologie globale, susceptible de synthétiser de manière significative les effets du véhicule automatique et de produire des informations « actionnables pour la prise de décision » apparaît donc nécessaire. La démarche d'évaluation, à laquelle il n'est pas directement fait référence dans le corpus convoqué, est centrale et couramment utilisée à cette fin, dans le domaine des transports. Son application aux véhicules automatiques est d'intérêt pour appuyer l'élaboration de l'action publique locale. Nous consacrons la suite de notre travail à un bilan de l'application de la démarche d'évaluation aux véhicules automatiques et à une réflexion sur les spécificités et les nécessités méthodologiques que cet objet implique.

Partie 2 : L'évaluation du véhicule automatique, bilan et axes de recherche méthodologiques

L'intérêt grandissant des pouvoirs publics locaux pour le véhicule automatique et la dépendance des effets attendus au mode d'introduction de cette technologie mettent au premier plan la question de la régulation locale. Le chapitre précédent a montré que de premières réflexions en la matière sont disponibles. Toutefois, les potentialités de l'évaluation, outil d'aide à la décision de premier plan, ne sont pas considérées pour la constitution d'une stratégie publique locale. Cette démarche d'évaluation paraît pourtant pertinente pour renseigner la décision publique, en étudiant les effets attendus de manière structurée et au sens des préférences collectives. Cette partie est donc tout d'abord dédiée aux études évaluatives du véhicule automatique déjà réalisées, ainsi qu'aux manques et dimensions encore à développer pour que cette pratique puisse s'inscrire comme un outil de décision locale dédié.

Nous avons donc débuté cette partie (Chapitre 3) par un cadrage rapide de la démarche d'évaluation (3.1) et une revue détaillée des travaux d'évaluation du véhicule automatique disponibles (3.2). La conclusion de ce chapitre propose une synthèse originale des manques méthodologiques de ces travaux, organisée selon les trois grandes étapes structurant classiquement l'évaluation : définition de l'objet d'étude, estimation des effets et constitution du cadre de mesure. Deux axes de développement ressortent particulièrement de ce bilan : l'enrichissement de la méthode de description de l'objet d'étude et la structuration de la constitution du cadre de mesure.

Nous avons alors poursuivi notre investigation en deux parties, respectivement consacrées à ces deux axes. La première (Chapitre 4) consiste en une synthèse à la fois méthodologique et pratique portant sur l'évaluation prospective, soit la combinaison entre méthodes d'évaluation et scénarisation. Nous nous intéressons ainsi à la démarche prospective (4.1), à l'évaluation prospective (4.2) et à la place de la prospective dans les processus d'évaluation des domaines des transports et des innovations technologiques (4.3.). La seconde (Chapitre 5) s'intéresse, sur le même schéma, à l'évaluation dite durable, soit à l'utilisation de la notion de durabilité comme principe directeur pour la structuration du cadre de mesure de l'évaluation. Nous nous intéressons ainsi d'abord à l'évaluation durable de

manière générale (5.1), puis à son application dans les domaines des transports et des innovations technologiques (5.2). Nous consacrons notamment une sous-partie à la place des innovations technologiques dans la durabilité des transports. Dans les deux cas, nous concluons par une discussion des travaux d'évaluation du véhicule automatique à l'aune des matériaux récoltés. Par-là, nous désignons les caractéristiques méthodologiques susceptibles d'améliorer la pratique actuelle de l'évaluation du véhicule automatique. Nous souhaitons, à travers cela, dégager des préconisations méthodologiques. Elles se concrétisent à la partie suivante dans la proposition d'un cadre d'évaluation du véhicule automatique.

Chapitre 3 : Les travaux d'évaluation du véhicule automatique, synthèse et axes de développement

Comme nous avons pu le montrer au chapitre précédent, le véhicule automatique entraîne de nouveaux besoins d'intervention publique locale. Les recherches concernant les moyens d'action publics mettent en avant différentes aires et moyens d'intervention. Au-delà de ces suggestions générales, la définition d'une stratégie locale concernant cette technologie suppose le développement ou l'adaptation d'outils renseignant la décision publique. La démarche d'évaluation est couramment mobilisée pour l'aide à la décision publique. Elle s'applique à divers objets : politiques publiques, dispositifs réglementaires et projets. L'évaluation de l'introduction des véhicules automatiques est ainsi une démarche prometteuse pour renseigner la stratégie publique dédiée à cette technologie au niveau local. Au vu de son absence au sein des recherches relatives à ce thème, nous proposons un bilan des travaux existants et dégageons les développements nécessaires à son application. Ce chapitre comporte trois grandes parties. Nous définissons et décrivons tout d'abord les principales caractéristiques de la démarche d'évaluation (3.1.), avant de réaliser une synthèse détaillée des contributions à l'évaluation des véhicules automatiques (3.2). Un bilan des réflexions méthodologiques menées et des manques à pallier aux trois grandes étapes de l'évaluation conclut ce chapitre.

3.1. Quelques repères concernant l'évaluation

La formalisation du champ de l'évaluation s'ancre dans le recours à une démarche scientifique, notamment aux méthodes de recherche issues des sciences sociales, dans le cadre de l'action publique. Ses objectifs sont la connaissance et l'appréciation des conséquences d'un objet d'étude au sens de la formulation d'un jugement sur son influence sur la société (Nioche, 2016 ; Revillard, 2018). La charte de la Société Française d'Evaluation (2006) met en avant trois principales finalités de l'évaluation : production de connaissances, amélioration de la prise de décision et apprentissage organisationnel.

L'évaluation revêt en réalité des définitions différentes selon son contexte d'utilisation, en particulier selon sa temporalité, soit le moment de sa mise en œuvre par rapport à l'objet d'étude. Trois configurations existent : *ex ante* ou *a priori*, concomitante ou *in itinere* et *ex post* ou *a posteriori* (Faivre d'Arcier, 1998 ; Nioche, 2016). Dans le premier cas, elle prend la forme d'un outil d'aide à la décision, d'éclairage des choix, contribuant à la réduction du risque et de l'incertitude par la valorisation des effets prévisibles et leur étude dans une procédure de choix. Dans le second cas, elle est une aide au suivi et au pilotage, se rapprochant d'autres

formes d'analyse comme le contrôle de gestion ou l'audit. Dans le troisième cas, elle fait office de bilan, de technique de reddition de compte auprès des différents acteurs (Nioche, 1982 ; Faivre d'Arcier, 1998 ; Nioche, 2016). La première forme d'évaluation se distingue particulièrement des autres car elle repose sur des hypothèses et prévisions, alors que les deux suivantes s'appuient sur une démarche empirique, visant à la mesure et l'explication d'effets réels (Nioche, 2016). Une distinction fondamentale au sens des approches qui peuvent être mobilisées dans l'un ou l'autre des cas. De fait, les évaluations *ex ante* sont davantage employées dans des cadres restreints, comme les projets d'investissement, alors que les évaluations *in itinere et ex post* s'appliquent à des objets multidimensionnels (Faivre d'Arcier, 1998).

Les méthodes d'évaluation *ex ante* nous intéressent plus particulièrement étant donné que notre objet d'étude : le véhicule automatique, n'est que partiellement observable. Ces méthodes comprennent systématiquement trois étapes : la définition de l'objet d'étude, la prévision des effets et l'évaluation synthétique des effets (Walliser, 1990). La première étape revient à conceptualiser la situation décisionnelle, ou plus généralement la situation d'analyse, à définir les variantes possibles (Walliser, 1990). La seconde consiste à prévoir les effets des variantes, définies à partir de représentations plus ou moins sophistiquées de la réalité. La modélisation des phénomènes à l'œuvre à partir d'instruments informatiques est souvent mobilisée (Walliser, 1990 ; Bozio, 2018). La troisième, l'évaluation synthétique des effets, prend deux formes principales : ordinale, par la comparaison des effets des actions les unes par rapport aux autres ou cardinale, par la production d'un indicateur quantitatif. A cette étape, trois grands types de méthodes sont le plus souvent utilisées : l'analyse coûts-avantages (ACA), qui repose sur la sommation des coûts et bénéfices monétarisés ; l'analyse coûts-efficacité, qui consiste en un ratio des effets monétarisés sur les coûts et l'analyse multicritères (AMC), où les effets sont représentés selon une gamme de critères quantifiés, quantification qui peut se limiter à l'attribution de notes, agrégées selon différentes techniques (Nioche, 1982 ; Walliser, 1990). L'analyse coûts-avantages et l'analyse coûts-efficacité se distinguent foncièrement de l'analyse multicritères s'agissant des concepts mobilisés. Elles mobilisent des principes issus du « calcul économique », une branche appliquée de l'économie, plus précisément de la théorie microéconomique normative, dédiée à l'aide à la décision. L'analyse multicritères s'éloigne de ce cadre en considérant les préférences collectives de manière désagrégée et en promouvant une adaptation au contexte, notamment à travers la sélection des critères (Walliser, 1990).

Revenons justement sur le cadre traditionnel du calcul économique public, en décrivant brièvement les principaux concepts supportant sa mise en œuvre. Sa forme et sa

logique sont calquées sur le calcul de rentabilité financière d'un investissement privé. Son utilisation dans le secteur public a été principalement motivée par l'idée d'allocation efficace, de rationalisation, des dépenses publiques (Bozio, 2018). L'acteur public y est considéré comme le planificateur central, un méta-agent représentant la collectivité (Walliser, 1990). Ses décisions s'appuient sur une fonction d'utilité collective, qu'il doit maximiser. La comparaison des différentes variantes se fait au sens parétien, qui, dans sa version la plus simple, considère que l'accroissement de l'utilité d'un individu, toutes choses égales par ailleurs, engendre une amélioration du bien-être social (Guillaume, 1972 ; Faivre d'Arcier, 1998). En effet, malgré l'impossibilité de la détermination d'une fonction d'utilité collective établie par Arrow (1951), le calcul économique se base sur la théorie des surplus d'Allais (1981) pour définir un « mode opératoire » de cette fonction, qui considère l'évolution du bien-être collectif comme la somme des évolutions des utilités individuelles (Faivre d'Arcier, 1998).

L'utilisation d'une fonction collective n'est toutefois utile que si l'Etat possède son propre système de valeurs. Dans cette hypothèse, la fonction d'utilité collective ne cherche pas à maximiser des utilités individuelles (Guillaume, 1972). C'est là qu'interviennent les valeurs tutélaires, introduites sous la forme de coefficients appliqués aux biens dits sous tutelle, que l'Etat valorise à un niveau différent de celui du marché (Guillaume, 1972). L'établissement de cette gamme de valeurs tutélaires, représentant les préférences collectives, repose sur la monétarisation des effets non marchands. En effet, le calcul économique public se distingue fondamentalement du calcul économique privé par la valorisation de ces effets. Au sein de ces derniers, nous trouvons notamment les ressources privatives, comme le temps ou les vies humaines ; les effets externes, comme les pollutions, et les biens collectifs, comme les biens naturels (Walliser, 1990). Leur monétarisation convoque différents procédés, à la mise en œuvre parfois difficile. Pour les ressources privatives, l'étude du consentement à payer des agents à partir de leur comportement *a posteriori* ou d'enquêtes de préférences déclarées, aussi appelées évaluation contingente, sont le plus souvent mobilisées (Walliser, 1990 ; Button et al., 2010). S'agissant des effets externes, quatre principales démarches d'estimation existent : des coûts d'évitement, nécessaires pour supprimer la nuisance à sa source ; des coûts d'interposition, nécessaires pour que la nuisance n'atteigne pas ses victimes potentielles ; les coûts de réparation, correspondants aux coûts causés à la santé et à la production et enfin des coûts de dépréciation, se rapportant à la dévalorisation du prix de marché des biens subissant la nuisance (Merlin, 1991). Les biens collectifs peuvent quant à eux être appréciés grâce aux méthodes d'évaluation contingente, des prix hédoniques ou des coûts de déplacements (Button et al., 2010). Ces valeurs tutélaires figurent dans les manuels ou directives d'évaluation, majoritairement au niveau national, simplifiant les calculs et la comparaison des

projets (Faivre d'Arcier, 1998). La monétarisation des biens non marchands permet ainsi de comparer les coûts d'investissement et de fonctionnement d'un projet à ses bénéfices monétaires et monétarisés. De plus, les coûts et les bénéfices des dispositifs étudiés se répartissant inégalement dans le temps, les analyses coûts-avantages et coût-efficacité utilisent l'actualisation. Le bilan consiste ainsi en une somme pondérée des bilans successifs, affectés de poids décroissants (Walliser, 1990). Le taux d'actualisation appliqué traduit le niveau de préférence pour le présent.

Les principales limites de ce type d'analyse sont à la fois théoriques et prosaïques. D'une part, il est difficile d'approcher une fonction d'utilité collective et questionnable de mobiliser une logique parétienne (Guillaume, 1972). D'autre part, les effets non marchands sont ardues à monétariser, du fait de leur dépendance au contexte et du manque de consensus méthodologique (Button et al., 2010 ; Faivre d'Arcier, 1998). Quoi qu'il en soit, il s'agit de l'approche principale, structurant les évaluations socioéconomiques de tous les projets d'investissement bénéficiant d'un financement de l'Etat ou de ses établissements publics en France (Auverlot et al., 2016).

A côté de cette conception dominante de l'évaluation, substantielle et gestionnaire, existent également des démarches dites procédurales, voire démocratiques. Le terme procédural fait référence à la conception du choix rationnel en tant qu'aboutissement d'un processus de confrontations des logiques d'acteurs, de la prise en compte de rationalités multiples (Plottu, 2005 ; Merlin, 1991). La dimension démocratique correspond quant à elle à la mise en œuvre de la participation citoyenne, du débat public, dans le cadre de la prise de décision publique. L'opérationnalisation de ces notions au sein de l'évaluation s'appuie principalement sur les principes de l'évaluation participative et sur l'analyse multicritères (Fayat, 1993). L'AMC est en effet particulièrement plébiscitée pour sa flexibilité, puisqu'elle permet autant la prise en compte de critères qualitatifs que quantitatifs, et, à travers leur sélection et leur pondération, de tenir compte de la complexité des problèmes et de la diversité des points de vue des acteurs (Plottu, 2005).

Après s'être intéressée à la démarche d'évaluation et à ses trois principales expressions méthodologiques *ex ante*, voyons à présent comment l'évaluation du véhicule automatique est traitée dans la littérature scientifique. Au vu de la primeur du sujet et du corpus disponible, nous ne nous limitons pas aux analyses portant sur l'ensemble du processus d'évaluation, relevant explicitement de l'évaluation ou portant sur le niveau géographique local. Cependant, nous nous restreignons aux études considérant le véhicule automatique dans une des dimensions de sa relation à la société : comme élément du

système de transport. Ainsi, nous ne prenons pas en compte les travaux l'évaluant uniquement comme objet de consommation (Gawron et al., 2018), comme objet de production industrielle (Clements et Kockelman, 2017) ou comme système de substitution au travail humain (Alonso Raposo et al., 2018).

3.2. Synthèse des travaux d'évaluation du véhicule automatique

L'évaluation est au cœur des démarches de prise de décision publique. Cela nous invite à considérer les analyses déjà effectuées au sujet du véhicule automatique. Pour sélectionner ces dernières, nous avons retenu une acception large de l'évaluation, sans déterminer de critères de sélection disciplinaire, méthodologique ou de niveau de formalisation. En effet, le champ de l'évaluation du véhicule automatique, en cours de développement, reste encore peu organisé, balisé. Le nombre de publications se réclamant explicitement de cette démarche est faible. Cette largesse est également motivée par l'inexistence d'une telle synthèse bibliographique, et ainsi, la volonté de proposer un panorama étendu des contributions tenant de l'évaluation du véhicule automatique. Nous proposons la structuration suivante des travaux, reposant globalement sur un niveau croissant de complétude de la démarche d'évaluation :

- Les travaux de synthèses bibliographiques portant sur les effets du VA et articulés selon une catégorisation ou une représentation systématique, tenant d'une « proto-évaluation » : Thomopoulos et Givoni (2015), Litman (2016), Milakis et al. (2017), Alessandrini et al. (2015), Acheampong et al. (2018), Faisal et al. (2019) et Taeibat et al. (2018)
- Les contributions uniquement méthodologiques, portant sur le processus d'évaluation dans sa globalité ou sur une des étapes de l'évaluation : le cadre d'évaluation *AdaptatIVE* (Fahrenkrog et al., 2016), *Citymobil2* (Alessandrini et al., 2015), le « *Trilateral Impact Analysis Framework* » (Innamaa et al., 2018), l'identification des impacts selon Gruel et Stanford (2016) et selon les modèles de simulation multi-agents (Vosooghi et al., 2017 ; Soteropoulos et al., 2019) et la définition du cadre de mesure d'Appleyard et Riggs (2017)
- Les évaluations appliquées, qui comprennent de fait une contribution méthodologique : les analyses multicritères qualitatives (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018) et les l'analyse coûts-avantages (Fagnant et Kockelman, 2015 ; Andersson et Ivehammar, 2019).

A travers ce bilan, nous dégagons les manières d'aborder le sujet, les spécificités liées à son étude et les résultats obtenus. Nous concluons en synthétisant les points d'amélioration et de réflexion principaux, qui nous serviront de points d'accroche pour mettre en perspective ces contributions dans la suite de notre travail.

3.2.1. Des synthèses bibliographiques en forme de proto-évaluation

Certaines des synthèses bibliographiques portant sur les effets de l'automatisation de conduite, auxquelles nous avons notamment fait référence au chapitre précédent, proposent des catégorisations ou des représentations schématiques de ces derniers, plus ou moins formalisées.

La dichotomie entre coûts et bénéfices est présente dans plusieurs cas. Dans Litman (2016), ainsi que dans les versions suivantes de sa synthèse annuelle des débats et contributions sur le thème du véhicule automatique, elle prend la forme d'une distinction entre coûts et bénéfices internes (pour l'utilisateur) et externes (sur les autres individus que l'utilisateur) :

Tableau 3: Catégorisation des effets du véhicule automatique (Litman, 2016, traduction de l'auteurice)

	Coûts	Bénéfices
Internes	<ul style="list-style-type: none"> -Coût d'achat -Coûts liés à la cybersécurité et à la protection des données personnelles 	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction du stress -Augmentation de la productivité du conducteur -Accès aux non-possesseurs du permis de conduire -Réduction des coûts de transport
Externes	<ul style="list-style-type: none"> -Protection contre les activités criminelles -Augmentation du coût des infrastructures -Baisse des investissements dans d'autres modes de transport ou des systèmes de gestion des transports -Diminution de l'emploi -Augmentation des kilomètres parcourus 	<ul style="list-style-type: none"> -Amélioration de la sécurité -Amélioration de la capacité routière -Consommation d'énergie -Pollution -Facilitation du partage des véhicules

Cette distinction est également présente dans des synthèses bibliographiques réalisées selon des angles plus spécifiques. Thomopoulos et Givoni (2015), en s’attachant à questionner la contribution des véhicules automatiques à une mobilité bas carbone, présentent leur revue selon une division menaces-avantages, que nous considérons équivalente à coûts-bénéfices, et en fonction de trois groupes : utilisateurs des véhicules, sphère publique et économie/industrie.

Tableau 4: Catégorisation des effets du véhicule automatique (Thomopoulos et Givoni, 2015, traduction de l’auteurice)

	Menaces	Avantages
Utilisateurs	<ul style="list-style-type: none"> -Coût de l’infrastructure V2I -Augmentation de la congestion -Exclusion sociale de certains groupes (coûts financiers, fracture numérique) -Détermination des responsabilités en cas d’accidents -Augmentation des temps de parcours -Diminution de l’utilisation des modes actifs, problèmes de santé associés -Protection des données personnelles -Cyberattaques 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la désutilité du temps de transport et augmentation du confort -Utilisation du temps de transport -Accès aux personnes âgées -Diminution générale de l’exclusion sociale en lien avec la mobilité
Gouvernement/Sphère publique	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation du nombre d’accidents du fait de la mixité de circulation des véhicules - Emergence de technologies différentes demandant des réglementations et législations spécifiques -Réduction du nombre d’emplois 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la sécurité routière -Réhabilitation de l’espace de stationnement -Selon le type de motorisation, réduction de la pollution de l’air et de la consommation d’énergie -Amélioration de l’accessibilité pour les personnes âgées et handicapées
Economie/Industrie	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation de la congestion -Emergence de technologies différentes amenant à une utilisation inefficace des ressources, standards internationaux différents -Nécessité d’un réseau de communications dédié au véhicule à forte capacité de transmission et largement déployé 	<ul style="list-style-type: none"> -Ouverture d’un nouveau marché pour les constructeurs automobiles -Emergence de nouveaux <i>business models</i> - Amélioration de la chaîne logistique

Acheampong et al. (2018), dans une synthèse des effets sociaux du VA, notamment du point de vue de l’équité, et ainsi de leur répartition entre les différents groupes sociaux, utilisent également la séparation coûts-bénéfices, ainsi qu’une caractérisation en huit thèmes, tel que suit :

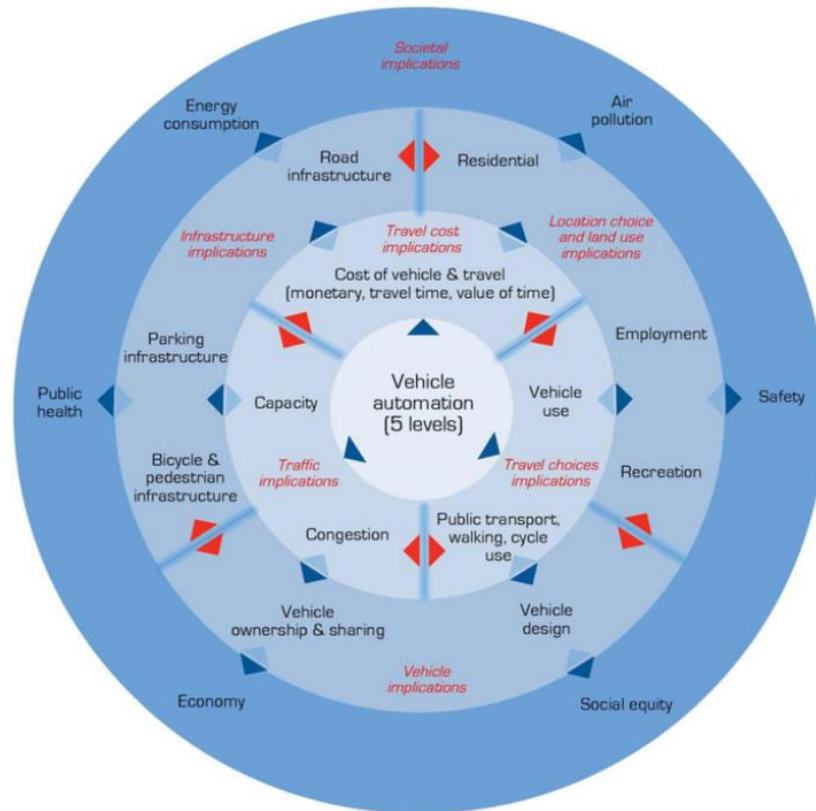
Tableau 5 : Catégorisation des effets du véhicule automatique (Acheampong et al., 2018, traduction de l'auteurice)

	Coûts	Bénéfices
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation du nombre d'accidents en phase de test -Prise de risque par les conducteurs de voitures manuelles -Erreur ou arrêt du système 	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction des accidents -Élimination du stress, de la distraction et de la prise de risque des conducteurs
Accessibilité et exclusion sociale relative à l'accès à la mobilité	<ul style="list-style-type: none"> -Disparités socio-économiques d'accès -Conception inadaptée des services -Baisse des investissements dans les transports publics 	<ul style="list-style-type: none"> -Amélioration de l'accessibilité pour de nouveaux groupes (personnes âgées, handicapées) -Réduction de la dépendance des personnes âgées
Protections des données personnelles et sécurité informatique	<ul style="list-style-type: none"> - Menace vis-à-vis de la protection des données personnelles et des libertés individuelles -Détournement à des fins terroristes 	<ul style="list-style-type: none"> -Possibilité de services de transport flexibles et fiables
Emplois	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction des emplois de conduite et de réparation - Emplois peu qualifiés du secteur privé les plus touchés 	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation de la demande de main d'œuvre dans les domaines des sciences et de l'ingénierie -Opportunités économiques pour les secteurs de l'automobile et de l'informatique
Genre	Non adressé	Non adressé
Comportements de mobilité et impacts socio-environnementaux	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation des kilomètres parcourus, de la consommation d'énergie -Baisse de la fréquentation des transports en commun -Augmentation de la congestion -Comportements sédentaires, augmentation des problèmes de santé liés et de l'obésité 	<ul style="list-style-type: none"> - Support à la transition vers un système de voitures partagées
Utilisation du sol et structure spatiale	<ul style="list-style-type: none"> - Etalement urbain 	<ul style="list-style-type: none"> -Libération de l'espace de stationnement
Ethique	<ul style="list-style-type: none"> -Difficulté de la détermination des responsabilités en cas d'accident -Dilemmes éthiques de choix dans des situations critiques -Difficulté de développement d'algorithmes pouvant assurer des choix moraux 	

La différenciation entre « coûts » et « bénéfiques », parfois enrichie d'une catégorisation par groupes d'acteurs ou thématique, constitue un cadre courant pour proposer une synthèse des effets du véhicule automatique, qui semble se référer implicitement à une évaluation coûts-avantages. De telles présentations peuvent permettre une proto-évaluation et servir de base à une discussion sur la variété des thèmes concernés, ainsi que sur la répartition des coûts et bénéfiques entre les différents groupes d'acteurs.

Dans les synthèses des effets du véhicule automatique, ces représentations duales côtoient des présentations schématiques établies à partir des liens de causalité supposés (Milakis et al., 2017 ; Alessandrini et al., 2015 ; Taiebat et al., 2018 ; Faisal et al., 2019). Milakis et al. (2017) organisent leur revue des implications sociétales du VA selon une représentation de type « *ripple effect* », ou effet ricochet, inspirée de la diffusion des ondes dans le temps et l'espace et utilisée dans plusieurs disciplines pour représenter la diffusion séquentielle des effets d'un évènement (Milakis et al., 2015). Milakis et al. (2017) précisent que son utilisation dans le cas du VA ne se fait pas au sens strict, du fait de l'existence, à chaque niveau, de phénomènes de rétroaction, signifiés par des flèches bleues à double sens, et d'interaction, représentés par des flèches rouges à double sens (fig. 8).

Figure 8 : Représentation des effets de l'automatisation de conduite selon le principe de l'« effet ricochet » (Milakis et al., 2017)



Trois types d'impacts sont décrits : de premier, second et troisième ordre, selon leur ordre d'apparition dans le système de causalité. Les effets référencés concernent ainsi, selon cette division :

- le coût de transport (coûts monétaires, valeur du temps, confort et temps de transport), la circulation (capacité routière et congestion) et le choix modal (utilisation des véhicules et des autres modes)
- la possession automobile, le choix de localisation et les infrastructures de transports
- la consommation énergétique, les émissions polluantes, la sécurité, l'équité sociale, les effets économiques et la santé publique.

Milakis et al. (2017) constatent que les effets de premier ordre sont les plus étudiés dans la littérature, les mieux « connus ».

Alessandrini et al. (2015) proposent, dans le cadre du projet européen VRA (2013-2016), une réflexion sur les difficultés d'évaluation de l'automatisation de conduite, sur laquelle nous reviendrons à la fin de cette sous-partie, mais surtout une liste des effets de cette

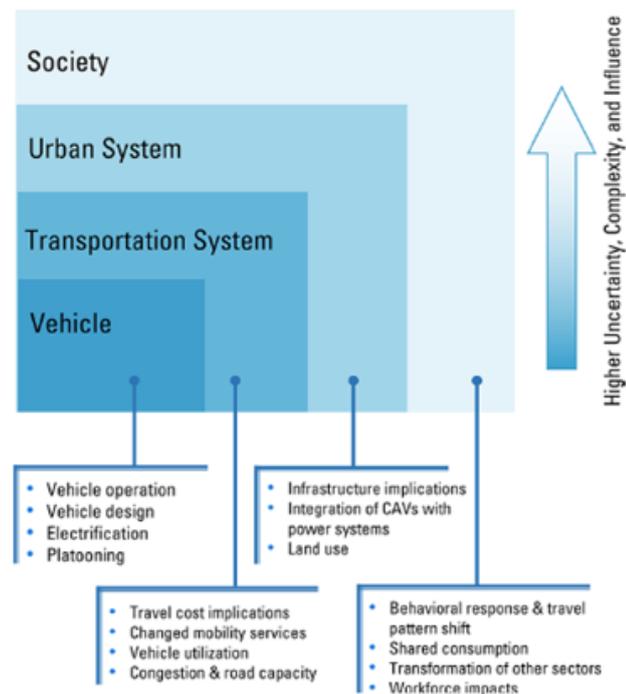
technologie selon une différenciation entre effets directs et indirects, désignant les premiers comme individuels et les seconds comme collectifs.

Tableau 6 : Effets directs et indirects de l'automatisation de conduite (Alessandrini et al., 2015, traduction de l'auteurice)

Effets directs	Effets indirects
Sécurité routière	Accessibilité
Capacité routière	Productivité
Contraventions	Habitudes de mobilité
Cybersécurité	Changement de mode de vie
Confort	Environnement
Coûts	Milieu bâti
Sûreté (dans le cas de mode partagé)	Infrastructures
	Demande de transport
	Utilisation du sol

Taeibat et al. (2018), dans une revue centrée sur les effets environnementaux du VA, proposent une représentation en quatre niveaux emboîtés : véhicule, système de transport, système urbain et société, regroupant chacun différentes catégories d'effets, comme représentées sur le schéma (fig.9).

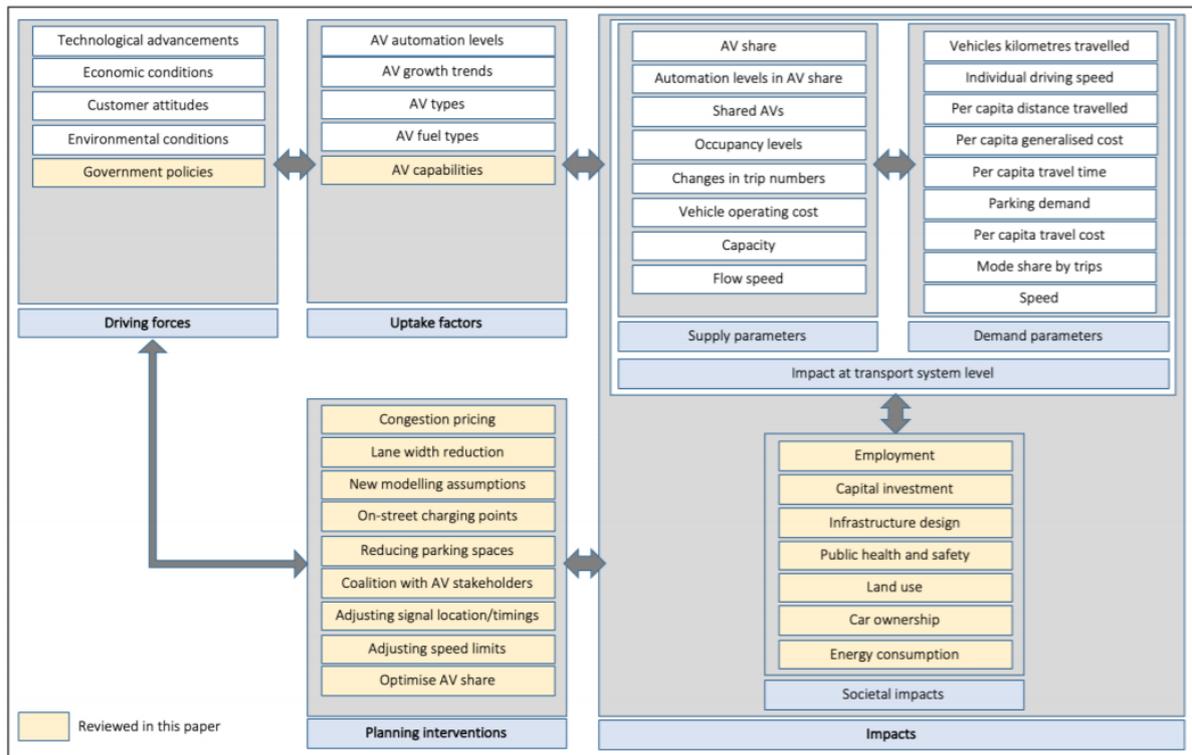
Figure 9: Effets environnementaux des véhicules automatiques selon quatre systèmes emboîtés (Taeibat et al., 2018)



Taeibat et al. (2018) concluent à un bilan environnemental positif des VA aux trois premiers niveaux, qui pourrait cependant être affecté, voire inversé, par des changements comportementaux au quatrième. L'incertitude des effets environnementaux s'amplifie donc avec l'élargissement du champ d'étude, alors que le niveau « véhicule » apparaît comme le mieux connu et le plus étudié.

Faisal et al. (2019) proposent un panorama des effets du véhicule autonome visant à formuler des recommandations pour la planification à l'échelle urbaine. Ils distinguent une chaîne causale composée de trois niveaux : véhicule, à travers les capacités du dispositif technique ; système de transport, par l'affectation des paramètres d'offre et de demande et société. Les impacts sur le système de transport et les impacts sociétaux sont ainsi différenciés : effets provenant des qualités techniques du VA (écoconduite, évitement des accidents, etc.) et effets plus larges, conséquences des premiers.

Figure 10 : Effets sociétaux des véhicules automatiques (Faisal et al., 2019)



Les effets des véhicules automatiques font ainsi également l'objet de synthèses sous forme de classification causale, établissant les principales chaînes de cause à effet potentiellement à l'œuvre et décrivant les facteurs d'influence, et parfois le niveau de connaissance actuelle les concernant. Ainsi, les changements de comportement de mobilité, particulièrement vis-à-vis de l'utilisation des modes motorisés individuels, en termes de part modale et de quantité de déplacements, sont désignés comme un facteur prépondérant pour la détermination du bilan des effets étudiés.

La forme de certaines revues de littérature, qu'elle soit inspirée du cadre « coûts-avantages » ou d'une démarche d'exploration causale, forme une proto-évaluation des impacts potentiels des véhicules automatiques. Elle permet, à défaut de dresser un bilan complet et cohérent, de définir à gros traits les différentes catégories d'effets et groupes d'acteurs concernés par cette technologie et de dégager les points de tension pouvant affecter le sens, positif ou négatif, de la contribution des véhicules automatiques à différents objectifs, considérant notamment les effets de rétroaction (Taeibat et al., 2018 ; Milakis et al., 2017 ; Faisal et al., 2019). En effet, les effets directs, avant tout individuels, en transitant par ce niveau, essentiellement en entraînant un changement de comportement, entraînent l'expression des effets indirects au niveau collectif. Ce lien apparaît ainsi central dans l'étude

des effets de l'automatisation de conduite, et constitue la principale difficulté de la détermination du bilan net de ses effets (Alessandrini et al., 2015).

Dans la rubrique suivante, nous considérons les travaux s'inscrivant explicitement dans une démarche d'évaluation des véhicules automatiques ou dans une des étapes de cette démarche.

3.2.2. Des contributions méthodologiques issues d'initiatives isolées

Une méthodologie d'évaluation se caractérise par une série d'étapes séquentielles, structurée selon le triptyque explicité à la rubrique précédente : définition de l'objet d'étude, le plus couramment selon plusieurs variantes, estimation des effets et évaluation synthétique. Nous considérons dans cette sous-partie les travaux proposant une contribution méthodologique partielle ou globale, pourvoyeurs d'une réflexion sur une ou plusieurs étapes de cette démarche. Nous débutons avec les contributions globales, avant de présenter celles dédiées seulement à une étape.

Contributions méthodologiques globales, de l'extension des méthodes dédiées aux aides à la conduite à l'exploration d'un cadre spécifique

Trois études proposent un cadre méthodologique global pour l'évaluation des véhicules automatiques.

La première, réalisée dans le cadre du projet européen *AdaptatIVE* (2014-2017), en continuité des initiatives *PReVaL* et *interactIVE*, s'attache à l'adaptation et l'extension des méthodes d'évaluation dédiées aux aides à la conduite automobile à l'automatisation complète. La démarche décrite est composée de quatre étapes : évaluation technique, évaluation d'usage, évaluation de circulation et évaluation d'impacts en matière de sécurité et d'environnement (Zlocki et al., 2014 ; Rodarius et al., 2015 ; Fahrenkrog, 2016).

L'évaluation technique porte sur la performance technique des fonctions ou des composantes du système, conformément aux exigences initiales définies et à la régulation. L'évaluation d'usage apprécie le système du point de vue de la qualité des interactions avec l'utilisateur, comme par exemple l'acceptabilité, l'opérabilité ou la qualité de l'interface. L'évaluation de circulation étudie la performance du système au sein de la circulation routière

considérant ses interactions avec les autres véhicules et l'infrastructure. La dernière étape, l'évaluation d'impacts, porte sur les effets du système sur la circulation routière. Elle comprend deux parties. La première a pour objectif de quantifier les changements du niveau de sécurité routière et la seconde vise à décrire les changements en matière de consommation de carburant, de fluidité de trafic et de temps de transport. Finalement, les auteurs mettent en avant les principales différences entre systèmes d'automatisation partiels et complets pour l'évaluation : affaiblissement de l'analyse de l'implication du conducteur et nécessité de description de multiples cas d'étude.

Le second cadre d'évaluation disponible : « *Citymobil2 Evaluation Framework* », a été conçu dans le cadre du projet européen *Citymobil2* (2012-2016), initié par la Direction « Mobilité et transports » de la Commission Européenne, il consiste en la tenue d'une série d'expérimentations dans plusieurs villes européennes (La Rochelle, Trikala, Lausanne, etc.). En plus de distinguer l'évaluation comparative, réalisée par rapport à d'autres systèmes de transport, et l'évaluation absolue, propre au système, les différents travaux du projet définissent six éléments d'évaluation, ainsi décrits (Alessandrini et al., 2015 ; McDonald et al., 2018) :

- 1- Une description du système étudié, du scénario de déploiement du véhicule automatique. Elle doit comprendre, d'après Alessandrini et al. (2015), différentes dimensions : géographique (lieu de déploiement), technologique (technologies utilisées), technique (infrastructures, vitesse), servicielle (usages, exploitation) et démographique (utilisateurs).
- 2- Une évaluation *ex ante*, qui consiste à définir les impacts que le système pourrait avoir sur la mobilité selon sept catégories : acceptation, qualité de transport, mobilité, impacts sociaux, environnement, impact économiques et impacts financiers, ainsi qu'un ensemble minimal d'indicateurs correspondants. Nous les retranscrivons dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Catégories d'effets et indicateurs minimaux à considérer (McDonald et al., 2018, traduction de l'auteurice)

Catégorie	Effet(s)	Indicateur(s)
Acceptation	Acceptation de l'utilisateur	Intégration avec d'autres systèmes
	Propension à payer	Propension à payer de l'utilisateur
Qualité de service	Information	Confort perçu
	Billettique	
	Propreté	
	Confort	
	Protection des données	
	Perception de la sûreté et de la sécurité	
Mobilité	Changement modal	Parts modales
	Utilisation du système	Nombre total de passager-kilomètres
		Nombre total de déplacements
	Performance du système	Taux d'occupation des
		Temps d'attente moyen
		Capacité effective du système
Impacts sociaux	Accessibilité spatiale	Evolution de la gamme des activités clés accessibles selon un seuil temporel
	Accessibilité du service	
	Sécurité	
Environnement	Energie	Efficiencé énergétique
		Consommation journalière
	Emissions toxiques	
	Changement climatique	
	Bruit	

	Consommation d'espace	Evolution de la disponibilité de l'espace routier à d'autres utilisateurs
Impacts économiques	Emplois temporaires	Nombre d'emplois temporaires
	Emplois à long terme	
	Efficience	Valeur actuelle nette financière
		Valeurs actuelle nette socio-économique
		Taux de rendement interne
	Ratio coûts/bénéfices	
Impacts financiers	Coûts de démarrage	Construction des pistes et génie civil
		Coûts de construction / d'acquisition des véhicules
	Coûts d'opération	Systèmes et appareils de
		Personnel
		Maintenance des véhicules
		Maintenances des infrastructures
		Maintenance du système de contrôle

- 3- L'évaluation des attitudes des utilisateurs par rapport à l'automatisation à partir d'enquêtes de préférences déclarées administrées avant et après l'utilisation des véhicules dans le cadre des expérimentations.
- 4- L'évaluation de la gestion de la performance des véhicules et du système à partir des données d'exploitation du service, les performances d'opération et les coûts de maintenance en particulier.
- 5- Une étude des attitudes et comportements des utilisateurs et parties prenantes à partir des résultats de trois questionnaires destinés aux utilisateurs, à un public large et aux parties prenantes (autorités locales de transport, autorités de planification urbaine,

opérateurs de transports publics, police, groupes de résidents). Dans le premier cas, l'enquête vise à décrire le niveau de satisfaction, la perception de la sûreté et de la sécurité, la propension à payer et les suggestions d'amélioration du service. Dans le second cas, la consultation permet de décrire les préoccupations des autres utilisateurs de l'infrastructure concernant les véhicules automatiques et les services de transport auxquels ils les associent. Dans le dernier cas, les parties prenantes sont interrogées sur leur connaissance et acceptation du VA et sur le contexte dans lequel ils inciteraient à son introduction.

- 6- Enfin, un examen des implications économiques et financières des services de transports automatisés mis en place grâce à une analyse coûts-avantages. Il comprend sept étapes : définition de scénarios opérationnels de déploiement des services, définition de l'horizon temporel, définition du taux d'amortissement, calcul des coûts et bénéfices de l'opérateur sur la durée de vie du projet, estimation des coûts et bénéfices sociaux, calcul de la valeur actualisée nette et analyse de sensibilité. Les scénarios opérationnels comprennent la description du fonctionnement du service, sa fréquence, son intégration avec les autres systèmes de transport, le personnel mobilisé, le cadre juridique ainsi que les politiques de transport à l'œuvre. L'estimation des coûts et bénéfices est considérée comme la plus délicate. En effet, s'agissant des coûts, le contexte expérimental ne permet pas leur projection à long terme. De plus, en ce qui concerne les bénéfices, l'expérimentation ne permet pas d'étudier les changements modaux. La démarche décrite est peu appliquée aux sites d'expérimentation, en faisant une contribution avant tout méthodologique.

A travers cette description, il est possible de noter la proximité entre certaines étapes, la troisième et la cinquième notamment, qui montre les limites de la démarche proposée. De plus, nous constatons l'absence d'une logique claire dans le déroulement des étapes, qui ne forment ainsi pas une méthodologie d'évaluation à proprement parler.

La troisième étude reprenant l'idée d'une démarche globale d'évaluation du véhicule automatique n'est pas liée à un ensemble d'expérimentations. Les travaux du *Trilateral Working Group in Road Transportation*, regroupés sous l'appellation « *Trilateral Impact Assessment Framework* » (*TIAF*), réunissent des chercheurs européens, étasuniens et japonais. L'objectif affiché est de prescrire un cadre d'évaluation harmonisé à l'échelle internationale, permettant la comparaison et l'agrégation des résultats (Smith et al., 2018 ; Inaama et al., 2018 ; Innamaa et Kuisma, 2018 ; Barnard et al., 2019). Ce projet de recherche est financé par la Direction « Réseaux de communication, contenu et technologies » de la CE, le Ministère des transports des Etats-Unis et le Ministère japonais chargé de l'aménagement,

des infrastructures, des transports et du tourisme depuis janvier 2017. Ces travaux reprennent les productions de groupes de travail antérieurs, réalisées au sein de ces institutions, principalement : « *Benefits Estimation Framework for Automated Vehicle Operations* » et « *Field Operational Test Networking and Data Sharing Support* » (Barnard et al., 2018 ; Smith et al., 2015). Le *TIAF* ne propose pas une procédure d'évaluation complète et figée, mais suggère la nécessité de trois modules : un cadre de description du système étudié, une classification des impacts selon une distinction entre effets directs et indirects, ainsi que la description des principaux mécanismes d'impacts (Innamaa et al., 2018).

Dans un premier temps, le *TIAF* met en avant la nécessité d'une définition précise de l'objet d'étude, du système mis en place par les véhicules automatiques, et propose de faire appel à la méthodologie FESTA (*Field operational tESTs of Automated vehicles*) (Barnard et al., 2018). Ainsi, les caractéristiques minimales à renseigner sont : sa fonction dans le système de transport, le type de véhicule, le niveau SAE, le domaine d'opération tel que défini par la nomenclature SAE, le taux de pénétration et l'environnement géographique dans lequel opère le service. Ensuite, les autres modules du *TIAF* s'adaptent à des applications, des ensembles de caractéristiques, différentes.

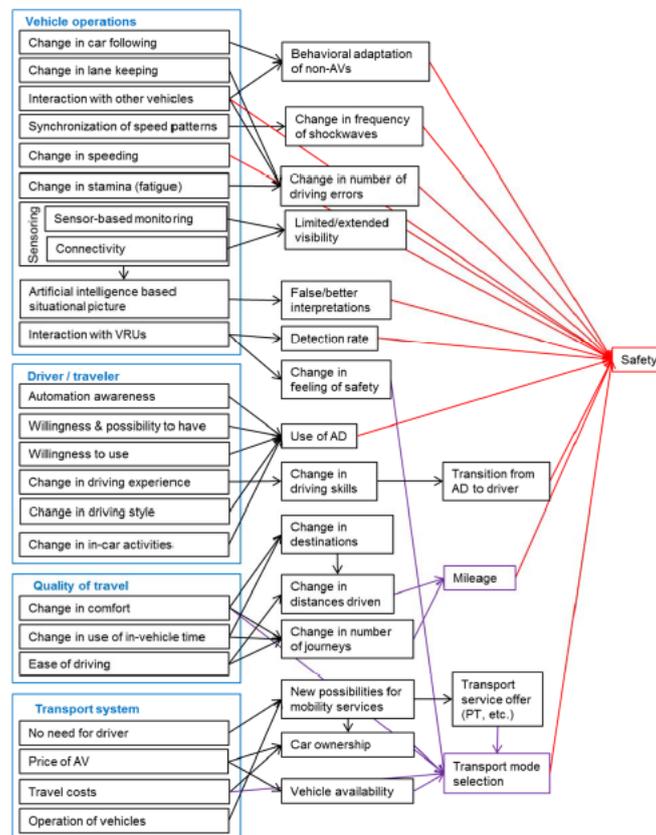
Ensuite, le *TIAF* propose, en tant que cadre d'étude des effets des VA, une classification thématique des effets directs et indirects, associée à des indicateurs de performance. Celui-ci a été conçu à partir d'une enquête réalisée auprès de soixante-dix-sept experts européens, étasuniens et japonais : chercheurs, responsables politiques, membres de l'industrie et consultants, détaillée dans Innamaa et Kuisma (2018). Les experts sont interrogés sur l'importance de différentes catégories d'impacts, selon une liste prédéterminée qu'ils peuvent enrichir. Nous mentionnons uniquement les impacts et indicateurs de performance applicables au niveau d'automatisation SAE 4 et 5 (tabl.8).

Tableau 8 : Synthèse des effets directs et des indicateurs pour les niveaux d'automatisation SAE 4 et 5 selon le cadre d'évaluation TIAF (Innamaa et al., 2018, traduction de l'auteurice)

Catégorie	Effet	Indicateur
Efficience du système	-Réduction du temps perdu du fait des accidents -Réduction de l'espace inter-véhiculaire -Demande de transport	Capacité routière maximale sur une section (vhs/hr)
		Temps de trajet maximum sur un trajet
Mobilité individuelle	-Comportements de déplacement	Parts modales
		Nombre et motifs de déplacements par semaine
		Durée et longueur totales des déplacements par semaine
Infrastructures	-Qualité de l'infrastructure	Infrastructure V2I dédiée à l'automatisation
		Nombre de nids de poule/ 100 km
		Utilisation de la bande d'arrêt d'urgence
Santé publique	-Pollution -Accès aux soins, à l'emploi, aux loisirs et à l'éducation -Utilisation des modes doux -Sécurité	Part modale et kilomètres totaux des modes actifs
		Nombre de blessés et de décès/ 1 000 000 habitants
		Part de personnes ayant un meilleur accès aux services de santé (%)
Utilisation du sol	-Stationnement -Localisation des ménages et des emplois	Nombre et localisation des places de stationnement
		Densité de l'habitat
		Localisation des emplois
Impacts socio-économiques	Productivité	Temps de travail économisé grâce à l'activité pendant le voyage (h/an, monétarisé)
		Temps de travail perdu du fait des accidents (h/an/personne, monétarisé)

Le dernier module du *TIAF* porte sur la description des mécanismes d'impacts des véhicules automatiques. Les effets directs et indirects sont différenciés, et les principaux mécanismes d'impacts, neuf au total, sont désignés. Les effets directs correspondent à des effets admettant un lien de cause à effet immédiat avec les activités ou actions primaires du système étudié, ils sont « visibles à court terme » ou encore « estimables à partir d'expérimentations ». Les effets indirects sont quant à eux définis comme résultants des premiers. Les mécanismes désignés sont basés sur les travaux de Kulmala (2010) portant sur les systèmes de transport intelligents. Ils correspondent à l'influence de neuf éléments de l'automatisation de conduite : modification de l'expérience de conduite et de déplacement, influence directe des nouvelles infrastructures physiques et digitales, modification indirecte du comportement des utilisateurs, modification indirecte du comportement des non utilisateurs, modification de l'interaction avec les autres usagers de la route, modification de la demande de transport, modification du choix modal, modification des itinéraires et modification de la conception des véhicules. Quatre aires d'impacts sont concernées : sécurité, mobilité individuelle, environnement et efficacité du système de transport. Ces changements sont représentés graphiquement, par exemple dans le cas de la sécurité (fig.11).

Figure 11 : Impacts de l'automatisation de conduite sur la sécurité des déplacements (Inamaa et al., 2018)



Le *TIAF* présente ainsi trois modules, l'un dédié à la description du système, les deux autres à la détermination des effets du véhicule automatique, respectivement selon une méthode d'enquête, détaillée dans Innamaa et Kuisma (2018), et selon un modèle support d'une démarche déductive. L'ensemble méthodologique proposé ne fait pas l'objet d'une application. L'apport se veut donc avant tout méthodologique, et exploratoire étant donné la nouveauté du sujet d'étude.

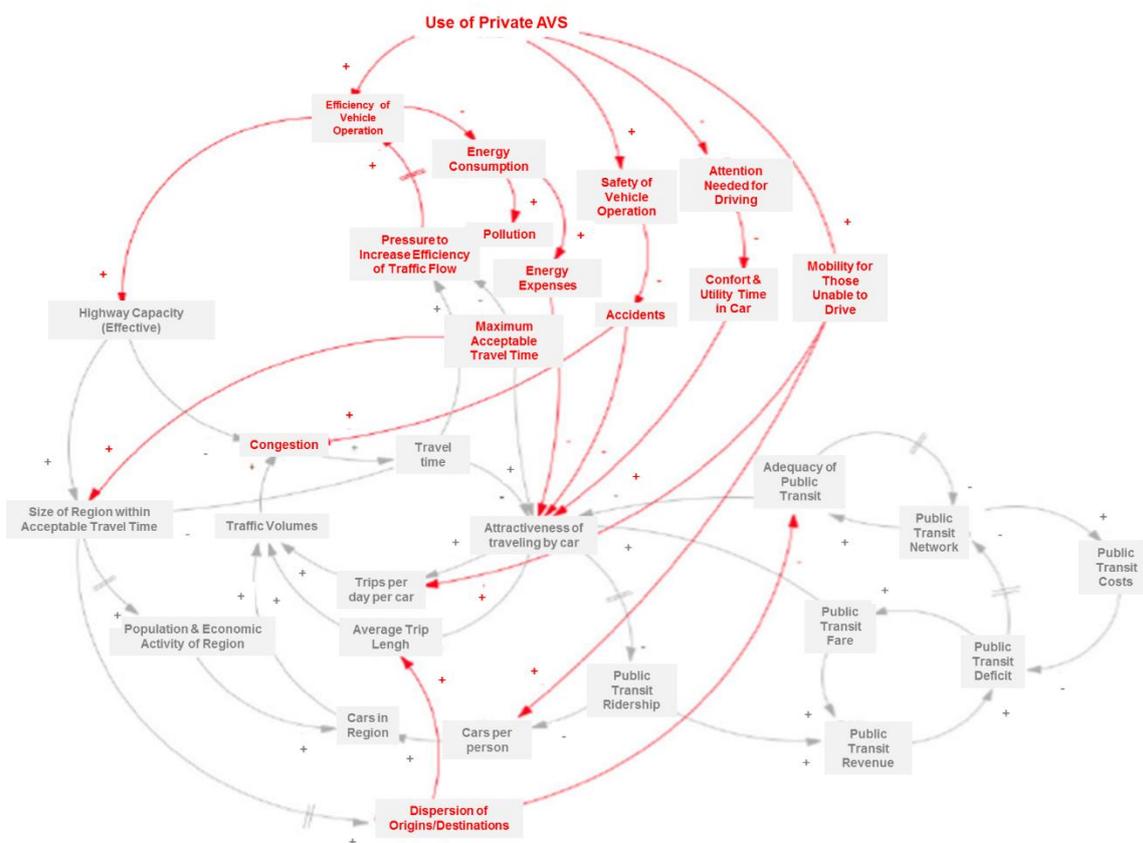
Les trois études référencées dans cette sous-partie mettent en avant l'importance de deux grandes étapes : 1) la définition du système étudié, à travers une analyse de ses performances et l'appréciation de son utilisation, selon une continuité avec l'évaluation des aides à la conduite, et 2) la description des impacts, qui supposent un diagnostic dédié, puisqu'aucun cadre standard des effets du VA n'est mobilisable, du fait de la nouveauté de l'objet d'étude. Pour ce faire, le modèle *AdaptatIVE* s'appuie sur des outils de simulation, les conséquences étudiées se limitant aux thèmes de la sécurité et de l'environnement ; le modèle du projet *Citymobil2* fait appel à des enquêtes auprès des parties prenantes, en lien avec les réalisations expérimentales du projet et le *TIAF* mobilise des méthodes de détermination qualitative, par le biais d'une consultation d'experts et d'une représentation des causalités.

Contributions méthodologique partielles, une prédominance de la modélisation des impacts

Ayant considéré les contributions méthodologiques globales, proposant la définition de plusieurs étapes de la procédure d'évaluation, nous nous intéressons à présent à des contributions « partielles ». Les trois phases de l'évaluation sont concernées : la définition de l'objet d'étude, la détermination des impacts et la synthèse des effets. L'étude de Gruel et Stanford (2016) adresse les deux premières, particulièrement la seconde grâce à l'utilisation d'une représentation systémique. Cette étape est également traitée par un corpus large, déjà évoqué au chapitre précédent, constitué de travaux s'attachant à modéliser informatiquement l'introduction des VA dans le système de transport. Nous considérons dans cette rubrique leurs principales caractéristiques, sans détailler précisément leurs résultats, les convoquant comme une brique méthodologique de l'évaluation. Finalement, le cadre de synthèse des effets, et particulièrement la sélection des indicateurs, est abordée par Appleyard et Riggs (2017), à partir d'une réflexion sur le cadre de mesure propre à juger d'une intégration bénéfique des véhicules automatiques.

Gruel et Stanford (2016) explorent deux étapes de l'analyse des effets de l'automatisation de conduite : la définition de l'objet d'étude et la représentation des mécanismes d'impacts. La première prend la forme de scénarios élaborés à partir d'entretiens auprès d'experts de différents secteurs d'activités. Trois scénarios sont ainsi établis selon deux dimensions discriminantes : le comportement de mobilité et la possession automobile. Le premier scénario ne présume aucun changement de comportement ni de possession, simplement une amélioration de la sécurité et du confort ; le second conjecture de nouveaux comportements, particulièrement l'allongement des distances domicile-travail, mais pas de changements concernant la possession ; le troisième suppose des changements de comportement et de possession avec le développement de véhicules automatiques partagés. Ensuite, ces scénarios sont représentés à l'aide de diagrammes de causalité selon la schématisation du système de transport proposé par Sterman (2000). Ci-dessous, la représentation du premier scénario :

Figure 12 : Diagramme de causalité représentant les mécanismes d'impacts du premier scénario (Gruel et Stanford, 2016 ; reproduction de l'auteure)



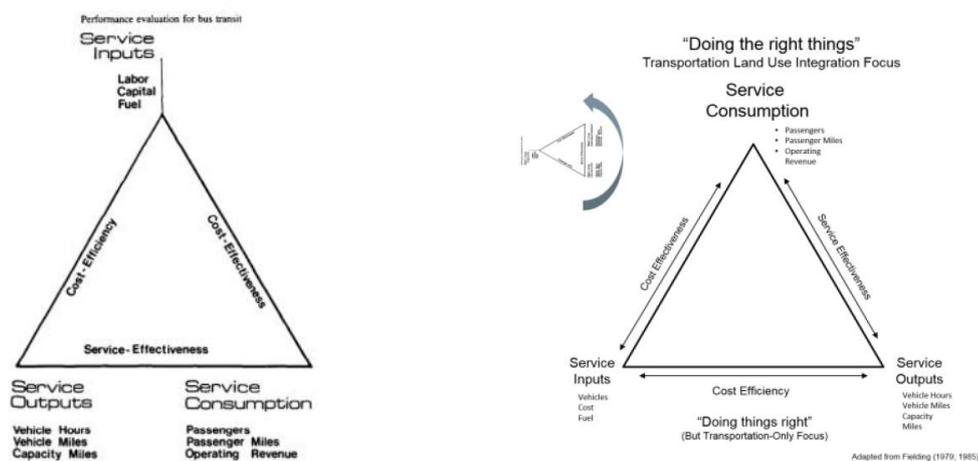
L'approche de Gruel et Stanford (2016) concernant la description des mécanismes d'impacts de l'automatisation diffère de celle du *TIAF*. Dans un cas il s'agit de la réappropriation d'un cadre existant tenant de la représentation systémique, dans l'autre d'un exercice de déduction des liens de causalité.

La description et l'estimation des impacts des véhicules automatiques ont donné lieu à une littérature abondante basée sur des modèles de simulation du système de transport, particulièrement des modèles désagrégés dits multi-agents (Vosooghi et al., 2017). Comme nous avons pu l'évoquer dans le chapitre précédent, deux modes d'implémentation sont étudiés par ces modèles : le taxi automatique et le véhicule automatique personnel. Ainsi, les estimations réalisées sont respectivement basées sur une série d'hypothèses sur les caractéristiques des services de taxis automatiques ou sur les modifications des conditions de déplacement. Ainsi, dans le premier cas, les hypothèses portent principalement sur la part de la demande assurée par le service, le temps d'attente maximum pour les passagers, l'allongement maximal du temps de parcours et le niveau de partage des courses, et dans le second cas, sur l'évolution de la valeur du temps de transport, la capacité routière, les coûts d'opérations et les coûts de stationnement (Soteropoulos et al., 2019). Ces études estiment certains indicateurs, dérivés des données de sortie du modèle. Ils correspondent essentiellement, comme c'est plus largement le cas des travaux de simulation, à des mesures de la performance du système de transport, de son efficience au regard du nombre de personnes transportées, et traitent en ce sens de manière ciblée des incidences des véhicules automatiques. Les indicateurs estimés sont principalement le nombre de kilomètres parcourus et le nombre de véhicules total en circulation, et plus rarement le nombre de places de stationnement. Ces estimations ont le défaut d'être très dépendantes des hypothèses initiales, qui peuvent elles-mêmes manquer de bases scientifiques solides au vu de la nature de l'objet étudié (Soteropoulos et al., 2019).

Ce type d'approche semble convenir à l'étude de l'opération d'un service de taxi, si l'on s'intéresse à sa performance en matière de service rendu. Il paraît plus difficilement employable pour l'étude des impacts généraux du véhicule automatique, d'autant que la plupart des études menées jusqu'à présent désignent une part arbitraire de la demande de transport remplacée par le mode de transport automatique étudié. Les études plus récentes s'éloignent toutefois de ce procédé afin de prendre en compte l'interaction que pourrait avoir ce nouveau mode avec ceux déjà présents. Elles se montrent en cela plus appropriées (Berrada et Leurent, 2017).

Décrivons finalement le travail d'Appleyard et Riggs (2017), qui constitue à notre connaissance la seule contribution uniquement dédiée à la définition d'un cadre de mesure normatif des effets du VA. Leur démarche se fonde sur le cadre d'évaluation des transports en commun de Fielding et al. (1978), consistant en une approche triangulaire comportant trois pôles : capitaux nécessaires à la fourniture du service (*service inputs*), caractéristiques du service rendu (*service outputs*) et utilisation du service (*service consumption*), reliés par deux principaux concepts : efficacité et efficacité. L'efficacité concerne la fonction de production et correspond à l'utilisation optimale des capitaux pour la fourniture du service, l'automatisation entraîne dans ce cas une diminution de la quantité de travail et une augmentation de la quantité de capital. L'efficacité fait référence à l'adaptation du service de transport aux besoins de la population et revêt ainsi une notion de qualité. Reprenant cette distinction, les auteurs proposent de « retourner » ce triangle pour signifier l'inversement de la hiérarchie entre efficacité et efficacité nécessaire dans l'évaluation de l'introduction du véhicule automatique. Ainsi, la satisfaction des individus est priorisée par rapport à l'optimisation de la performance du système.

Figure 13 : Représentation triangulaire de Fielding et al. (1978) (à gauche) et renversement proposé par Appleyard et Riggs (2017) (à droite)



Les auteurs adjoignent au principe d'utilisation du service de transport, celui de satisfaction des habitants, et de bonne organisation du territoire, qui recouvre d'après eux les concepts de vivabilité de l'espace urbain, développé par Appleyard (1980), de durabilité et d'équité. Ainsi, pour être bénéfique, la technologie d'automatisation doit contribuer à trois principaux objectifs : diminution du nombre de véhicules, diminution de la vitesse et diminution de la distance de déplacement. Ils dégagent également une série d'indicateurs plus large, que nous retranscrivons dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Ensemble d'indicateurs défini par Appleyard et Riggs (2017) (traduction de l'auteurice)

Système de transport	Efficience	Utilisation du véhicule	Revenu par véhicule-mile
			Nombre de miles par véhicule
			Revenu par heure-véhicule
		Dépenses par unité produite	Coûts d'opération par siège-mile
			Coûts d'opération par véhicule
			Coûts d'opération par véhicule-mile
			Coûts d'opération par heure-véhicule
		Efficience énergétique	Consommation énergétique par véhicule-mile
	Consommation énergétique par heure-véhicule		
	Dépenses par unité consommée	Coûts d'opération par passager	
		Coûts d'opération par passager-mile	
	Efficacité	Accessibilité	Part de la population desservie
			Passagers transportés par aires de desserte
			Nombre de passagers par véhicule
		Utilisation du service	Passagers transportés par véhicule-mile
			Passagers transportés par heure-véhicule
Qualité urbaine et vivabilité		Part des véhicules partagés	
		Vitesse	
		Taille des véhicules	
		Part des déplacements non automobile	
		Part des routes au-dessus de 25 miles/h	
Utilisation du sol	Efficience de l'utilisation du sol	Durabilité	
		Consommation d'espace	
	Efficacité	Balance logement-emploi	
		Mixité d'usage du sol	
Déshumanisation	Risque de déshumanisation	Véhicules automatiques de grande taille	
		Véhicules automatiques rapides	
		Intimidation des piétons et cyclistes	
		Perception de la sécurité pour la pratique du vélo et de la marche à pied	
		Santé psychologique et sociocognitive	
		Zones urbaines non praticables à pied	

Appleyard et Riggs (2017) adaptent donc un cadre existant et l'enrichissent de concepts urbanistiques, en particulier de celui de « vivabilité » de l'espace urbain, pour établir un cadre permettant l'évaluation de l'intégration des véhicules automatiques.

Dans cette sous-partie, nous avons pris en compte les recherches se concentrant sur une seule phase de l'évaluation. En effet, les différentes étapes de l'évaluation peuvent donner lieu à des développements indépendants. Ainsi, les travaux de modélisation du système de transport pour l'estimation des effets des véhicules automatiques sont nombreux. Nous avons résumé dans cette rubrique leurs données d'entrée et de sortie, sans entrer dans les détails techniques, par ailleurs fondamentaux pour les développeurs de ces méthodes. La détermination du cadre de mesure est quant à elle seulement explorée par Appleyard et Riggs (2017), qui proposent une position plus réflexive que celle adoptée par les travaux recouvrant l'ensemble du processus d'évaluation et que par les travaux applicatifs que nous détaillons dans la section suivante.

3.2.3. Des études applicatives de deux types : analyse multicritères qualitative et analyse coûts-avantages quantitative

Quatre études proposent des résultats d'évaluation concernant les effets de l'introduction des véhicules automatiques, deux qualitatives et deux quantitatives. Les deux premières s'appuient sur des enquêtes et ateliers d'experts pour discuter et estimer les conséquences des VA et décrire les préoccupations des parties prenantes (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Les secondes mobilisent l'analyse coûts-avantages, appliquée aux États-Unis dans un cas (Fagnant et Kockelman, 2015) et à la Suède dans l'autre (Andersson et Ivehammar, 2019).

Les analyses multicritères qualitatives, prise en compte du contexte intégration et d'un large panel d'effets

Dans le cadre du projet européen *CARTRE*⁵² (2016-2018), Rämä et al. (2018) réalisent une évaluation à partir d'une enquête auprès d'experts. Le procédé utilisé comporte trois étapes : la détermination de scénarios d'introduction du véhicule automatique, la sélection d'un ensemble d'indicateurs et une évaluation qualitative des différents scénarios selon les indicateurs sélectionnés. Quatre scénarios, un à court-terme et trois à long terme, sont élaborés. Ils sont construits à partir de la différenciation des facteurs principaux, tels que décrits dans la littérature scientifique prospective sur le VA mobilisée par les auteurs : horizon temporel, développement technologique, succès des services de transport basés sur le partage de véhicules, disponibilité des transports collectifs et intervention des autorités publiques locales. Chacun donne lieu à une description d'environ une page, divisée en trois parties : « technologies », développement des services de mobilité partagés et des transports collectifs, politiques publiques et rôle des autorités locales. Dans le premier scénario, l'introduction de fonctions d'automatisation avancées des véhicules est imaginée en 2025. La technologie concernée n'est disponible que pour une part réduite des consommateurs et soutenue par les autorités publiques. Les scénarios suivants, décrivant différentes situations à l'horizon 2035, étudient l'introduction de véhicules complètement automatisés. Dans le second scénario, l'utilisation des véhicules est partagée, grâce à des services assurés par le secteur privé. Dans le troisième scénario, l'utilisation partagée rencontre également un succès important, mais les services concernés sont cette fois organisés par la puissance publique. Le quatrième scénario considère une introduction des VA sur le modèle du véhicule particulier. Le travail du groupe d'experts internationaux, au nombre de soixante-dix-sept, débute par une réflexion sur l'ensemble d'indicateurs à utiliser pour l'évaluation, à partir de la catégorisation d'impacts et d'indicateurs proposée par le *TIAF* (Innamaa et al., 2018), certains sont ajoutés, d'autres sont écartés. Les estimations des experts portent finalement sur une série d'indicateurs compris dans cinq aires d'impacts et utilisent deux échelles graduées de 0 à 5 concernant l'intensité de l'effet et le niveau de certitude. Nous résumons les résultats obtenus dans le tableau suivant :

⁵² *Coordination of Automated Road Transport Deployment for Europe*

Tableau 10 : Résultats de l'évaluation qualitative menée par Rămă et al. (2018) (traduction de l'autrice)

		Scénario 1 –2025 Introduction de véhicules partiellement automatiques	Scénario 2 – 2035 Véhicules automatiques partagés opérés par le secteur privé	Scénario 3 – 2035 Véhicules automatiques partagés opérés par la puissance publique	Scénario 4 – 2035 Véhicules automatiques privés
Utilisation et acceptabilité	Utilisation des fonctions d'automatisation	++	++++	++++	++++
	Attention et concentration nécessaires	++	+++	+++	+++
	Acceptation	0	+++	++++	+++
	Confiance	++	+++	++++	+++
	Perception de la fiabilité	++	++++	++++	+++
	Perception de l'utilité	++	++++	++++	+++
	Perception du confort	++	+++	+++	+++
	Perception de la sécurité	++	+++	++++	+++
	Sensation de contrôle de la situation	--	---	---	---
Comportement de mobilité	Nombre de déplacements	0	++	+	++
	Temps de déplacement total	0	--	0	---
	Véhicule-kilomètres parcourus	+	++	++	+++

	Part modale de la voiture	-	--	+++++	----
	Part modale des transports collectifs	-	--	+++	---
	Part modale du vélo	0	NA	0	---
	Déplacements aux heures de pointe	--	NA	0	---
	Fiabilité	0	+++	+++	NA
	Confort	++	+++	++	++++
	Accessibilité des zones peu denses	+	NA	+++	+++
Santé publique	Utilisation des modes actifs	-	0	0	----
	Nombre de blessés	+	++	++++	++
	Nombre de tués	+	+++	++++	+++
	Accès aux services de santé	0	++	++++	++
	Accès aux loisirs et aux autres services	0	++	++++	++
	Isolation sociale	NA	NA	NA	NA
Utilisation du sol	Infrastructures routières	0	++	+++	--
	Places de stationnement sur voirie dans le centre-ville	0	+++	+++++	NA
	Places de stationnement souterraines dans le centre-ville	0	++	++++	NA

	Distance des emplois au centre-ville	-	--	-	---
Economie	Croissance de l'industrie automobile	+	---	---	+++
	Croissance du secteur des services de transport	++	+++	+++	++
	Etablissement de nouvelles activités	++	+++	+++	+++
	Productivité globale des facteurs	+	+++	+++	+++
	Coût du capital par véhicule	---	---	---	---
	Coûts d'opération du système	--	++	+++	+++
	Coût d'achat des véhicules	--	---	---	---
	Coûts d'investissement de l'infrastructure digitale	--	---	---	---
	Coûts de fonctionnement de l'infrastructure digitale	--	---	---	---
	Coûts d'investissement de l'infrastructure physique	--	--	---	---
	Coûts de fonctionnement de l'infrastructure physique	--	--	---	---
	Prix par déplacement pour l'utilisateur	0	++	+++	+++

*Les signes positifs et négatifs correspondent respectivement à une évolution bénéfique et néfaste. Le nombre de symboles correspond à l'intensité de cette évolution. La mention en gras de ces symboles correspond à un niveau de certitude évalué supérieur à 3 (sur 5). A noter, l'augmentation du nombre de déplacements et de véhicule-kilomètres parcourus est considérée dans cette évaluation comme bénéfique.

Même si aucun outil d'agrégation des résultats ou de comparaison des scénarios n'est utilisé, le troisième scénario est désigné comme le plus bénéfique. Les risques du quatrième scénario sont mis en avant, ils portent sur le comportement de mobilité et l'usage du sol. Ce scénario contribue toutefois positivement à l'indicateur de « croissance économique ». Un constat qui questionne le choix des indicateurs et plus largement la mesure du bénéfice pour la société. Ils concluent plus généralement à l'intérêt de l'évaluation qualitative pour formuler un aperçu des changements à venir, de leurs déterminants, directions et amplitudes dans le cas des véhicules automatiques.

Sessa et al. (2016) présentent, dans le cadre du projet *Citymobil2*, une évaluation qualitative participative de deux scénarios d'introduction du véhicule automatique en trois étapes. La première consiste en une enquête *Delphi* en ligne auprès d'experts de domaines en lien avec la mobilité. Quatre-vingt-neuf réponses ont ainsi été récoltées. Le questionnaire porte sur deux scénarios dans quatre contextes urbains différents, soient huit options au total. Les scénarios consistent pour l'un en l'introduction d'un véhicule automatique personnel, pouvant éventuellement être partagé entre les membres d'un même ménage ou dans le cadre de prêts entre particuliers, et pour l'autre en l'introduction de véhicules automatiques au sein d'une flotte, un service de taxi proposant des options de covoiturage et d'articulation avec les transports publics. Les quatre contextes urbains étudiés sont :

- la grande ville étendue, consistant en un centre-ville entouré d'une périphérie de faible densité, où la majorité des déplacements consiste à relier ces deux ensembles, le taux de motorisation, le nombre de déplacements par habitant par jour et les distances de déplacement sont élevés et le taux d'occupation des véhicules faible
- la ville polycentrique en réseau, qui présente un taux de motorisation bas, tandis que le nombre de déplacements par habitant par jour et le taux d'occupation des véhicules sont élevés
- la petite ville compacte, où la majorité des déplacements sont de courte distance, effectués en transports en commun, en vélo ou à pied. Le taux d'occupation des véhicules est élevé, alors que le taux de motorisation et le nombre de déplacements par habitant par jour sont faibles
- les zones rurales ou touristiques, où le taux de motorisation, le nombre de déplacements par habitant par jour et le taux d'occupation des véhicules sont faibles, alors que la distance moyenne de déplacement est élevée.

Les huit configurations ainsi obtenues (quatre contextes urbains et deux types d'usage du véhicule automatique) sont interrogées selon cinq critères : le nombre de déplacements par habitant par jour, la distance moyenne d'un déplacement, le taux d'occupation des véhicules, le taux de motorisation et la répartition modale. Cinq modalités de réponse sont disponibles : forte augmentation (>30%), augmentation (entre 10 et 30%), stabilité (entre +10 et -10%), baisse (entre -10 et -30%) et forte baisse (-30%). Les réponses peuvent être commentées textuellement. Nous résumons les résultats obtenus dans le tableau ci-dessous :

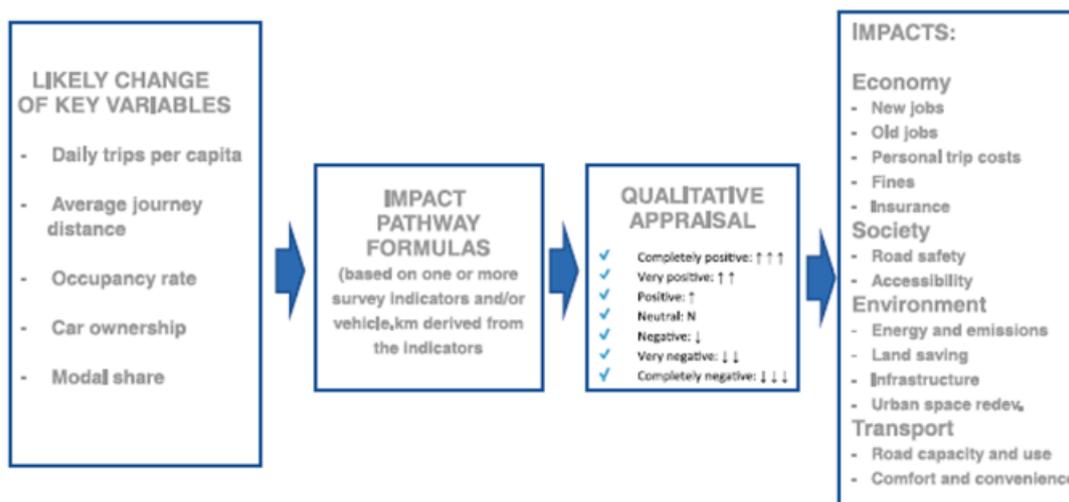
Tableau 11 : Résultats intermédiaires de l'évaluation qualitative menée par Sessa et al. (2016) (traduction de l'autrice)

	Scénario 1 - Véhicule automatique personnel				Scénario 2 – Taxi automatique			
	Grande ville étendue	Ville polycentrique en réseau	Petite ville compacte	Zones rurales/ touristiques	Grande ville étendue	Ville polycentrique en réseau	Petite ville compacte	Zones rurales/ touristiques
Nombre de déplacements par personne par jour	+	=	=	+	+	+	+	+
Distance moyenne parcourue	+	+	=	+	=	+	=	=
Taux d'occupation	-	=	=	=	-	+	=	=
Taux de motorisation	=	=	=	=	-	-	-	=
Part modale voiture personnelle	+	+	+	+	-	--	-	-
Part modale véhicules partagés	+	+	+	+	+	++	+	+
Part modale transports collectifs	-	-	-	-	-	+	+	=
Part modale vélo et marche à pied	=	=	=	=	=	-	-	=

Notons au sujet des résultats retranscrits ci-dessus (tabl. 11), que le nombre de réponses par item varie. En effet, au sein des quatre-vingt-neuf enquêtés, la majorité a répondu uniquement dans le cas du premier contexte urbain. Le premier scénario se montre également « beaucoup plus populaire » auprès des sondés. Considérant l'ensemble des scénarios, les répondants supposent un effet limité du véhicule automatique, contrairement aux hypothèses formulées par le questionnaire. Pour eux, celui-ci ne constitue qu'un changement parmi d'autres, pas forcément le plus important (Sessa et al., 2016).

La deuxième étape de la démarche d'évaluation proposée par Sessa et al. (2016) consiste en une analyse qualitative des résultats obtenus dans le but d'apprécier treize types d'effets, répartis en quatre catégories : économie, société, environnement et transport, sur une échelle à sept gradations. Elle est réalisée lors d'un atelier regroupant une centaine d'experts européens, étasuniens, japonais et singapouriens issus de collectivités locales, de l'industrie automobile et de la logistique. Un processus représenté par le schéma suivant :

Figure 14 : Processus de réalisation de la deuxième étape d'évaluation (Sessa et al., 2016)



Les discussions concernant les différents effets sont en partie retranscrites. Elles sont l'occasion pour les différentes parties prenantes de mettre en avant les impacts non traités qui leur paraissent importants. Nous proposons la synthèse de ces résultats sous forme de deux tableaux (tabl. 12 et tabl. 13). Le premier concerne la qualification des effets. Précisons que la retranscription de cette partie n'est pas très claire dans le travail considéré, nous conduisant à des déductions, lorsque cela était possible. Le second porte sur les catégories d'impacts sollicitées par les parties prenantes.

Tableau 12 : Résultats finaux de l'évaluation qualitative menée par Sessa et al. (2016)

		Scénario 1 - Véhicule automatique personnel				Scénario 2 – Taxi automatique			
		Grande ville étendue	Ville polycentrique en réseau	Petite ville compacte	Zones rurales/ touristiques	Grande ville étendue	Ville polycentrique en réseau	Petite ville compacte	Zones rurales/ touristiques
Economie	Nouveaux emplois	++	+	+	+	+	+	+	+
	Anciens emplois	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
	Coûts personnels du déplacement	++	+	+	+	+	+	+	+
	Contraventions	++	+	+	+	+	+	+	+
	Assurance	++	+	+	+	+	+	+	+
Société	Sécurité	-	-	-	-	+	+	+	+
	Accessibilité	++	++	++	++	+	+	+	+
Environnement	Energie et émissions	--	-	-	--	+	+	+	+
	Consommation	NA	NA	NA	-	+	++	+	+
	Requalification de	NA	NA	NA	-	+	++	+	+
	Modification des	NA	NA	NA	NA	?	?	?	?
Transport	Utilisation et capacité	NA	NA	NA	NA	+	+	+	++
	Confort, facilité	++	++	++	++	+	+	+	+

Tableau 13 : Effets supplémentaires à traiter selon les parties prenantes (Sessa et al., 2016)

Economie	Productivité issue de la suppression de la conduite
	Développement économique permis par l'évolution de l'accessibilité
	Impacts des contraventions et du stationnement sur le budget des ménages
	Impacts des contraventions et du stationnement sur le budget des collectivités
Société	Santé publique
	Qualité de vie
	Localisation résidentielle
	Accès à l'emploi
	Perception du temps de transport
Transport	Temps de transport
	Fiabilité du temps de transport

Enfin, les résultats obtenus aux deux étapes précédentes sont commentés dans le cadre d'un deuxième atelier avec les mêmes participants. Cette étape vise à prolonger le débat et permet aux parties prenantes d'exprimer leurs besoins vis-à-vis de cette technologie. Les autorités publiques insistent sur la nécessité de l'étude des potentialités et risques de différents scénarios et sur leur intégration aux documents de planification dédiés aux transports. Les membres de l'industrie automobile soulignent quant à eux la nécessité d'une consolidation des attentes politiques en matière de desserte du dernier kilomètre, afin de s'engager dans son étude, et d'une catégorisation des routes par niveau d'entretien pour déterminer les possibilités d'opération des VA.

Sessa et al. (2016) ne proposent pas de bilan comparatif des deux scénarios dans les différents contextes urbains, qui pourrait pourtant faciliter la définition des politiques publiques de transport.

Les évaluations qualitatives de l'automatisation de conduite sont calquées sur des analyses de type multicritères. Elles permettent d'explorer un grand nombre d'impacts et de configurations, respectant ainsi la dimension polymorphique et systémique de cette technologie. Les effets peuvent ainsi être discutés, sans que leur importance ne soit exagérée, le véhicule automatique ne constituant qu'un des éléments du futur contexte de déplacement des individus. Si l'analyse de Rämä et al. (2018) comporte une description plus détaillée de la perception individuelle des véhicules automatiques, s'inscrivant par-là dans la continuité de l'évaluation des systèmes d'aide à la conduite, les deux études présentent des indicateurs comparables. Des résultats similaires sont ainsi obtenus s'agissant du nombre de déplacements, de la part modale de la voiture personnelle, de la part modale des transports collectifs, de l'accessibilité, et du confort de déplacement. Les évolutions pressenties sont les suivantes : augmentation du nombre de déplacements, de l'accessibilité et du confort de déplacement dans les deux scénarios, augmentation de la part modale de la voiture dans le scénario d'introduction de VA personnels, diminution dans le scénario de taxis automatiques et diminution de la fréquentation des transports collectifs dans le scénario d'introduction de VA personnels. Les deux études s'opposent sur un point : la sécurité. Alors que les avis d'experts recueillis par Rämä et al. (2018) supposent une amélioration de la sécurité dans l'ensemble des configurations, Sessa et al. (2016) concluent à une amélioration dans le cas des taxis automatiques et à une diminution dans le cas des VA personnels. L'étape dite d'évaluation synthétique des résultats est peu développée dans ces travaux d'évaluation, aucun outil de synthèse ou d'agrégation des résultats n'est proposé. Finalement, nous notons que la comparaison de l'intégration du véhicule automatique dans différents contextes urbains abstraits apparaît une entreprise difficile, comme le montre la concentration des réponses de l'enquête de Sessa et al. (2016) sur un des scénarios et une des configurations. A ce propos, on peut regretter l'absence d'informations détaillées sur les outils mobilisés pour la consultation des experts et parties prenantes.

Après cette présentation détaillée des études évaluatives multicritères qualitatives, voyons à présent les travaux correspondants à des évaluations coûts-avantages monétarisées.

Les analyses coûts-avantages, des bilans positifs mais dépendants d'hypothèses partielles et incertaines

Deux principales contributions proposent une évaluation quantitative de l'introduction du véhicule automatique. Il s'agit d'analyses coûts-avantages appliquées à l'échelle nationale aux VA personnels dans le cas des Etats-Unis (Fagnant et Kockelman, 2015) et de la Suède (Andersson et Ivehammar, 2019). Détaillons-les.

Fagnant et Kockelman (2015) étudient l'introduction du véhicule automatique personnel aux Etats-Unis selon trois niveaux de pénétration : 10%, 50% et 90%. Ils prennent en compte, conformément à la revue de littérature qu'ils réalisent, les bénéfices suivants : sécurité routière, congestion, à travers le temps de transport et la consommation de carburant, et les coûts individuels de stationnement. Plus précisément, ils utilisent les hypothèses suivantes, correspondant aux taux de pénétration énoncés :

- -50%, - 75% et -90% du nombre d'accidents par véhicule
- -15%, -35% et -60% de la congestion autoroutière
- -5%, -10% et -15% de la congestion sur les autres types de routes
- -13%, -18% et -25% de consommation de carburant
- -8%, -13% et -13% de consommation de carburant des autres véhicules
- +20%, +15% et +10% du nombre de véhicule-miles parcourus par véhicule
- - 50% du coût de l'assurance
- un taux de partage de 10% des véhicules.

Le surcoût lié à l'achat d'un véhicule automatique est supposé de 10 000 \$ lorsque le taux de pénétration est de 10%, de 5 000 \$ lorsqu'il est de 50% et de 3 000 \$ lorsqu'il est de 90%. Cette évolution est censée représenter la démocratisation progressive de ces véhicules. Les bénéfices économiques sont respectivement, selon les trois taux de pénétration, de 26 milliards, 102 et 201 milliards de dollars par an. Lorsque les effets non marchands sont monétarisés, les gains estimés sont respectivement de 38, 212 et 447 milliards de dollars.

A un taux de pénétration de 10%, les bénéfices les plus importants sont ceux issus de la diminution de la congestion routière, et particulièrement des gains de temps associés. Aux taux supérieurs, la réduction du nombre d'accidents, et les vies ainsi sauvées, deviennent les principaux contributeurs aux bénéfices. L'introduction des véhicules automatiques est donc majoritairement justifiée par des gains sécuritaires. Ainsi, considérant un horizon de 15 ans et un taux d'actualisation de 10%, la valeur socio-économique nette actualisée par véhicule automatique est estimée à 12 510 \$, 20 250 \$ et 26 660 \$, selon le taux de pénétration. Une

part réduite des bénéfices et coûts dégagés par la littérature sont présents dans cette analyse. Les effets sur les émissions de CO2 et de polluants, sur l'emploi ou encore sur la localisation résidentielle ne sont par exemple pas pris en compte.

Andersson et Ivehammar (2019) appliquent également une analyse coûts-avantages à l'automatisation des voitures et camions en Suède à l'horizon 2025 et 2040. Nous nous intéressons ici à leurs résultats portant sur le transport de passager. Leur méthode d'évaluation comprend quatre étapes : identification des effets, estimation de la demande, calcul des bénéfices et analyse de sensibilité des résultats. L'identification des effets est réalisée à partir d'une revue de littérature et permet aux auteurs de dégager les hypothèses suivantes :

- -20% de la valeur du temps de transport
- -30% de la valeur du temps de transport domicile-travail
- -10% de la consommation de carburant
- -10% du nombre d'accidents

Ensuite, l'évolution de la demande de transport est estimée à partir du taux de pénétration des voitures automatiques (10% en 2025, 50% en 2040), de la baisse du coût généralisé, de l'élasticité prix de la demande du transport routier et de l'élasticité prix croisée avec la demande de transport ferroviaire. Ainsi, des hausses du nombre de véhicule-kilomètres parcourus de 12% en 2025 et de 26% en 2040 sont estimées. A partir de ces données, les bénéfices monétarisés sont évalués à 425 millions d'euros en 2025 et 3 128 millions en 2040. Ils sont majoritairement issus de la baisse de la valeur du temps de transport, et dans une moindre mesure de la diminution de la consommation de carburant. Le trafic supplémentaire généré est considéré comme un bénéfice. S'agissant des coûts des différents capitaux nécessaires à l'introduction des véhicules automatiques, aucune hypothèse n'est formulée en raison de l'absence d'information à ce sujet. Toutefois, l'augmentation maximale des coûts pour l'atteinte d'un équilibre entre coûts et bénéfices est désignée : 22% en 2025 et 29% en 2040. Ainsi, les bénéfices de l'automatisation de conduite vont essentiellement aux consommateurs, par conséquent la subvention du développement ou de l'achat de ce type de véhicules par la puissance publique n'est pas justifiée. Le principal bénéfice externe est la réduction du nombre d'accidents, mais sa valorisation est relativement faible étant donné l'hypothèse d'évolution prise et le niveau actuel de sécurité en Suède. Considérant cette potentialité, l'adaptation du cadre réglementaire est promue. Finalement, de nombreux effets, tels l'accessibilité à de nouveaux usagers, la sécurité perçue, la protection des données, la congestion ou encore l'occupation du sol, ne sont pas pris en compte.

Les deux analyses coûts-avantages portant sur les véhicules automatiques personnels disponibles dans la littérature concluent à un bilan collectif positif de leur introduction, sous réserve du coût de mise en place dans un cas et considérant des hypothèses de surcoût par véhicule allant de 3 000\$ à 10 000\$ dans l'autre. Notons ici que le coût de fonctionnement de ce capital n'est pas pris en compte. Andersson et Ivehammar (2019) désignent l'estimation de ces coûts financiers comme une barrière majeure pour juger de la pertinence de cette technologie grâce à l'ACA. En effet, la nature même du capital nécessaire reste difficile à déterminer, s'il ne se limitait pas à de nouveaux équipements automobiles et devait intégrer une infrastructure physique ou digitale dédiée, le bilan en serait sensiblement modifié.

Cette réflexion rejoint celle d'Andersson et Ivehammar (2019) au sujet la répartition des bénéfices de l'automatisation de conduite entre consommateurs et collectivité. En effet, ils estiment que les consommateurs sont les premiers bénéficiaires du fait de la baisse de la valeur du temps de transport, et proposent ainsi de « laisser » le développement de cette technologie au marché. Même si elles montrent également un bilan positif, les conclusions de Fagnant et Kockelman (2015) sont très différentes. Ces auteurs ne mobilisent pas d'hypothèses sur l'évolution de la valeur du temps mais en formulent en revanche de bien plus élevées qu'Andersson et Ivehammar (2019) s'agissant de la diminution du nombre d'accidents. Pour les taux de pénétration de 50 et 90%, celle-ci devient le bénéfice le plus important, amenant à conclure à un gain d'abord collectif. Précisons qu'au taux de pénétration de 10%, ce sont les gains de temps issus de la diminution de la congestion, et donc des gains privés qui sont les plus importants. Il semble donc que les gains en matière de sécurité doivent être très importants pour que les bénéfices collectifs surpassent les individuels. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus grâce à l'ACA montrent une forte dépendance aux hypothèses de départ, difficile à déterminer dans le cas du véhicule automatique. Une plus grande stabilité de ces dernières, dans leur nature et leur niveau, ainsi que des données financières et techniques concernant le coût d'investissement, de fonctionnement et la durée de vie du capital nécessaire, apparaissent fondamentales pour le développement de l'application de l'ACA à l'automatisation de conduite.

Conclusion : Bilan de l'état de l'art sur l'évaluation du véhicule automatique

Nous avons rassemblé dans ce chapitre les différentes contributions scientifiques qui peuvent être affiliées à l'évaluation du véhicule automatique. Ces éléments ne forment jusqu'à présent pas un corpus cohérent et continu, intégrant des renvois multiples les uns aux autres ou une continuité réflexive. Ils sont souvent issus d'initiatives isolées, tenant de logiques différentes : états des lieux des impacts du véhicule automatique, contributions méthodologiques en lien avec des projets d'expérimentations ou applications de méthodes connues. Il est à noter que les travaux issus du *TIAF* sont les principaux repris et semblent ainsi émerger comme la principale référence actuelle en la matière. Le nombre encore réduit de contributions nous a amené à prendre en compte des contributions partielles, concernant une seule étape de l'évaluation. De même, nous avons privilégié une description détaillée de la plupart des travaux sélectionnés.

Trois principales formes de contributions peuvent être distinguées : des synthèses de la littérature sur les effets du véhicule automatique structurées selon une distinction coûts-avantages ou selon une schématisation causale ; des travaux méthodologiques généraux, proposant un cadre d'évaluation séquencé complet, ou partiels, portant sur une étape fondamentale de l'évaluation, et des études applicatives. Les aires de réflexion repérables se montrent transversales, et correspondent à trois étapes de l'évaluation : 1) définition et description de l'objet d'étude, qui peut être qualifiée de prospective dans le cas de l'automatisation de conduite ; 2) identification, catégorisation et estimation des impacts et 3) cadre de mesure et d'agrégation des effets. Nous synthétisons les contributions des travaux mobilisés en ce sens, avant d'en proposer une mise en perspective dans la suite de la partie.

La définition de l'objet d'étude, un projet prospectif

Les impacts des véhicules automatiques sont dépendants des systèmes de transport déployés. Il est donc nécessaire de définir précisément ces derniers pour l'évaluation (Mc Donald et al., 2018 ; Fahrenkrog et al., 2016 ; Innamaa et al., 2018). Dans les travaux considérés, ces descriptions comprennent, selon les cas, les caractéristiques techniques et servicielles du mode, des effets de premier ordre ou encore des éléments de contexte, comme les comportements de mobilité, les caractéristiques géographiques ou le système de

régulation. Le descriptif prend ainsi la forme d'un scénario (Gruel et Stanford, 2016 ; Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Les variables mobilisées à cette étape dépendent du reste de la méthodologie, requérant plus ou moins d'hypothèses sur les effets de l'automatisation de conduite et son contexte d'intégration. Nous résumons les critères utilisés dans les descriptifs proposés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Synthèse des critères utilisés pour la description de l'objet d'étude dans les travaux d'évaluation du véhicule automatique

Critère	Source
Partage des véhicules (autopartage)	Gruel et Stanford (2016), Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018), Soteropoulos et al. (2019), Fagnant et Kockelman (2015)
Taux de pénétration	Innamaa et al. (2018), Fagnant et Kockelman (2015), Andersson et Ivehamar, (2019), Soteropoulos et al. (2019)
Covoiturage	Sessa et al. (2016), Soteropoulos et al. (2019)
Taux de motorisation	Gruel et Stanford (2016), Sessa et al. (2016)
Disponibilité des transports en commun	Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)
Lieu de déploiement/ Domaine d'opération	Alessandrini et al. (2015), Innamaa et al. (2018)
Degré d'autonomie / Niveau d'autonomie	Alessandrini et al. (2015), Innamaa et al. (2018)
Capacité des véhicules	Alessandrini et al. (2015), Innamaa et al. (2018)
Mode d'exploitation	Alessandrini et al. (2015), Rämä et al. (2018)
Horizon temporel	Rämä et al. (2018)
Infrastructures de télécommunications et physiques nécessaires	Alessandrini et al. (2015), Innamaa et al. (2018)
Coûts de fonctionnement	Soteropoulos et al. (2019)
Temps d'attente moyen	Soteropoulos et al. (2019)
Intervention des autorités publiques locales	Rämä et al. (2018)
Forme urbaine	Sessa et al. (2016)
Nombre de déplacement/habitant/jour	Sessa et al. (2016)
Distance de déplacement moyenne	Sessa et al. (2016)
Taux d'occupation des véhicules	Sessa et al. (2016)

Identification et estimation des impacts, une variété de méthodes

La détermination des effets des véhicules automatiques, multidimensionnels, s'avère un exercice difficile. Dans les travaux que nous avons référencés, leur identification et leur estimation sont réalisées selon trois principaux procédés : 1) description des liens de cause à effet (Innamaa et al., 2018), parfois selon un modèle existant (Alessandrini et al., 2015 ; Gruel et Stanford, 2016 ; Fahrenkrog et al., 2016) ; 2) modélisation du système de transport (Soteropoulos et al., 2019) ou plus généralement estimation de la demande de transport (Andersson et Ivehamar, 2019) et 3) détermination qualitative, principalement grâce à des enquêtes auprès d'experts des domaines concernés (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Les résultats obtenus sont ainsi différents. Les modèles qualitatifs proposent des estimations d'ordre de grandeur sur un grand nombre d'impacts, les modèles quantitatifs se concentrent sur un nombre d'impacts réduit et formulent des estimations précises à partir d'hypothèses sur les caractéristiques ou l'utilisation du système, quant aux modèles de description systémique, aucune application n'étant réalisée, ils forment avant tout une suggestion méthodologique.

Avant de résumer les différents impacts pris en compte par les travaux d'évaluation référencés, nous tenons à formuler deux remarques générales. D'une part, l'héritage de l'étude des systèmes d'aide à la conduite est visible, à travers l'étude des attitudes et appréciations des utilisateurs, comme l'acceptabilité ou la qualité de l'interface. D'autre part, les impacts étudiés et leur catégorisation sont variables. Cette variabilité semble provenir d'une difficile détermination des limites du système étudié, ainsi que d'une faible utilisation de cadres de référence, contenant objectifs, normes ou valeurs.

Nous résumons thématiquement les principaux impacts désignés par la littérature considérée dans le tableau ci-dessous (tabl.15). Nous nous basons sur la classification de McDonald et al. (2018), la plus large, et donc la plus apte à intégrer les autres contributions. Nous l'avons amendée lorsque c'était nécessaire, en y ajoutant en particulier les impacts spatiaux. Notons que les effets considérés peuvent apparaître dans l'évaluation comme indicateur ou faire l'objet d'une analyse dédiée, comme dans la méthode proposée par Alessandrini et al. (2015), qui procède en plusieurs sous-analyses. Cette synthèse vise avant tout à une présentation exhaustive plus qu'à une comparaison précise des classifications. Ainsi, nous ne revenons pas sur certaines inconsistances intra- ou inter- méthodes, notamment relevées par Engholm et al. (2018) dans leur travail de comparaison entre le modèle « *ripple effect* » de Milakis et al. (2017) et la méthodologie *TIAF*. Ceux-ci montrent particulièrement la variabilité de la catégorisation des différentes aires d'impacts,

comme la sécurité, qui apparait comme un effet direct dans la méthode *TIAF* et un effet de troisième ordre dans le « *ripple effect* » de Milakis et al. (2017) ou encore des inconsistances des aires renseignées par la méthode *TIAF* aux différentes étapes de l'étude, avec l'apparition des aires de qualité de vie et d'équité et la disparition de l'aire des impacts socio-économiques à la phase de schématisation.

Tableau 15 : Synthèse des effets étudiés dans les travaux d'évaluation du véhicule automatique

Catégorie	Impacts	Source
Acceptation et utilisation	Acceptabilité générale du système	Rodarius et al. (2015), Rämä et al. (2018)
	Acceptabilité pour un service de transport à la demande	McDonald et al. (2018)
	Performances techniques	McDonald et al. (2018), Rodarius et al. (2015)
	Qualité de l'interface/ Facilité d'utilisation	McDonald et al. (2018), Rodarius et al. (2015), Rämä et al. (2018), Sessa et al. (2016)
	Propension à utiliser	McDonald et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Propension à payer	McDonald et al. (2018)
Perception de la qualité	Disponibilité de l'information	McDonald et al. (2018)
	Compréhensibilité de	
	Satisfaction des usagers concernant la billettique	
	Confort perçu	McDonald et al. (2018), Milakis et al., (2017), Innamaa et al. (2018), Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)
	Fiabilité perçue	Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Niveau de protection de la vie privée perçu	McDonald et al. (2018), Andersson et Ivehammar (2019)
	Niveau de sécurité perçu	McDonald et al. (2018), Andersson et Ivehammar, (2019), Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Risque d'agressions perçu	McDonald et al. (2018)
	Freinages d'urgence	Innamaa et al. (2018)

Comportement de mobilité	Nombre total de déplacements	McDonald et al. (2018), Innamaa et al. (2018), Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)
	Nombre total de pkm/vkm	Fagnant et Kockelman (2015), Milakis et al. (2017), McDonald et al. (2018), Taeibat et al. (2018), Andersson et Ivehammar (2019), Soteropoulos et al. (2019), Rämä et al. (2018)
	Distance parcourue par	Innamaa et al. (2018), Sessa et al. (2016)
	Part modale de la voiture personnelle	McDonald et al. (2018), Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)
	Part modale des transports collectifs	Rämä et al. (2018), Sessa et al. (2016), Innamaa et al. (2018)
	Part modale du vélo	Rämä et al. (2018), Sessa et al. (2016)
	Part modale de la marche à	Sessa et al. (2016)
	Part modale des véhicules	Sessa et al. (2016)
	Taux de motorisation/ Nombre de véhicules	Milakis et al. (2017), Soteropoulos et al. (2019), Sessa et al. (2016)
	Taux d'occupation du véhicule	McDonald et al. (2018), Sessa et al. (2016)
	Temps de transport par habitant par semaine /total	Innamaa et al. (2018), Milakis et al. (2017), Rämä et al. (2018)
	Temps de transport par Origine-Destination/Vitesse moyenne/Congestion	Rodarius et al. (2015), Fagnant et Kockelman (2015), McDonald et al. (2018), Taeibat et al. (2018), Faisal et al. (2019), Sessa et al. (2016)
	Variabilité du temps de transport	McDonald et al. (2018), Faisal et al. (2019), Rämä et al. (2018)
	Maximum du temps de	Innamaa et al. (2018)
	Temps d'attente moyen	McDonald et al. (2018)
	Variabilité du temps d'attente	
Capacité du réseau routier	Rodarius et al. (2015), Milakis et al. (2017), Faisal et al. (2019), McDonald et al. (2018), Innamaa et al. (2018), Sessa et al. (2016)	

Impacts sociaux		
Sécurité	Fréquence des accidents	Rodarius et al. (2015), Fagnant et Kockelman (2015), Milakis et al. (2017), Faisal et al. (2019), McDonald et al. (2018), Andersson et Ivehammar, (2019), Sessa et al. (2016)
	Fréquence des accidents avec dommages uniquement matériels	Innamaa et al. (2018)
	Fréquence des accidents avec dommages matériels et corporels	
	Fréquence des décès	Fagnant et Kockelman (2015), Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Fréquence des blessés	Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Fréquence et distribution de la sévérité des blessures	Rodarius et al. (2015)
Santé	Part modale des modes actifs	Innamaa et al. (2018)
	Distance parcourue totale grâce aux modes actifs	
	Part de la population ayant un meilleur accès aux services de santé	Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
Accessibilité	Accessibilité aux activités essentielles	McDonald et al (2018), Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)

	Distribution du changement d'accessibilité selon le groupe social	McDonald et al (2018), Rämä et al. (2018)
	Accès aux PMR	Milakis et al. (2017), McDonald et al. (2018), Andersson et Ivehammar, (2019)
Impacts environnementaux		
Energie	Consommation énergétique / Consommation de carburant	Rodarius et al. (2015), Fagnant et Kockelman (2015), Milakis et al. (2017), Faisal et al. (2019), McDonald et al. (2018), Innamaa et al. (2018), Andersson et Ivehammar, (2019), Sessa et al. (2016)
	Efficience énergétique	Milakis et al. (2017), McDonald et al. (2018)
Changement climatique	Emissions de CO2	Milakis et al. (2017), McDonald et al. (2018), Innamaa et al. (2018), Sessa et al. (2016)
Pollution de l'air	Emissions de NOX, PM10, PM2,5,VOC	Milakis et al. (2017), McDonald et al. (2018), Inamaa et al. (2018), Taeibat et al. (2018), Sessa et al. (2016)
Bruit	Niveau de bruit	McDonald et al (2018)
Impacts spatiaux		
Occupation du sol	Nombre de places de stationnement	Inamaa et al. (2018), Faisal et al. (2019), Taeibat et al. (2018), Milakis et al. (2017), Soteropoulos et al. (2019), Rämä et al. (2018)
	Localisation des places de stationnement	Innamaa et al. (2018), Faisal et al. (2019), Rämä et al. (2018)
	Occupation de l'espace routier par les différents modes de	McDonald et al (2018), Rämä et al. (2018)

	Occupation de l'espace urbain	McDonald et al (2018), Sessa et al. (2016)
Organisation spatiale	Densité de l'habitat	Innamaa et al. (2018), Faisal et al. (2019)
	Localisation des entreprises	Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Consommation d'espace due à la construction	McDonald et al (2018), Sessa et al. (2016)
Impacts financiers		
Coûts d'investissement	Coûts des infrastructures physiques et digitales	McDonald et al (2018), Faisal et al. (2019), Innamaa et al. (2018), Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)
	Coûts du système de contrôle	McDonald et al (2018), Faisal et al. (2019), Rämä et al. (2018)
	Coûts des véhicules	Mc Donald et al (2018) ; Fagnant et Kockelman (2015), Andersson et Ivehammar (2019), Milakis et al. (2017), Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
	Coût du capital du système	Innamaa et al. (2018)
Coûts d'opération	Personnel	McDonald et al (2018), Rämä et al. (2018)
	Maintenance des	
	Maintenance des véhicules	
Revenu d'exploitation	Revenu de l'exploitation des véhicules	McDonald et al (2018)
Coûts évités	Construction routière	Faisal et al. (2019)
Coût du déplacement	Coût du déplacement pour l'individu	Sessa et al. (2016), Rämä et al. (2018)
Impacts économiques		
Productivité	Valorisation du temps de transport	Innamaa et al. (2018), Andersson et Ivehammar (2019), Rämä et al. (2018)

	Temps de travail perdu du fait des accidents	Innamaa et al. (2018), Rämä et al. (2018)
Activité	Activité du secteur automobile	Rämä et al. (2018)
	Activité du secteur des services de transport	Rämä et al. (2018)
Emplois	Emplois temporaires lors de l'installation du système	McDonald et al (2018)
	Emplois dédiés à l'opération du système au niveau local	McDonald et al. (2018), Faisal et al. (2019), Milakis et al. (2017), Sessa et al. (2016)
	Emplois dans l'industrie automobile, l'informatique et l'assurance	McDonald et al. (2018), Faisal et al. (2019), Milakis et al. (2017), Sessa et al. (2016)

La constitution du cadre de mesure, aller au-delà de la déduction des effets

Dans la plupart des cas, les travaux considérés déterminent les effets à prendre en compte grâce à une démarche déductive, à partir des caractéristiques du système technique étudié et d'un ensemble d'hypothèses nécessaires à la modélisation. Quatre études suggèrent toutefois la nécessité d'une réflexion sur les indicateurs à mobiliser et les effets à observer. Deux d'entre elles font partie des synthèses bibliographiques des effets du véhicule automatique. En effet, Thomopoulos et Givoni (2015) réalisent leur revue de littérature au sens de la place du VA dans une mobilité bas carbone et Acheampong et al. (2018) organisent leur synthèse bibliographique autour du principe d'équité. Les deux autres sont des contributions méthodologiques globale ou partielle. Rămă et al. (2018) mettent en avant, à partir d'une analyse multicritères qualitative de quatre scénarios d'introduction du VA, l'antagonisme entre les mauvaises performances du véhicule automatique privé du point de vue de l'évolution de la mobilité et de l'usage du sol et ses répercussions économiques positives, principalement pour l'industrie automobile. L'intégration de la croissance économique à la mesure des bénéfices sociétaux est ainsi interrogée. Plus formellement, Appleyard et Riggs (2017) proposent une réflexion sur le cadre de mesure à utiliser pour l'évaluation du véhicule automatique. Ils suggèrent de privilégier l'« efficacité » à l'« efficacité », cette dernière prenant en compte la qualité de l'organisation du territoire et de l'espace urbain. En effet, l'efficacité, soit l'utilisation optimale des facteurs de production pour la provision de services de transport, ne couvre pas les aspects d'adaptation aux besoins de la population et de « vivabilité » des espaces de circulation (Appleyard et Riggs, 2017). Les principes de durabilité, de « vivabilité » et d'équité sont mis en avant comme des principes directeurs adéquats. Cette approche les amène notamment à prendre en compte l'interaction entre véhicules automatiques, piétons et cyclistes.

Les premières contributions à l'évaluation du véhicule automatique paraissent à partir des années 2010, puis se multiplient. Le corpus formé reste cependant restreint. Nous avons proposé une méta-analyse de ce dernier selon deux registres, l'un d'inventaire, l'autre méthodologique. Dans le premier cas, une typologie des travaux distingue trois ensembles : synthèses bibliographiques structurées, propositions méthodologiques et études applicatives. Dans le second cas, un bilan des réflexions méthodologiques aux trois grandes étapes de la démarche d'évaluation a été réalisé : définition de l'objet d'étude ; identification et estimation des impacts et constitution du cadre de mesure.

Andersson et Ivehammar (2019) proposent la procédure d'évaluation appliquée la plus complète : identification des effets, estimation de la demande, calcul des bénéfices et analyse de sensibilité des résultats. Celle-ci montre toutefois deux limites principales. D'une part, un nombre limité d'applications et d'effets est traité, d'autre part, une forte dépendance des résultats aux hypothèses est constatée, comme nous l'avons explicité au travers de la comparaison avec l'ACA menée par Fagnant et Kockelman (2015). Cette dernière limite questionne la capacité de l'analyse coûts-avantages à renseigner l'action publique de manière efficace dans le cas du véhicule automatique, considérant le manque d'informations sur les coûts d'investissement et de fonctionnement et sur les effets de la technologie. Notons également que les ACA dédiées au véhicule automatique disponibles ne sont appliquées qu'au véhicule automatique personnel.

Dans l'objectif de poursuivre les réflexions à l'œuvre aux étapes de définition de l'objet d'étude et de constitution du cadre de mesure, et au vu du manque de formalisation constatée, nous proposons de les enrichir grâce au recours à une littérature plus vaste, ne se référant pas uniquement au véhicule automatique. Pour l'étape de définition de l'objet d'étude, nous nous intéressons à l'évaluation prospective, notamment à ses applications dans les domaines des innovations technologiques et des transports. Le véhicule automatique revêt en effet un aspect prospectif du fait du polymorphisme des applications possibles. Pour la constitution du cadre de mesure, nous faisons appel aux travaux traitant de l'évaluation durable, en convoquant de nouveau les travaux méthodologiques généraux, et appliqués aux innovations technologiques et aux transports. En effet, plutôt qu'un cadre de mesure déterminé par la déduction des impacts du véhicule automatique, difficile à l'heure actuelle, l'utilisation d'un principe directeur, normatif, pour sa constitution, est un axe de développement méthodologique à explorer. Ainsi, nous rassemblons dans les deux cas les travaux en question selon le triptyque : références méthodologiques générales, applications aux transports et applications aux innovations technologiques. Nous supposons que la convocation de ces éléments permettra, à travers la comparaison et le dialogue, d'arrimer l'évaluation du véhicule automatique à un corpus plus ancien, soit un meilleur ancrage conceptuel, et d'améliorer les résultats de l'évaluation. Notre objectif final est ainsi de proposer une méthodologie prolongeant les réflexions actuelles et propre à évaluer l'introduction du véhicule automatique au niveau local.

Chapitre 4 : Evaluer une innovation technologique, un exercice nécessairement prospectif

La définition de l'objet d'étude est une étape importante de la démarche d'évaluation. Elle permet de structurer le problème traité. Les travaux d'évaluation du véhicule automatique proposent des descriptions variables du fait des diverses applications possibles de cette technologie, rendant par ailleurs leurs résultats difficilement comparables. La variété des hypothèses utilisées n'est pas étonnante au vu de la nature de l'objet d'étude. En effet, l'application de cette technologie, en cours de développement, est un sujet de prospective. En vue d'affirmer et de systématiser ce statut, nous nous intéressons dans le présent chapitre aux travaux portant sur l'articulation entre prospective et évaluation.

Dans une première partie (4.1), nous rappelons les principales caractéristiques de la démarche prospective. Puis, dans une seconde partie (4.2), nous synthétisons les contributions portant sur la compatibilité et l'articulation entre démarche prospective et évaluation. La troisième partie (4.3) est dédiée à la place de la prospective dans les champs de l'évaluation des transports et de l'évaluation des innovations technologiques. Nous concluons finalement ce chapitre par un inventaire des pistes d'amélioration et de formalisation méthodologiques possibles pour l'évaluation du véhicule automatique considérant les contributions réunies.

4.1. La démarche prospective, panorama succinct

La prospective vise, d'après de Jouvenel (1999), à définir l'éventail des futurs possibles en vue d'aider à les « construire ». Elle se distingue ainsi de la prévision et considère l'avenir comme un domaine de liberté et de puissance humaine (de Jouvenel, 1999). Son utilisation se répand d'abord aux Etats-Unis à la fin de la Seconde Guerre Mondiale, au sein de la *RAND Corporation*. Elle est alors systématisée et dédiée au secteur militaire. Dans les années 1960, elle est utilisée pour l'analyse des politiques publiques, puis, dans les années 1970 au sein de grandes entreprises, particulièrement *Shell*.

La méthode des scénarios, ou scénarisation, est le principal outil de la démarche prospective. Elle est employée comme outil d'aide à la décision et montre son efficacité en la matière (Amer et al., 2013). Le scénario peut être défini comme une description d'une situation future, et éventuellement des dynamiques qui y conduisent (Börjeson et al., 2006). La littérature scientifique concernant la conception et l'utilisation de scénarios a connu un

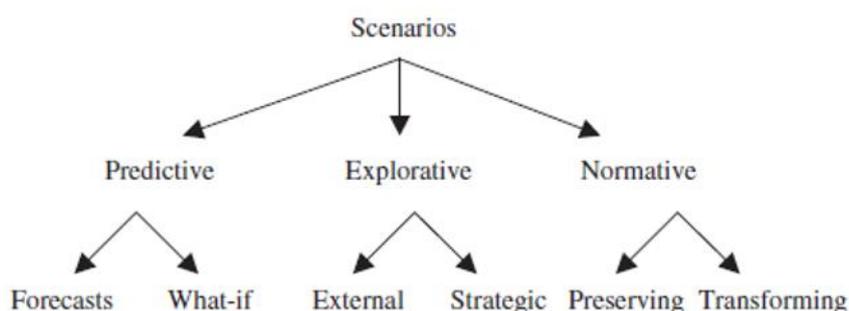
développement considérable ces dernières décennies, caractérisé par la variété et la multiplicité des contributions méthodologiques, parfois qualifié de « chaos » (Bradfield et al., 2005).

Deux canevas peuvent tout de même aider à se repérer au sein des contributions disponibles, l'un selon les écoles, traditions méthodologiques et l'autre selon le type de scénarios. Dans le premier cas, trois écoles sont distinguées par Brafield et al. (2005) : « *intuitive logics* », « *probalistic modified trend* » et « *La Prospective* ». La première assied la construction de scénarios sur la définition qualitative, de manière intuitive, de suites d'évènements. La seconde est uniquement quantitative, elle étudie le futur au sens de la continuité ou de la modification de séries statistiques. La troisième propose une démarche prospective systématisée, structurée en différentes étapes mobilisant données qualitatives et quantitatives. Quelques soient les outils convoqués, la construction des scénarios s'articule en trois étapes : génération d'idées et/ou collecte de données, intégration et vérification de la consistance (Börjeson et al., 2006). Le deuxième canevas consiste en des typologies de scénarios, deux articles sont couramment convoqués pour la pertinence des distinctions proposées : van Notten et al. (2003) et Börjeson et al. (2006). La première référence quatorze critères de différenciation des scénarios répartis en trois grands thèmes : objectif du projet, conception et contenu des scénarios (tabl. 16). La seconde distingue six types de scénarios, d'abord selon le point de vue adopté : prédictif, exploratoire ou normatif, puis, au sein de ces trois catégories, selon la stabilité du système ou la position des acteurs à l'origine de l'étude prospective par rapport aux éléments étudiés, interne ou externe (fig.15).

Tableau 16 : Critères de distinction des scénarios (Notten et al., 2003)

Thèmes	Critères	Déclinaisons
Objectif : exploration ou prise de décision ?	Inclusion de normes	Descriptif Normatif
	Point de vue	Prospectif Rétrospectif
	Sujet	Concerne un sujet Concerne une zone géographique Concerne une institution
	Echelle temporelle	Long terme Court terme
	Echelle spatiale	Globale Locale
Processus de conception : intuitif ou formel	Données	Qualitatives Quantitatives
	Méthode de récolte de données	Participative Recherche documentaire
	Ressources (notamment humaines)	Etendues Limitées
	Conditions institutionnelles	Ouvertes Contraintes
Contenu du scénario : simple ou complexe	Temporalité	Continue Instantanée
	Variables	Hétérogènes Homogènes
	Dynamiques	Tendancielles Inattendues
	Niveau de déviation	Alternatif Conventionnel
	Niveau d'intégration	Elevé Faible

Figure 15: Typologie de scénarios (Börjeson et al., 2006)



Ces deux structurations du champ de la scénarisation constituent des points de repères généraux.

Dans la section suivante, nous abordons l'articulation entre prospective et évaluation, que nous considérons être un axe de développement pour l'évaluation du véhicule automatique. Nous synthétisons les réflexions de la littérature sur ce thème. Elles concernent l'évaluation de scénarios, l'articulation entre scénarios et évaluation et la constitution de méthodologies intégrées.

4.2. D'une réflexion sur l'évaluation de scénarios à la proposition de méthodologies intégrées

La méthode des scénarios et l'évaluation sont des outils d'aide à la décision à part entière. Les réflexions sur leur combinaison sont ainsi motivées par l'amélioration mutuelle de leur performance et de la qualité de leurs résultats (Höjer et al., 2008 ; Ram et al., 2011 ; Stewart et al., 2013 ; Bizikova et Krcmar, 2015 ; Marttunen et al., 2017). D'un côté, la scénarisation s'enrichit d'un outil de prise de décision formel qui permet l'agrégation d'informations multidimensionnelles, la gestion de la complexité et la transcription des préférences des parties prenantes⁵³ (Kowalski et al., 2009 ; Stewart et al., 2013 ; Montibeller et al., 2006 ; Stewart et al., 2013 ; Bizikova et Krcmar, 2015). De l'autre côté, l'évaluation se dote, selon les cas, de scénarios portant sur les options étudiées ou de scénarios externes. Les premiers permettent d'explorer le problème traité en le développant dans un cadre explicite, il s'agit ainsi d'une méthode de problématisation (Marttunen et al., 2017). Les seconds sont utiles à l'étude du contexte, en particulier de son incertitude (Ram et al., 2011 ; Bizikova et Krcmar, 2015). La scénarisation sert également l'évaluation en fournissant un cadre de participation et d'interaction aux parties prenantes, une dimension centrale de l'évaluation prospective (Kowalski et al., 2009 ; Stewart et al., 2013 ; Bizikova et Krcmar, 2015). Ces méthodes sont donc complémentaires. Leur combinaison permet une démarche à la fois analytique et intuitive, convenant à la prise de décision (Shoemaker, 1995 ; Wright et Goodwin, 1999 ; Montibeller et al., 2006).

⁵³ Le terme de « partie prenante » est un néologisme qui transforme « *stockholder* », actionnaire en anglais, en « *stakeholder* », littéralement « possesseur d'intérêt ». Le concept, popularisé par la théorie des parties prenantes de Freeman (1984), repose sur l'élargissement de l'idée d'entreprise, sur une vision davantage partenariale qu'actionnariale (Mercier, 2010). La définition mobilise la notion d'intérêt : « Tout individu ou groupe qui peut affecter les objectifs de l'organisation ou être affectés par la réalisation des objectifs de l'organisation. » (Mercier, 2010). Translatée à l'évaluation, elle correspond à l'« ensemble des personnes concernées ou interpellées à des degrés divers par l'évaluation [...] et ses résultats. » et s'inscrit dans l'intégration de dispositifs tenant de la démocratie participative (Marchand, 2018). Ainsi, dans le cadre de l'évaluation, les parties prenantes sont envisagées comme des représentants d'intérêts et de positions déterminés et spécifiques, organisées et dotées de ressources. A contrario, les « citoyens » ne sont pas forcément directement affectés par l'objet de l'évaluation et sont considérés comme porteurs du bien commun. Ils sont donc choisis de manière aléatoire, sur le modèle du jury citoyen (Grunwald, 2019).

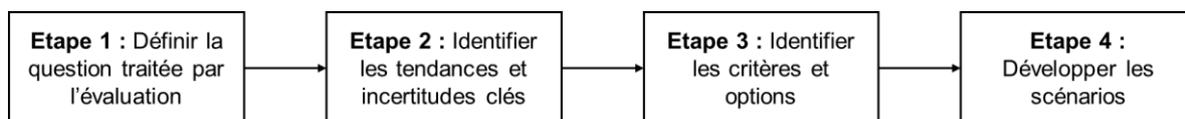
Alors que ces deux méthodes montrent des complémentarités, la question de leur combinaison se pose. Höjer et al. (2008), et plus récemment Fauré et al. (2017), se sont respectivement attachés à étudier la compatibilité entre différents types de scénarios et types d'évaluation et entre différents types de scénarios et objectifs d'évaluation. Ils s'accordent sur le fait que les méthodes d'évaluation analytiques, nécessitant une grande quantité de données quantitatives, sont davantage compatibles avec des scénarios prédictifs, établis à court terme et ne comportant pas de changements importants. Ainsi, qu'il s'agisse de scénarios portant sur les options étudiées ou sur le contexte, la projection des différentes situations futures peut être réalisée à partir de modèles mathématiques, sans que le niveau d'erreur soit problématique. Les méthodes d'évaluation procédurales sont quant à elles mobilisables avec tout type de scénarios, dont les scénarios exploratoires et normatifs, qui contiennent une part importante de données qualitatives et peuvent inclure des changements importants ou s'établir à des horizons temporels lointains (Höjer et al., 2008). En synthèse, la méthode d'évaluation à convoquer en correspondance avec un scénario dépend des nécessités de l'étude : objet d'étude, horizon temporel, degré de changement présent dans le scénario et du type de résultats recherchés (Fauré et al., 2017).

Les méthodes d'estimation des effets des scénarios utilisées dans le cadre de l'évaluation sont également dépendantes de la nature des scénarios. Il en existe trois principales : des modèles mathématiques ou statistiques, propres au secteur d'application (agriculture [Bizikova et Krcmaer, 2015], énergie [Islas et al., 2003 ; Diakoulaki et Karangelis, 2007 ; Lopez et al., 2012 ; Sofia et al., 2020]) ; des méthodes d'étude des causalités, qui s'attachent à expliciter les liens de cause à effet liés aux critères d'évaluation en désagrégeant les scénarios en facteurs principaux (Sheate et al., 2008 ; Tzanopoulos et al. 2011) et des estimations qualitatives par les parties prenantes, qui peuvent s'accompagner d'outils de représentation causale ou graphique pour aider à l'explicitation (Hickman et al., 2012). C'est dans cette dernière configuration que peut intervenir le problème de « fardeau cognitif » pour les participants à l'évaluation, qui doivent souvent déterminer à la fois la pondération des critères d'évaluation et les effets des différents scénarios étudiés sur ceux-ci (Montibeller et al., 2006).

Au-delà de ces réflexions sur la complémentarité et la compatibilité entre scénarios et évaluation, plusieurs contributions proposent des méthodologies intégrées. Il s'agit toutefois d'une pratique actuellement peu répandue (Höjer et al., 2008 ; Arushayan et al., 2017). De telles méthodologies sont justifiées par l'incompatibilité souvent constatée entre des scénarios issus d'une démarche uniquement prospective et les besoins de l'évaluation (Chen et al., 1981). Cependant, nous remarquons l'absence de consensus sur l'articulation temporelle entre définition des scénarios et définition du cadre de mesure au sein des différentes

propositions méthodologiques d'évaluation de scénarios. Ainsi, les scénarios sont parfois établis avant (König et al., 2013), après (Sheate et al., 2008 ; Tzanopoulos et al., 2011 ; Arushayan et al., 2017), ou parallèlement (Goodwin et Wright, 2001 ; Montibeller et al., 2006 ; Bizikova et Krcmaer, 2015) au cadre d'évaluation. Nous repérons quatre manières de lier explicitement ces deux étapes dans les contributions considérées : la mobilisation d'une source de données identique (Borón et al., 2016), une définition simultanée grâce à un atelier associant parties prenantes ou experts (Bizicova et Krcmaer, 2015), un schéma de répartition des éléments traités par les deux modules, afin notamment d'assurer le bon contenu informationnel des scénarios pour l'évaluation (Arushayan et al., 2017) ou encore une alternance d'analyses menant à la formation des scénarios et du cadre de mesure (fig. 16) (Ram et al. (2011). A noter, lorsque l'utilisation de la scénarisation concerne à la fois l'objet d'étude et le contexte, les contributions s'accordent sur l'antériorité de la première, qui fixe le cadre des facteurs à prendre en compte dans la description du contexte (Montibeller et al., 2006 ; Goodwin et Whright, 2001).

Figure 16 : Extrait de la méthodologie combinée développée par Ram et al. (2011) (traduction de l'auteurice)



Qu'elle soit formalisée ou tienne d'une intégration implicite par la création simultanée, l'important est d'assurer que les informations fournies par les scénarios, leur niveau de détails, soient à même de permettre l'évaluation, sans que la méthode d'évaluation ne dicte le choix du type de scénario et sans perdre l'intérêt de la scénarisation, qui doit permettre la mise en place d'un débat (Gallez, 2002). L'équilibre à trouver, tient, comme le font remarquer Arushayan et al. (2017) à la synthèse de deux visions sur les caractéristiques nécessaires du scénario, d'un côté la volonté des évaluateurs de disposer de données les plus détaillées possibles et de l'autre celle des prospectivistes de laisser une place à l'interprétation. Ainsi, les outils employés dans les deux exercices peuvent rester plutôt indépendants car la possibilité d'articulation tient à la cohérence de leur contenu (Montibeller et al., 2006 ; Belton et Stewart, 2002 ; Goodwin et Whright, 2001).

Par ailleurs, Montibeller et al. (2006), et plus tard Stewart et al. (2013), s'opposent à l'hypothèse selon laquelle les scénarios sont systématiquement comparables sur les mêmes critères, arguant de la variété des besoins et préoccupations des acteurs selon le contexte d'intégration de l'objet d'étude, par exemple entre des situations d'expansion et de récession économique. Ils suggèrent donc la possibilité d'attacher des pondérations différentes aux critères d'évaluation selon le contexte. Ainsi, Montibeller et al. (2006) proposent le « *split model* » qui consiste à interroger les parties prenantes participant à une évaluation sur différentes configurations de manière disjointe. Ainsi, celles-ci prédisent les performances d'une option à la fois, dans différents environnements.

Avant de discuter des contributions actuelles sur le véhicule automatique au regard des éléments dégagés ici, et au vu du développement encore limité de cette pratique méthodologique, voyons comment la démarche prospective est abordée au sein de l'évaluation dans les domaines des transports et des innovations technologiques.

4.3. La démarche prospective dans l'évaluation des transports et des innovations technologiques, des traditions éloignées

4.3.1. La scénarisation, une démarche de second plan dans les travaux d'évaluation du domaine des transports

L'évaluation dans le domaine des transports

Dans le secteur des transports, l'application des méthodes d'évaluation concerne les politiques publiques et les projets de transport, particulièrement la construction et l'utilisation des infrastructures routières et ferroviaires (Bueno et al., 2015). Deux méthodes sont principalement utilisées : l'analyse coûts-avantages et l'analyse multicritères. La première, aussi appelée « calcul économique », est majoritaire. Elle a été mise en œuvre dans les années 1960 dans le cadre des procédures de rationalisation des choix publics, dans l'idée d'une plus grande transparence et d'une allocation optimale des ressources (Bérion et al., 2007 ; Maurice et Crozet, 2007, p.7, 131, 168). Elle fait l'objet de textes réglementaires la rendant obligatoire dans de nombreux pays, particulièrement l'évaluation *ex ante* des infrastructures de transport (Annema et al., 2015). Comme nous l'avons plus amplement exposé dans le précédent chapitre, cette méthode étudie la rentabilité collective d'un projet à partir de son coût financier d'un côté et de la monétarisation de ses effets de l'autre. Les effets suivants sont traditionnellement pris en compte : le temps de transport, la sécurité, le coût de

transport et les emplois liés à la mise en œuvre du projet, notamment à la construction dans le cas d'une infrastructure (Bérion et al., 2007). L'analyse multicritères est la seconde méthode la plus courante dans le secteur des transports. Elle s'est d'abord répandue au Royaume-Uni à la fin des années 1990 (Crozet, 2004 ; Macharis et Bernardini, 2015). En effet, à cette période, l'analyse coûts-avantages est remise en cause. Les critiques portent principalement sur cinq points : 1) la difficulté de monétarisation des effets (Roy et Damart, 2002 ; Quinet, 2010 ; Annema et al., 2015), limite d'autant plus prégnante du fait de la prépondérance des avantages non monétaires dans le bilan des projets de transport (Crozet, 2004) ; 2) l'optimisme des estimations financières (Crozet, 2004) ; 3) la corrélation des résultats au niveau de demande, favorisant les projets où celle-ci est forte, c'est-à-dire les zones denses (Roy et Damart, 2002 ; Bérion et al., 2007) ; 4) le grand nombre de conventions sur lesquelles reposent les calculs, particulièrement l'hypothèse de concurrence parfaite, alors que le « marché » des transports présente davantage un profil oligopolistique (Quinet, 2010) et 5) le recours à des préceptes théoriques qui amènent à privilégier le « plus vite, moins cher » et rendent difficile l'intégration de priorités politiques différentes (Tudela et al., 2006). Les partisans de l'analyse multicritères opposent ainsi la capacité de cette méthode à intégrer des éléments de toutes sortes, représentatifs des différents objectifs des parties prenantes et à aider au débat et à la réflexion autour du projet étudié (Janic, 2003 ; Macharis, 2004 ; Quinet, 2010 ; Annema et al., 2015). Notons en contrepoint que cette dimension de représentativité, démocratique, est également revendiquée par les promoteurs de l'ACA, mettant en avant que les méthodes de monétarisation, s'appuyant sur des dispositifs d'observation ou d'enquête, retranscrivent les préférences des agents (Quinet, 2010). Par ailleurs, l'AMC fait également l'objet de critiques. Elles portent principalement sur l'incompatibilité des données mobilisées du fait de leur variété, la subjectivité de la pondération des critères et la présence de doubles comptes, particulièrement au vu des effets multidimensionnels que peuvent engendrer les gains de temps (Quinet, 2010 ; Annema et al., 2015).

Après ce rapide panorama des deux principales méthodes d'évaluation dans le secteur des transports et de leurs avantages et inconvénients respectifs, voyons succinctement leur mise en pratique en France, avant de nous attarder sur la place de la scénarisation au sein de ces méthodes et finalement sur les spécificités de l'application de méthodologies combinées scénario-évaluation aux transports.

En France, l'évaluation socio-économique *ex ante* et *ex post*⁵⁴ des choix relatifs aux infrastructures, équipements et matériels de transport reposant intégralement ou en partie sur un financement public est une obligation réglementaire depuis 1982 (Article 14 de la Loi

⁵⁴ Entre trois et cinq ans après leur mise en service

d'Orientation des Transports Intérieurs [LOTI]), actuellement transposée au Code des transports dans les articles L 1511-1 à L 1511-10 et réglementée par les articles R 1511-1 à R 1511-10 dans le cas des « grandes infrastructures de transports » et R 1511-10 à R 1511-16 dans le cas des « grands choix technologiques ». Les projets d'infrastructures dont le coût hors taxes est supérieur ou égal à 83 millions d'euros sont considérés comme de « grands projets d'infrastructures ». La mise en œuvre d'un équipement impliquant une technologie nouvelle concernant le matériel ou l'infrastructure, ou une nouvelle combinaison de technologies déjà connues, dont le coût global hors taxes est supérieur à 16 millions d'euros et destinée à permettre ou à améliorer le transport des biens et des personnes dans des conditions commerciales, sont considérées comme des « grands choix technologiques ».

Trois principaux rapports méthodologiques à teneur générale, dédiés à la mise en application de ces règlements et à l'homogénéisation de la pratique de l'évaluation ont été publiés : les rapports dits « Boiteux » de 1991 et 2001, puis le rapport dit « Quinet » (2013) (CGSP, 2013a). Depuis le 1^{er} octobre 2014, l'instruction du Gouvernement du 16 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport présente le cadre général de ces évaluations. Elle est complétée d'une note technique de la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer : « Note technique du 27 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport », ainsi que de « fiches-outil » destinées à guider la mise en œuvre pratique (Ministère de la Transition écologique, 2019). Elles prennent notamment en compte les travaux de la commission Quinet, les avancées réalisées en matière d'appréciation des effets des projets de transport, les évolutions prescrites par l'article 17 de la loi de programmation des finances publiques n°2012-1558 et par la circulaire du 9 décembre 2008 relative au référentiel et la charte de qualité de l'évaluation du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. Au niveau urbain, les politiques publiques en matière de transport sont plus marginalement concernées. La loi LAURE rend obligatoire l'établissement d'un Plan de Déplacements Urbains (PDU) et son évaluation pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants. La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (2015) prolonge le contenu de cette évaluation obligatoire par l'estimation des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques générées par les déplacements couverts par le PDU.

L'analyse coûts-avantages reste la référence dominante pour l'évaluation des projets de transport, même si la circulaire du 9 décembre 2008, qui s'applique à tous les secteurs d'activités, marque une inflexion vers une démarche d'évaluation plus ouverte, sur le modèle de l'analyse multicritères et définit un ensemble d'indicateurs adressant les « trois piliers du développement durable » (Quinet, 2010). Ainsi, l'instruction du 16 juin 2014 constitue une hybridation entre ces deux approches. Les résultats de la méthode coûts-avantages sont les

principaux attendus, mais une analyse dite « qualitative et quantitative » annexe, reprenant les effets économiques, sociaux et environnementaux est également préconisée. Les fonctions d'aide à l'élaboration et d'outil au service des objectifs politiques de l'évaluation sont affirmées, s'éloignant de la vision univoque de l'analyse coûts-avantages.

La scénarisation dans l'évaluation des transports, prépondérance de l'hypothèse de stabilité

Dans le domaine des transports, qu'il s'agisse de l'analyse coûts-avantages ou de l'analyse multicritères, l'estimation de la rentabilité collective de l'objet d'étude se fait généralement par rapport à une référence de type « *do nothing* » ou « *do minimal* » (Annema et al., 2015). Le projet de transport est ainsi jugé au sens de son apport par rapport à une situation peu différente de la situation actuelle à l'horizon d'étude. De même, les scénarios externes se limitent la plupart du temps à un seul scénario, considéré comme le plus probable. La littérature étant peu étoffée sur ce thème, penchons-nous sur les pratiques applicatives.

Le cadre français d'évaluation des projets de transport définit quelques concepts clés en la matière, autour desquels le positionnement a toutefois évolué au cours du temps, comme le retrace une des annexes du rapport dit « Quinet » (CGSP, 2013b). Avant de détailler son contenu, précisons la signification actuellement donnée aux deux principaux principes mobilisés : l'« option de référence » et le « scénario de référence ». Ils forment ensemble la « situation de référence », définie comme la réalisation de l'option de référence dans les circonstances du scénario de référence. L'option de référence correspond à la situation où les investissements alternatifs les plus probables dans le cas de la non-réalisation du projet évalué sont réalisés, essentiellement des « investissements de maintenance, voire des investissements peu coûteux et/ou à faible effet ». Une définition qui correspond au « *do minimal* ». Le scénario de référence consiste quant à lui à un ensemble d'hypothèses de référence sur l'évolution future de l'environnement de réalisation du projet. Il s'agit d'un scénario externe qui « formule des hypothèses claires, crédibles et fondées relatives au contexte d'évolution future [...] sur la durée de projection retenue [...] ». Ces hypothèses portent sur le cadre économique, social et environnemental et sur les aménagements réalisés à terme. Il est souvent unique et correspond au « projet global formalisé » du territoire, soit la stratégie territoriale figurant dans les différents documents de planification. Ce scénario doit tenir compte de l'ensemble des acteurs et des projets du territoire, ainsi que du cadre national. La « Note technique du 27 juillet 2014 » recommande la description des éléments suivants : au volet social, les données démographiques, particulièrement d'âge et d'occupation des personnes et les données en lien avec la santé humaine et la qualité de vie ; au volet

environnemental, les dynamiques d'évolution du milieu naturel et d'occupation de l'espace, et au volet économique, l'évolution de la localisation de l'emploi et de l'habitat.

Comme nous l'évoquions, une des annexes du rapport « Quinet » retrace l'évolution de la conceptualisation de l'option de référence dans les documents encadrant la mise en œuvre de l'évaluation en France (CGSP, 2013b). En effet, la formulation de l'option de référence n'a pas toujours été celle d'un scénario « minimum ». Dans le cas du deuxième rapport dit « Boiteux » (2001), l'option de référence est considérée comme la situation optimisée en l'absence de projet, un positionnement qui vise à ne pas favoriser des investissements socialement contestables. Cependant, le rapport dit « Quinet » (2013), met davantage en avant la notion de probabilité d'occurrence s'agissant du choix de l'option de référence, considérant que les politiques publiques de transport optimales sont rarement celles réellement mises en place. Une dernière manière d'envisager la fonction de l'option de référence correspond à l'analyse de l'incertitude, en sélectionnant deux options, l'une très favorable au projet et l'autre très défavorable, afin de décrire le spectre de l'intérêt du projet (CGSP, 2013b). La manière d'envisager l'avenir diffère ainsi dans la pratique, selon les périodes. Quoi qu'il en soit, la prospective tient une place réduite dans l'évaluation des projets de transports, même si les notions d'option de référence et de scénario de référence constituent des bases solides pour interroger l'intérêt d'un projet et son contexte d'introduction.

Avant d'évoquer les pratiques d'évaluation des technologies et leur relation à la prospective, revenons sur les travaux utilisant une méthodologie d'évaluation prospective dans le domaine des transports.

Le corpus en question est relativement réduit, constitué principalement des articles de Winebrake et Creswick (2003), Kowalski et al. (2009), Schroeder et Lambert (2011), Chen et al. (2012), Hickman et al. (2012) et Lopez et al. (2012). Les thèmes des technologies et de l'énergie y sont récurrents. Des domaines annexes, où, comme nous le verrons dans le cas des technologies, la prospective tient une place importante dans les pratiques évaluatives. Nous remarquons également une forte représentation de l'analyse multicritères, souvent qualitative et participative (Winebrake et Creswick, 2003 ; Schroeder et Lambert, 2011 ; Lopez et al., 2012 ; Kowalski et al., 2009 ; Hickman et al., 2012), alors qu'il s'agit d'une pratique minoritaire dans le domaine des transports. Les scénarios y sont employés à deux égards, correspondant à l'objet d'étude et au contexte d'introduction. Dans le premier cas, la scénarisation est mobilisée pour aider à la définition de l'objet d'étude, comme c'est le cas dans Hickman et al. (2012), où les options étudiées consistent en des combinaisons de politiques publiques. Dans le second cas, tel que dans Winebrake et Creswick (2003), le

contexte d'introduction est interrogé. Des ensembles de valeurs différenciés régissant la société, et par extension la valorisation d'un projet, sont considérés. Ils distinguent une société guidée par l'économie d'une société gouvernée par une conscience environnementale. Ainsi, ils montrent, dans le cas d'un système de fourniture d'hydrogène dédiée aux transports, que le type de scénario externe fait varier l'alternative préférée.

L'intégration des pratiques prospectives aux méthodes d'évaluation dédiées aux transports est peu développée. Dans les contributions mobilisant des méthodologies d'évaluation prospective, les rôles traditionnels de l'option et du scénario de référence changent. Ils passent respectivement d'un outil d'étude de l'incertitude à un outil d'aide à la définition du projet, et d'un moyen de description des environnements d'introduction possibles à l'étude de l'influence de différents contextes sociétaux. Par ailleurs, la méthodologie multicritère est privilégiée du fait de sa facilité opérationnelle et de son aptitude à traiter d'une multitude de configurations, qu'elles portent sur les options étudiées ou sur les scénarios de référence. Avant de discuter de ces contributions par rapport à la description de l'objet d'étude réalisée dans les travaux d'évaluation du véhicule automatique, considérons, sur le même schéma, les pratiques prospectives dans le cas de l'évaluation des innovations technologiques.

4.3.2. La scénarisation, partie intégrante des démarches d'évaluation des innovations technologiques

L'évaluation des innovations technologiques

Précisons tout d'abord ce qui est entendu par l'expression « innovations technologiques ». « Les innovations technologiques de produit et de procédé (TPP) couvrent les produits et procédés technologiquement nouveaux ainsi que les améliorations technologiques importantes de produits et de procédés. » (OCDE/Eurostat, 2005). Une innovation TPP existe dès lors qu'elle est introduite sur le marché (innovation de produit) ou utilisée dans un procédé de production (innovation de procédé). Les innovations TPP font intervenir toutes sortes d'activités scientifiques, technologiques, organisationnelles, financières et commerciales. Nous utilisons également dans la suite de notre travail les termes d'innovation technologique, qui désigne par extension le mouvement d'introduction des innovations TPP, et celui de technologie, que nous employons comme synonyme d'innovation de produit et de procédé.

L'évaluation des technologies peut être envisagée comme un processus regroupant de nombreuses démarches d'analyse et méthodes de recherche, mobilisées en vue d'anticiper l'interaction entre les technologies et les systèmes sociaux et d'aider à la formation d'une opinion publique et politique sur les aspects sociétaux des technologies (Decker et al., 2004 ; Grunwald, 2019, p. 24). Les objectifs de l'évaluation des technologies (ET) peuvent être ainsi résumés : décrire systématiquement les effets de la technologie ; étayer une vue critique, notamment par rapport aux promoteurs de la technologie ; gérer constructivement l'ambivalence de la technologie, en exploitant son potentiel sociétal et en anticipant ses effets non attendus et résoudre les conflits liés aux technologies (Grunwald, 2019). Dans ce cadre, le rôle de l'évaluateur est celui d'un « courtier honnête » pour le preneur de décision. En cela, celui-ci ne défend pas une option technologique particulière et ne se concentre pas sur un aspect précis en lien avec la technologie, selon par exemple une orientation du décideur (Grunwald, 2019).

L'émergence et la structuration de l'évaluation des technologies s'inscrit dans trois mouvements : la poursuite des études prévisionnelles concernant les technologies des années 1950, motivée par la prise de conscience de leur influence grandissante sur la société à la fin de la seconde Guerre Mondiale ; la dénonciation croissante des effets néfastes des technologies dans les années 1960, dont l'ouvrage *Silent Spring* de Rachel Carson (1962) est l'exemple le plus notable, et l'apparition de conflits d'intérêt et de valeurs autour des technologies (Van den Ende et al., 1998 ; Grunwald, 2019). Au début des années 1970, à la suite d'une demande du Congrès visant à améliorer l'accès des corps décisionnaires aux connaissances scientifiques, l'*Office of Technology Assessment (OTA)* est créé aux Etats-Unis (Grunwald, 2019, p.65). Ce dernier, actif jusqu'en 1995, essaimera dans le monde, et particulièrement en Europe, avec la création de nombreuses organisations parlementaires similaires dans les années 1980. C'est par exemple le cas en France en 1983 avec la création de l'« Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques » (OPECST) (Van den Ende et al., 1998 ; Tran et Daim, 2008 ; Blancquaert et al., 2002 ; Schultz et Dubois, 2019). Cette « branche » originelle de l'ET est nommée évaluation parlementaire des technologies, ou *parliamentary technology assessment*.

Dans le cadre de la formation de l'OTA, l'évaluation des technologies est pensée comme une méthode d'analyse qui apprécie la nature, la signification et l'état d'une technologie ; mais également ses effets sociaux, économiques, politiques et éthiques, et forme ainsi un outil d'anticipation et d'alerte pour le Parlement (Tran et Daim, 2008). Cette dimension d'alerte est ainsi présente dans les premières contributions sur le sujet, comme dans la définition de l'ET par le Sénat américain en 1972 : « un système d'alerte précoce pour détecter, contrôler et diriger les changements technologiques et leur développement afin de

maximiser le bien public et de minimiser les risques pour le public » (traduction de l'autrice) (United States Congress, 1972). Coates (1976), à la même période, propose la définition suivante : « une étude qui examine systématiquement les effets sur la société de l'introduction, de l'extension ou de la modification d'une technologie. Elle met l'emphase sur les effets inattendus, indirects et de long-terme. » (traduction de l'autrice). Les notions de risque et d'ambivalence des effets apparaissent ainsi spécifiques à l'évaluation des technologies. En cela, l'ET parlementaire joue un rôle d'alerte et d'exploration des effets produits par les technologies, de gestion de leur ambivalence. Son utilisation par la puissance publique a pour objectif de produire connaissances et orientations pour la planification et la maîtrise du développement technologique, en définissant notamment les moyens politiques de les adresser et de réaliser leurs éventuelles contributions à la résolution de problèmes sociétaux (Blancquaert et al., 2002 ; Smits et Den Hertog, 2007 ; Fleischer et Grunwald, 2008). Les principaux domaines d'application de l'ET sont l'énergie, la médecine (nanotechnologies, pharmacologie, transplantation d'organes, génétique) et l'informatique (Fleischer et al. 2005). Les principaux sujets traités sont la sécurité, l'environnement et les droits des citoyens (Grunwald, 2019). Trois types de fonctionnement de l'ET parlementaire peuvent être rencontrés à travers le monde, se différenciant par leur distance aux scientifiques et aux évaluateurs : le modèle de comité, tel qu'il existe en France, caractérisé par le recueil d'avis extérieurs et le rôle central des parlementaires ; le modèle de bureau, comprenant une cellule de recherche, et l'institut indépendant, dont le principal commanditaire est le Parlement, mais qui peut exercer des activités en lien avec d'autres institutions et a également pour mission d'animer le débat public (Grunwald, 2019).

Plus précisément, s'agissant de la situation française, l'OPECST a pour objectif d'« informer le Parlement des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique, afin notamment d'éclaircir ses décisions ». La procédure d'évaluation mobilisée par les parlementaires présente trois étapes : l'étude de faisabilité, l'investigation et les auditions publiques (Molinié et Schulz, 2019). L'OPECST privilégie donc la consultation d'experts dans son processus de travail. Même si, sur le modèle danois, des dispositifs participatifs, comme les conférences de consensus, ont été expérimentés dans les années 1980. Ces derniers sont actuellement davantage confiés à la Commission Nationale du Débat Public. Cette dernière organise débats publics et concertations préalables portant sur des projets, plans ou programmes, nationaux et locaux, selon les règles légales d'obligation et de saisine en vigueur (debatpublic.fr). Notons également l'existence du Conseil National du Numérique (CNNum), créé en 2011 et attaché au Gouvernement, intervenant comme conseiller sur la construction et la structuration de la stratégie nationale en matière de technologies informatiques et

numériques. Le CNNum fait régulièrement recours aux méthodes d'ateliers et de consultations citoyennes (Peugeot, 2015).

Dans les années 1980 et 1990, deux autres branches supplémentaires de l'évaluation des technologies ont émergées, l'ET participative puis l'ET constructive (Grunwald, 2019).

L'ET participative se développe dans un contexte de renforcement de l'engagement citoyen, particulièrement autour des thèmes de l'environnement et de la paix et de la critique de la dimension technocratique de la décision publique (Grunwald, 2019). L'intégration de dispositifs participatifs a ainsi concerné de nombreux domaines d'évaluation, mais a connu un développement majeur au sein de l'évaluation des technologies. La fonction de l'ET participative est similaire à celle de l'ET parlementaire, mais elle a également pour objectif de sensibiliser le public et de contribuer au débat public (Grunwald, 2019). La participation permet un enrichissement du processus et du spectre de l'évaluation à travers la prise en compte des questionnements et des réflexions des participants, ainsi que l'intégration de leurs connaissances et de leurs valeurs politiques et morales (Grunwald, 2019). L'ET participative sollicite différents types d'acteurs (experts, représentants publics, citoyens) en les consultant principalement grâce à des entretiens et des ateliers (Van den Ende, 1998). Deux types d'ET participatives sont distingués, l'une tournée vers les parties prenantes ou experts et l'autre vers les citoyens. Les parties prenantes et experts sont considérées comme les représentants d'intérêt et de positions déterminés et spécifiques, organisés et dotés de ressources. A contrario, les citoyens ne sont pas forcément des individus affectés par la technologie analysée et sont considérés comme des porteurs du bien commun. Ils sont choisis de manière aléatoire, sur le modèle du jury citoyen (Grunwald, 2019).

L'ET constructive est quant à elle principalement développée par Arie Rip et Johan Schot dans les années 1990. Elle consiste en l'introduction d'une évaluation dans le processus de conception d'une technologie. Elle s'appuie sur la déconstruction de l'idée de neutralité axiologique des technologies, avec l'objectif d'y intégrer des valeurs, particulièrement éthiques, au travers de guides destinés aux ingénieurs (Grunwald, 2019).

S'agissant des méthodes mobilisées dans le cadre de l'ET, aucune prédominance ne peut être constatée. Les travaux de synthèse réalisés sur ce thème, comme ceux de Tran et Daim (2008) ou Van den Ende et al. (1998) notent une grande variété et l'utilisation d'outils identiques dans différents types d'ET. En effet, la méthode utilisée se montre avant tout déterminée par le contexte (Fleischer et al., 2005 ; Grunwald, 2019). Ce niveau méthodologique microscopique ne semble toutefois pas significatif des enjeux entourant l'évaluation des technologies. Dans son modèle général de l'ET, Grunwald (2019) désigne trois concepts centraux : anticipation, inclusion et complexité.

D'après Grunwald (2019), une technologie devient un objet pour l'ET lorsque survient une triple dynamique d'avancée technologique ou scientifique, d'émergence d'une signification sociale (perceptions, attitudes, intérêts) et de premières hypothèses sur ses conséquences. L'anticipation correspond à la manière d'aborder l'objet d'étude dans l'ET, souvent au stade du développement. Une difficulté d'observation qui reporte le questionnement de l'ET sur la signification sociale future de la technologie (Grunwald, 2019). Ainsi, l'ET tente de dépasser le dilemme de Collingridge ou dilemme de contrôle (Liebert et Schmidt, 2010). Ce dernier suppose qu'alors que les conséquences d'une technologie ne peuvent être prédites dans sa phase de développement, ne s'exprimant que lors de son introduction au sein de la société, le pouvoir qui peut être exercé sur elle s'amenuise au fur et à mesure de son implantation. Au travers du principe d'anticipation, l'ET interroge trois des principes sous-jacents à cette formule. Premièrement, son positionnement déterministe, qui considère la technologie comme une force exogène et autonome. Deuxièmement, sa représentation mécaniste des conséquences de la technologie, où son interaction avec la société est considérée comme univoque, répondant à une chaîne linéaire de cause à effet induisant des usages et comportements prédéterminés (Liebert et Schmidt, 2010). Troisièmement, l'idée de nécessité d'un savoir scientifique pur, objectif et sans valeur, pour l'évaluation, extrêmement difficile à obtenir *a priori*. Même si elle ne se départit complètement d'une forme de déterminisme et de mécanisme, l'ET a pour objectif de fournir une réflexion sur les conséquences de la technologie en intégrant les thématiques des critiques du déterminisme technologique : l'interaction avec les structures sociales et culturelles, les usages et comportements des individus et la répartition du pouvoir entre les différents acteurs (Grunwald, 2019 ; Gaglio, 2011). Quant au type de savoir nécessaire, l'ET envisage également la génération et l'utilisation de données prospective, plus ou moins spéculatives (Grunwald, 2019).

Le second principe conceptuel décrit par Grunwald (2019), l'inclusion, porte sur le cadrage du contenu de l'évaluation. Il correspond à la nécessité d'intégrer de manière cohérente une diversité de perspectives, de significations, de valeurs et de types de connaissances. Ce critère tend à valoriser l'intégration des citoyens ou des parties prenantes et ainsi les agencements méthodologiques correspondants. Cette position résulte d'une volonté de s'éloigner de l'idée de neutralité axiologique des technologies. Grunwald (2019) met ainsi en avant la nécessité de cinq types de données pour l'ET : descriptive, incluant les connaissances actuelles sur les systèmes étudiés ; prospective ; normative, regroupant notamment des notions sociales, éthiques et législatives ; herméneutique, sur la signification sociale de la technologie et instrumentales, sur les moyens d'intervention. Les connaissances

prospectives et herméneutiques apparaissent centrales et spécifiques à l'évaluation des technologies.

Le troisième principe désigné par Grunwald (2019) est celui de la complexité. Cette dernière concerne le cadre de présentation et de gestion des informations utilisées ou générées lors du processus d'évaluation. Il s'agit par-là de proposer une synthèse fidèle à la complexité mais capable d'agencer les conclusions de manière hiérarchisée et intelligible (Grunwald, 2019). A cette fin, une catégorisation des effets peut être utile : principaux et secondaires ; attendus et non attendus, selon les connaissances disponibles *a priori* ; voulus et non voulus, selon les volontés des différents acteurs et désirés et non désirés, selon un système de valeurs défini (Grunwald, 2019, p. 29). Les effets non voulus et non désirés des technologies portent principalement sur l'environnement (consommation de ressources, émissions de polluants, irréversibilités), la santé humaine (produits chimiques, bruit), le marché du travail, les libertés individuelles, la dépendance au fonctionnement des technologies, les nécessités d'adaptation et les détournements de leur utilisation (Grunwald, 2019, p. 41-46).

Ce panorama succinct de l'évaluation des technologies nous a permis de décrire l'origine de cette pratique, ses différentes branches, ainsi que les principaux concepts qui font sa particularité. Revenons à présent plus en détails sa dimension prospective.

Les données prospectives, un matériel central pour l'évaluation des innovations technologiques

Comme nous avons pu l'évoquer dans la section précédente, l'évaluation des technologies, de par la nature de ses objets d'étude, n'a d'autre choix que de mobiliser des données prospectives. Ainsi, dès ses débuts, l'étude des technologies est marquée par le recours à la prospective, à la scénarisation (Jantsch, 1967 ; Banuls et al., 2007 ; Grunwald, 2019). Les travaux prospectifs concernant les technologies sont ainsi les prédécesseurs de l'ET (Van den Ende et al., 1998 ; Banuls et al., 2007 ; Tran et Daim, 2008). Le développement de scénarios au sein de la démarche d'évaluation se justifie par la nature des scénarios nécessaires, ceux disponibles s'avérant la plupart du temps en inadéquation, trop larges ou trop spécifiques, avec les besoins de l'évaluation (Chen et al., 1981). Dans le cadre de l'ET, les scénarios sont d'abord instrumentaux. En effet, que ceux-ci portent sur la technologie ou son contexte d'intégration, ils sont employés dans une vue essentiellement conséquentialiste, comme supports de déduction des conséquences de la technologie (Grunwald, 2019). S'agissant de la prospective portant sur le contexte d'intégration, Grunwald (2019) distingue

six manières principales de l'aborder dans le cadre de l'ET : en fonction des connaissances actuelles ; d'estimations ; normativement ; en considérant la stabilité de l'environnement ; selon des hypothèses-cadre *ad hoc* ou encore selon une vision utopique ou dystopique du monde. L'intérêt de l'étude du contexte d'introduction des technologies tient à son influence sur les conséquences de celles-ci et sur le cadre de mesure à adopter pour leur évaluation (Chen et al., 1981).

L'évaluation des technologies ne se limite cependant pas uniquement à une vision instrumentale de la prospective. Les scénarios sont reconnus comme des moyens de montrer et de structurer les débats en cours autour de la technologie, de stimuler le débat (Van den Ende et al., 1998 ; Grunwald, 2019). De plus, les prévisions faites ne sont pas neutres vis-à-vis du futur, elles peuvent influencer le développement technologique en « prophéties auto réalisatrices ». Ce constat d'influence a amené les évaluateurs des technologies à considérer les discours sur la technologie et le futur. Cette analyse, nommée herméneutique, peut intervenir comme une source de données pour la constitution de scénarios ou comme dispositif de production de données au cours de l'évaluation (Grunwald, 2019). Les discours sur les thématiques suivantes sont à relever dans le cadre de l'analyse herméneutique : caractéristiques physiques et techniques de la technologie, nature et statut du développement technologique, effets voulus et non voulus de la technologie et interactions avec les structures sociales, économiques et culturelles (Grunwald, 2019).

Conclusion : La nécessaire dimension prospective de l'évaluation du véhicule automatique

Les travaux portant sur l'évaluation prospective montrent une variété de pratiques au niveau méthodologique. Les considérations normatives en la matière reposent finalement essentiellement sur la cohérence générale de la démarche à travers une articulation explicite de la scénarisation et de la définition cadre de mesure de l'évaluation. En outre, la fonction de cadre et de support de débat des scénarios est affirmée. La description de la place de la scénarisation dans les pratiques d'évaluation des transports et des innovations technologiques a permis de concrétiser le rôle que peut tenir la prospective dans l'évaluation. Dans les transports, elle tient une place réduite, centrée sur le recours aux principes d'option et de scénario de référence. L'option de référence correspond au scénario avec lequel le projet de transport est comparé dans l'évaluation. Elle consiste la plupart du temps en une situation « *do minimal* », soit une situation proche de la situation actuelle. Lorsque des méthodologies d'évaluation prospective sont appliquées au domaine des transports, que la scénarisation porte sur l'objet d'étude ou son contexte d'intégration, l'analyse multicritères prédomine, souvent qualitative et participative, alors qu'elle est minoritaire dans le domaine. L'évaluation des technologies montre quant à elle une tradition prospective, qui se traduit par la construction de scénarios dans le cadre de la démarche d'évaluation et par la production de données dites herméneutiques, qui portent sur la signification sociale future de la technologie. Ce positionnement amène à une forte présence des dispositifs participatifs au sein de l'ET.

Les descriptions des applications du véhicule automatique proposées dans les travaux d'évaluation dédiés s'inscrivent bien dans une approche prospective. Les caractéristiques des différentes applications du VA servent à déduire leurs conséquences. Ces « scénarios » jouent donc un rôle instrumental au sein de l'évaluation. Ils décrivent différents modes de transport automatiques possibles. Ainsi, des variables classiques telles que le coût ou le temps d'attente sont renseignées de manière récurrente, mais aussi, plus originalement, les caractéristiques de partage des véhicules. Deux applications sont principalement étudiées : la voiture automatique individuelle et le taxi automatique. Toutefois, aucun des travaux en question ne justifie le choix des applications étudiées ni les hypothèses sur leurs caractéristiques. Plus généralement, aucun des travaux en question ne fait référence aux méthodologies d'évaluation de scénarios, dans lesquels ils s'insèrent pourtant. Ce renvoi est utile pour enrichir les fonctions de la scénarisation, notamment comme outil de discussion, de débat.

Les travaux d'évaluation du VA utilisent donc des scénarios comme outil de problématisation de l'objet d'étude sans que cette démarche soit explicite. De même, les scénarios de référence, ou scénarios contextuels, sont peu mobilisés. L'étude du contexte d'intégration est seulement présente dans Sessa et al. (2016), qui mettent en œuvre une évaluation multicritères qualitative de plusieurs applications du véhicule automatique dans différents systèmes urbains. Cependant, il semble que la méthode d'enquête utilisée, par voie électronique, n'ait pas réussi à limiter le « fardeau cognitif » pour les personnes ayant pris part à l'évaluation. Les résultats ne permettent donc pas la comparaison entre différents contextes d'introduction.

Ainsi, nous suggérons les pistes d'amélioration et de formalisation suivantes, inspirées de la littérature mobilisée dans ce chapitre, afin que l'évaluation du véhicule automatique, qui s'inscrit dans le domaine des transports, tende vers une pratique du type de celle de l'ET s'agissant de l'intégration d'une démarche prospective :

- 1- L'utilisation d'une méthode générique de construction de scénarios qui permettrait de justifier des applications du véhicule automatique étudiées. En outre, situer la nature des scénarios à produire en amont, à partir d'une typologie comme celle de Börjeson (2006), présentée plus haut, favoriserait la transparence de la démarche de scénarisation.
- 2- En vue de proposer une méthodologie combinée adéquate, il est nécessaire d'affirmer le lien entre scénarios étudiés et cadre de mesure de l'évaluation. La définition du cadre de mesure doit donc être coordonnée avec celle des scénarios selon un schéma explicite.
- 3- Afin d'assurer la fonction de support de dialogue, de réactions et de débats des scénarios, un dispositif participatif devra être mobilisé. Ce dernier permettra notamment le recueil et l'analyse des discours des parties prenantes, selon l'idée d'analyse herméneutique développée dans le cadre de l'évaluation des technologies.
- 4- Enfin, l'utilisation d'une méthode d'évaluation de type analyse multicritères, privilégiée dans les études appliquées d'évaluation prospective du domaine des transports pour sa facilité opérationnelle et sa capacité à traiter de multiples configurations, paraît adéquate.

Chapitre 5 : L'évaluation durable, une référence pour la formalisation de l'évaluation du véhicule automatique

La méta-analyse des travaux d'évaluation du véhicule automatique réalisée a également permis de mettre en avant les besoins de développements méthodologiques à l'étape de constitution du cadre de mesure. Le cadre de mesure est en effet significatif des valeurs guidant le jugement véhiculé par l'évaluation. Les travaux d'évaluation du VA fonctionnent essentiellement sur le mode déductif pour constituer le cadre de mesure, au sens où celui-ci est défini à partir des effets de l'objet d'étude. Toutefois, de premières réflexions interrogent le contenu de ce cadre, selon une vision davantage normative.

Ainsi, considérant les manques et les premiers développements des études évaluatives du véhicule automatique, nous nous intéressons à l'intégration de la notion de développement durable à l'évaluation, ou évaluation durable. Nous dédions ainsi le prochain et dernier chapitre de cette partie à ce thème. Comme nous l'avons fait dans le cas de l'évaluation prospective, les recherches présentées incluent à la fois des travaux méthodologiques généraux (5.1) et les applications correspondantes dans les domaines des transports et des innovations technologiques (5.2).

5.1. L'évaluation durable, ou l'intégration du principe de développement durable à l'évaluation

5.1.1. La durabilité, de la prise de conscience environnementale à de multiples formulations conceptuelles

Le concept de développement durable trouve son origine dans une formulation plus large des préoccupations écologiques. Les années 1960 sont marquées par une prise de conscience environnementale généralisée, se matérialisant notamment par la dénonciation des pollutions dues aux activités industrielles et militaires, particulièrement les bombardements nucléaires d'Hiroshima et Nagasaki (1945) et les attaques au défoliant, l'« agent orange », lors de la guerre du Viêt Nam (1955-1975) (Debourdeau, 2013). Plus tard, en 1972, le rapport Meadows (1972) : « *Rapport sur les limites à la croissance* », rédigé par un groupe de chercheurs du *Massachusetts Institute of Technology* à la demande du Club de Rome, met en avant l'impossibilité de la poursuite du mode de développement actuel, basé sur la croissance économique, démographique et industrielle, dans les conditions physiques

de l'écosystème terrestre. Il connaît un retentissement international et contribue à l'émergence politique des questions environnementales (Boutaud, 2005 ; Morrison-Saunders et al., 2015). L'Organisation des Nations Unies (ONU) initie et organise des négociations internationales à ce sujet. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement de Stockholm en 1972 donne notamment lieu au Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (Debourdeau, 2013 ; Boutaud, 2005). Les premières définitions d'un développement durable voient ainsi le jour dans les années 1980, avec le concept d'écodéveloppement d'Ignacy Sachs (1978) et le rapport : « *Stratégie mondiale de la conservation* » (1980) publié par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature en partenariat avec le PNUE et *World Wide Fund (WWF)*. Il sera surtout médiatisé à partir de 1987 à la suite du rapport : « *Notre Avenir à tous* ». Ce dernier, réalisé en préparation du Sommet de la Terre de Rio de 1992 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, ou Commission *Brundtland*, créée en 1983, en offre la définition la plus couramment utilisée (Boutaud, 2005) :

« *Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.* »

La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement de Rio en 1992 marque l'avancée des réflexions autour de l'articulation entre développement et environnement au sein des organismes et commissions de l'ONU et précise les principes et moyens de mise en œuvre du développement durable à travers la Déclaration de Rio, l'Agenda 21 et la création de la Commission du Développement Durable (Boutaud, 2005). Au-delà de cette définition, la Déclaration de Rio met en avant les principes suivants : centralité des êtres humains, nécessité de l'action locale, principe de précaution, gouvernance participative, principe de pollueur-payeur ou encore subsidiarité. L'Agenda 21 préconise quant à lui des règles pour la prise de décision, l'opérationnalisation du développement durable et sa déclinaison dans différents domaines au niveau local (Morrison-Saunders et al., 2015 ; Boutaud, 2005).

De nombreuses interprétations du développement durable et de la durabilité, que nous considérons comme substantif et adjectif, parfois contradictoires, voient ensuite le jour (Pope et al., 2004). Nous nous appuyons sur différentes contributions pour en proposer une catégorisation (Turner et Pearce, 1993 ; Dobson, 1996 ; Boutaud, 2005 ; Destais, 2011 ; Sala et al., 2013 et Pope et al., 2015). Nous ne prétendons pas à travers celle-ci à l'exhaustivité, ni ne proposons une description du contexte d'émergence de ces différences interprétations, et par là des débats ayant par exemple eu lieu au sein des institutions internationales, dont l'appel d'Heidelberg (1992) est un exemple (Boutaud, 2005), qui dépasseraient l'objectif de cette rubrique.

Plusieurs des auteurs mentionnés proposent une catégorisation basée sur l'idée de « gradation des positions », selon un spectre délimité par deux visions de la relation homme-nature : l'une anthropocentrée, supposant une substitution possible des différents types de capitaux ; l'autre environnementaliste, systémique, décrivant un système écologique aux dimensions finies et une symbiose entre humain et environnement (Joumard et Nicolas, 2010 ; Boutaud, 2005 ; Dobson, 1996). Nous présentons tout d'abord ces deux pôles, puis six interprétations de la durabilité comprises entre ceux-ci. Nous terminerons notre exposé en mentionnant la typologie de Pope et al. (2015), basée sur l'appropriation discursive du concept.

La définition économique néoclassique du développement durable, notamment décrite par Maréchal (1996, cité par Boutaud, 2005), correspond au maintien de la quantité totale de capital au niveau macroéconomique. Plus précisément, quatre types de capitaux sont distingués (Hanley, 2015) : capital manufacturé, capital humain, capital social et capital naturel. Dans cette conception, une substitution parfaite entre capital naturel et capital artificiel est supposée. Ainsi, le capital naturel détruit par l'utilisation de ressources naturelles épuisables peut être substitué par d'autres formes de capital, comme le capital manufacturé. En effet, la « règle de conformité » à la durabilité porte sur le stock total de capital, somme de l'ensemble des différents capitaux. Le stock global de capital, légué aux générations futures permet en effet d'assurer leur bien-être, un niveau d'utilité similaire (Boutaud, 2005 ; Guellec, 2009). Cette formalisation économique donne lieu à la distinction entre durabilité « faible » et durabilité « forte », respectivement adhésion et rejet de l'hypothèse de substitution des capitaux (Pearce et Atkinson., 1998). Ainsi, la durabilité forte suppose la stabilité du capital naturel et la durabilité faible celle du stock global de capital (Hanley, 2015).

A l'opposé du spectre d'interprétation du développement durable se trouve l'écologie profonde ou *deep ecology* (Naess, 1989). Cette conception repose sur une série de principes formulés par Arne Naess, essentiellement : approche globale des relations entre les êtres vivants, égalitarisme biosphérique, diversité, symbiose et complexité de l'écosystème planétaire, autonomie locale et décentralisation (Debourdeau, 2013).

Plusieurs conceptions intermédiaires existent entre ces deux pôles, notamment les trois formes de l'économie écologique : école américaine, école de Londres et écologie industrielle. L'école américaine résume le développement durable en trois objectifs sociétaux : une économie s'établissant à une échelle géographique consistante avec les conditions écologiques de la vie, la distribution équitable des ressources et des opportunités entre générations et l'allocation efficiente des ressources, notamment le maintien du capital naturel. Ce dernier est considéré comme une contrainte pour l'économie, à travers l'idée d'une

« quantité critique » (Costanza et Patten, 1995 ; Destais, 2011). La position de l'école de Londres peut quant à elle être résumée comme la nécessité de concilier environnement et croissance économique par une intervention publique capable d'organiser l'internalisation des externalités environnementales des activités économiques. La substitution entre capitaux y est ainsi limitée (Destais, 2011). Finalement, l'écologie industrielle propose un fonctionnement industriel calqué sur le fonctionnement de la nature, ne produisant pas de déchets non réutilisables (Destais, 2011).

Une interprétation thermodynamique de la durabilité, des interactions économique-environnementales se trouve également dans le champ du développement durable (Sala et al., 2013). Cette définition, proposée par Nicholas Georgescu-Roegen en 1971, repose sur l'application du principe d'entropie à l'économie. Ainsi, du fait d'une perte inévitable d'énergie, caractéristique intrinsèque du système, le maintien de la croissance économique, du système dans son état énergétique, amène à l'épuisement total des ressources (Debourdeau, 2013). Nicholas Georgescu-Roegen en déduit la nécessité de décroissance, vue comme une stratégie de « minimisation des regrets ». La dernière définition du développement durable que nous choisissons de présenter est dite humaniste, du fait d'une intégration renforcée de la dimension sociale. Elle décrit la nécessité d'un équilibre entre les sphères économique, sociale et écologique (Sala et al., 2013 ; Destais, 2011). Le développement durable suppose ainsi, en plus de la préservation de l'environnement, l'équité et la protection des populations humaines. Plus généralement, le volet « humain » du développement durable se renforce entre les sommets de Rio (1992) et Johannesburg (2002), avec l'accentuation des thèmes des inégalités, de la santé, de la culture, de la gouvernance et de la solidarité, parfois en lien avec la dimension environnementale, comme par exemple dans l'idée d'accès équitable à un environnement de qualité (Marchand, 2013).

Cette évolution a inspiré une des formalisations les plus régulièrement rencontrées : celle des trois piliers ou *triple bottom line* (Singh et al., 2009 ; Asselot, 2011). La durabilité y est établie selon trois dimensions : économique, sociale et environnementale ; réinterprétées respectivement au sens de : prospérité économique, qualité environnementale et justice sociale. Cette conception, devenue courante dans le sens commun mais également dans de nombreux travaux scientifiques, est discutée. Les principales critiques portent sur la définition de trois dimensions, au lieu des deux de la *Commission Brundland* ; l'intégration de la perspective économique comme un but en soi, légitimant les compromis, particulièrement la dégradation environnementale ou sociale au profit de bénéfices économiques, notamment selon l'opposition « emplois contre environnement » (Pope et al., 2004 ; Arunshayan et al., 2017 ; Glasson et Therivel., 2012, cités par Morrison-Saunders et al., 2015).

Nous résumons les approches décrites dans le tableau ci-dessous, reprenant leurs principales caractéristiques discriminantes : conditions de la durabilité, substituabilité des capitaux et prise en compte de la dimension sociale.

Tableau 17 : Approches de la durabilité selon leurs caractéristiques discriminantes (adapté de Destais, 2011)

	Conditions de la durabilité	Substituabilité des capitaux	Prise en compte de la dimension sociale
Approche néoclassique	Maintien du capital total	Forte	Absente
Ecole américaine	Préservation du capital naturel	Nulle	Absente
Ecole de Londres	Maintien de la croissance et internalisation des externalités environnementales	Faible	Absente
Ecologie industrielle	Evolution du système industriel	Faible	Absente
Durabilité thermodynamique	Décroissance	Faible	Présente
Approche en trois piliers	Développement viable, équitable et vivable	Faible	Présente
Tripple bottom line	Prospérité économique, qualité environnementale et justice sociale	Forte	Présente
Ecologie profonde	Egalitarisme biosphérique	Nulle	Présente

Au-delà de ces formulations conceptuelles, la notion de développement durable, mondialement diffusée depuis les années 1990, intervient en tant que critique de la suprématie de l'objectif de croissance économique dans le système de valeurs politiques et que cadre pour l'action publique, dans sa structuration et son d'évaluation (Gibson, 2006 ; Villalba, 2009 ; Ciattoni et Veyret, 2013). Ainsi, cette large adoption donne lieu à différentes appropriations (Villalba, 2009). Pope et al. (2017) en proposent une typologie à partir de l'analyse des discours s'y référant :

- intégration pragmatique des objectifs de développement économique et de protection environnementale
- limitation des activités humaines
- processus de changement dirigé, de transition
- vision basée sur les principes de résilience et de justice.

Ces interprétations font écho à certaines caractéristiques des formulations présentées précédemment, formant hybridations et reconstitutions. Elles sont significatives de l'incorporation du concept à l'action collective.

Après cette présentation des différentes interprétations et appropriations de la durabilité, voyons comment cette dernière s'est intégrée à l'évaluation, dans l'optique de répondre aux besoins des organisations et des sociétés de juger de la durabilité de leurs activités.

5.1.2. L'évaluation durable, une démarche balisée par des principes directeurs

Les définitions et caractéristiques de l'évaluation durable

Le concept de développement durable se diffuse largement dans la sphère scientifique à partir des années 1990 avec la constitution de la « *sustainable science* », qui se définit selon deux principales orientations : post-normalité, à travers une approche multidisciplinaire, et l'objectif de résolution de problèmes sociétaux, notamment grâce à la participation (Sala et al., 2013). Kates (2001), puis Kates (2011), formalisent ce courant, délimitant son questionnement grâce à sept interrogations. Deux d'entre elles concernent l'évaluation :

- « Comment les sociétés peuvent-elles guider ou gérer le plus efficacement possible les activités humaines vers une transition durable ?
- Comment la "durabilité" des chemins alternatifs de développement peut-elle être évaluée ? » (traduction de l'autrice)

Les années 2000 voient l'augmentation exponentielle du nombre d'articles scientifiques dédiés à l'évaluation durable (Bond et al., 2012). Les travaux de Pope, Gibson ou encore Sadler contribuent à sa formalisation (Grace et Pope, 2015). Parallèlement, des dispositifs d'évaluation se mettent en place à la suite du Sommet de la Terre de Rio (1992), avec la définition des agendas nationaux et locaux de développement durable. L'évaluation durable est parfois désignée comme la troisième génération d'évaluation d'impacts, dans la continuité des méthodologies de la « *Strategic Environmental Assessment* » (SEA) et de l'« *Environmental Impacts Assessment* » (EIA) (Bond et al., 2012, Zijp et al., 2015). En effet, l'évaluation durable a notamment été développée par les praticiens de la SEA et de l'EIA, mais se distingue de l'EIA par sa dimension stratégique et de la SEA par sa référence au concept de durabilité, plutôt qu'à la protection de l'environnement (Hacking et Gurthrie, 2008 ; Pope, 2006 cité par Morrison-Saunders et al., 2015). L'évaluation durable est actuellement

une pratique répandue internationalement, marquée par une grande variété de méthodes (Dalal-Clayton et Sadler, 2014).

Nous relevons plusieurs définitions de l'évaluation durable, parmi celles-ci (traductions de l'autrice) :

- « L'objectif de l'évaluation durable est d'assurer que les plans et activités contribuent de manière optimale au développement durable » (Verheem, 2002)
- « L'évaluation durable peut être simplement définie comme n'importe quel processus qui oriente la prise de décision vers la durabilité » (Bond et Morrison-Saunders, 2011)
- « L'évaluation durable est [...] un outil qui peut aider les décideurs et responsables politiques à décider quelles actions doivent être prises ou non dans l'objectif de rendre la société plus durable » (Devuyst 2001)
- « L'objectif de l'évaluation durable est de fournir aux preneurs de décisions une évaluation des systèmes nature-société du niveau mondial, au niveau local, à court et à long terme, afin de les aider à déterminer les actions à prendre ou non pour tenter de rendre la société durable » (Sala et al., 2015)

Trois caractéristiques de l'évaluation durable se dégagent en filigrane de ces définitions : stratégique, normative et systémique. La première apparaît à travers son inscription dans le processus de décision et l'étude d'option alternatives, qui en font un outil d'analyse, voire d'élaboration des stratégies de développement durable, plutôt que purement sommatif des effets (Devuyst, 2001 ; Gibson, 2006 ; Cohen, 2017 ; Pope et al. 2004). La normativité est visible à travers une référence claire à l'objectif de développement durable et à l'éventualité d'un renoncement dans le cas d'incompatibilités. Le systémisme se manifeste quant à lui particulièrement dans la définition de Sala et al. (2015). L'évaluation durable est considérée comme une analyse non réductionniste, elle n'est pas que la somme de ces éléments pris séparément (Pope et al., 2004 ; Bond et Morrison-Sanders, 2011).

Les grands principes de l'évaluation durable

L'évaluation durable n'est donc pas prescriptive en matière méthodologique, mais se formalise au travers de principes. Le « cadre » d'évaluation doit ainsi les prendre en compte. Avant de préciser ces principes, spécifions la terminologie utilisée pour la description des différents objets constituant le cadre d'évaluation. Nous nous appuyons sur la structure proposée par Sala et al. (2013), par ordre hiérarchique :

- le cadre d'évaluation correspond à la structure d'intégration des concepts, méthodologies, méthodes et outils
- la méthodologie ou processus, est l'ensemble des méthodes mobilisées pour adresser les impacts et questions environnementales, économiques et sociales
- la méthode est l'ensemble des modèles, outils, critères et indicateurs utilisés pour traiter des différents impacts
- le modèle est un système décrivant les éléments nécessaires à la détermination d'un impact
- l'outil est le système permettant la mise en œuvre du modèle
- le critère est la traduction opérationnelle d'un point de vue. Chaque critère appréhende ainsi une catégorie homogène d'impacts, se rattachant à un même « axe de signification ». Les parties prenantes, doivent reconnaître ces derniers, au sens où elles peuvent concevoir la comparaison des alternatives analysées et argumenter leurs préférences à partir de ces critères (Roy, 1993).
- Un critère est représenté par des indicateurs. Les indicateurs sont des instruments de mesure, « des variables, ou combinaisons de variables, sélectionnées pour représenter un enjeu ou une caractéristique d'intérêt » (traduction de l'auteurice ; Gudmundsson et al., 2016). Ils permettent de décrire des phénomènes, changements et tendances de manière simple, synthétique et significative (Singh et al., 2009 ; Warhurst, 2002). Il permet de résumer, simplifier, décrire et communiquer au sujet de phénomènes et de tendances grâce à une quantité d'information adéquate et significative (Gallopain, 1996 ; Singh et al., 2009 ; Warhurst, 2002).

Au vu de la diversité des interprétations et des contextes d'application, de nombreuses contributions s'accordent sur l'utilité de grands principes, de lignes directrices pour l'évaluation durable (Pope et al. 2015). Ces dernières concernent les valeurs et la procédure d'évaluation (Davidson et al., 2012 ; Gibson, 2006 ; Bond et al., 2012 ; Pope et al., 2004).

S'agissant des valeurs, les principes suivants sont mis en avant :

- Normativité
- Équité inter- et intra- générationnelle
- Prise en compte du long terme
- Principe de responsabilité
- Principe de précaution
- Protection environnementale
- Garantie de moyens d'existence décents à chacun et chacune
- Dépassement du paradigme de limitation des effets négatifs pour promouvoir une transition vers la durabilité

Du côté de la procédure, les caractéristiques idéalement attendues sont principalement (Gasparatos et Scolobig, 2012 ; Sala et al., 2013 ; Sala et al., 2015 ; Zijp et al., 2015 ; Pope et al., 2004 ; Gibson, 2006 ; Arushayan et al., 2017 ; Bond et al., 2012 ; Fauré et al., 2017 ; Bueno et al., 2015 ; Morrison-Saunders et al., 2015 ; Villalba, 2009 ; Chédin et al., 2009 ; Curado, 2013 ; Plottu, 2005 ; Plottu et Plottu, 2009 ; Salter, 2010) :

- Prise en compte du contexte, notamment du contexte de décision (acteurs impliqués, échelle géographique et temporelle, activités, etc.)
- Transparence des valeurs incluses dans l'évaluation et du choix des méthodes
- Prise de position par rapport au concept de durabilité et description du concept de durabilité mobilisé dans l'évaluation
- Transdisciplinarité, intégration de différents champs et types de connaissances
- Approche holistique
 - o Prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux, de leurs interactions et interdépendances, à court et long terme
 - o Traitement des effets directs, indirects et cumulatifs
- Production de connaissances orientées vers la recherche de solutions, la définition d'actions
- Approche participative
 - o Vision démocratique de la prise de décision
 - o Utilisation facilitée des résultats et acceptation des décisions
 - o Rôle émancipateur du processus pour les participant-e-s, en tant qu'apprentissage

- Dans une moindre mesure, vision procédurale du choix, aboutissement de la confrontation de points de vue contradictoires⁵⁵
- Prise en compte des incertitudes, notamment par l'utilisation de méthodes d'analyse de sensibilité

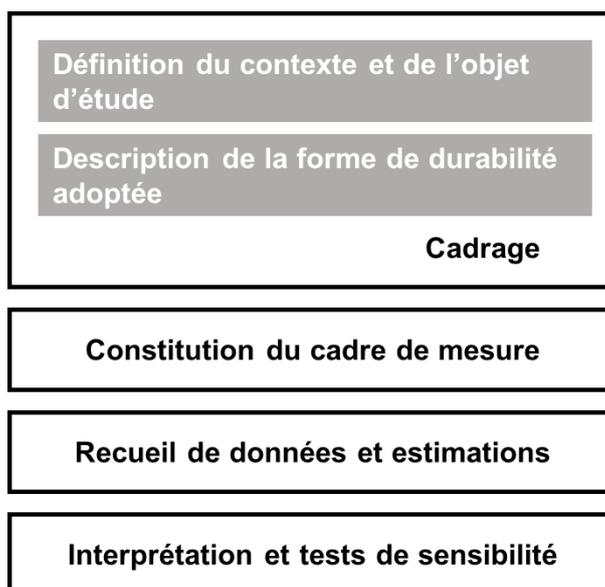
Les multiples formes de l'évaluation durable s'expliquent par la diversité des principes mobilisées, des interprétations du concept, et l'importance de l'idée de son adaptation au contexte d'application. Le domaine est ainsi marqué par un manque de standardisation (Zijp et al., 2015 ; Pope et al., 2004 ; Gibson, 2006). L'évaluation durable apparaît comme une démarche à la fois *top-down*, par la mobilisation de normes, et *bottom-up*, par la prise en compte du contexte. Autrement dit, elle se déroule utilement dans un cadre structuré et transférable, mais adaptable aux spécificités socio-économiques, environnementales et culturelles (Jenkins et al., 2003 ; Gibson, 2006). Toutefois, au vu de la difficulté de remplir l'ensemble de ces principes, ils se muent souvent en critères de performance, ou plus largement de qualité, des méthodes d'évaluation durable (Hacking et Gurthie, 2008 ; Bond et al., 2012). Finalement, afin de concrétiser les éléments listés plus haut, détaillons à présent une procédure d'évaluation durable *ex ante* type.

5.1.3. Procédure d'évaluation durable ex ante type, un cadre à décliner au contexte d'application

L'évaluation durable propose de converger vers un cadre, une série d'étapes intégrant ces principes, pour tendre vers une démarche reproductible. Nous nous appuyons sur les propositions récentes de Sala et al. (2015), Morrison-Saunders et al. (2015), Arushanyan et al. (2017) et Pope et al. (2017), elles-mêmes inspirées de travaux plus anciens comme ceux de Gibson (2006), Lee (2006) et Wiek et Binder (2005).

⁵⁵ A ce titre, elle s'oppose à une conception uniquement gestionnaire de l'évaluation, reposant sur des principes d'objectivité et de neutralité, qui sied mal à l'association des parties prenantes aux processus évaluatifs (Plottu et Plottu, 2009).

Figure 17 : Schéma d'une procédure d'évaluation durable ex ante type



La première étape de l'évaluation est celle du cadrage. Elle comprend la description du contexte et de l'objet d'étude et la définition de l'approche adoptée en matière de durabilité. Le principe de durabilité est ainsi décliné à l'objet et au contexte d'étude. Cela ne remet pas pour autant en cause la promotion d'une vision normative de la durabilité, ou l'étude de différentes conceptions, afin par exemple de représenter la variété des visions des parties prenantes. Pope et al. (2017) proposent un cadre de description du sujet et du contexte d'étude. Ils décrivent le sujet d'étude selon l'objet de la décision (politiques, institutions, biens ou services, etc.), la nature de la décision (conformité de l'objet d'étude avec la durabilité, choix entre plusieurs alternatives ou contribution à la durabilité) et le porteur de l'évaluation (régulateur, défenseur ou tiers). La description du contexte comprend le contexte de réalisation de l'évaluation et le contexte de décision. Le contexte de réalisation de l'évaluation amène à considérer le public auquel se destinent les résultats. La description du contexte de décision doit quant à elle répondre aux questions suivantes : Qui sont les parties prenantes ? Qui sont les preneurs de décisions ? Quelles sont les limites géographiques et temporelles de l'étude ? Quelles sont les activités affectées par l'objet d'étude ?

La description de l'approche de la durabilité adoptée dans le cadre du travail d'évaluation résume la position de la personne en charge de l'évaluation et fait donc référence aux principaux débats conceptuels portant sur la durabilité, en vue d'en dégager un positionnement clair (Sala et al., 2015 ; Fauré et al., 2017). Celle-ci est constitutive de la démarche de transparence de l'évaluation durable, en cohérence avec la critique des valeurs implicitement incluse dans l'évaluation économique classique. La perspective adoptée doit être cohérente avec l'objet d'étude, le contexte, ainsi que les besoins et attentes des parties

prenantes (Gasparatos et Scolobig, 2012). Conformément à l'objet d'étude et au contexte, des objectifs et critères de durabilité sont retenus.

La deuxième étape est celle des choix méthodologiques, et incidemment des méthodes, modèles, outils et indicateurs utiles à l'évaluation. En effet, la transparence, valeur de l'évaluation durable, s'applique également au lien entre objectifs de l'étude et méthodes utilisées (Zijp et al., 2015). Ce travail d'explicitation, rarement mené, est d'autant plus important que les nombreuses méthodes utilisables n'ont pour la plupart pas été conçues pour adresser la durabilité (Bueno et al., 2015). La compatibilité entre méthodes existantes et évaluation durable a ainsi été interrogée (Ness et al. 2007 ; Gasparatos et Scolobig, 2012 ; Finnveden et Moberg, 2005). Considérant les procédés les plus utilisés, ils tirent les conclusions suivantes : l'analyse coûts-avantages présente des limites quant à la prise en compte des valeurs non-économiques, de l'équité et des biens non-marchand (Omura, 2004) ; l'analyse en cycle de vie est centrée sur la dimension environnementale et doit être complétée pour permettre l'évaluation durable, corolairement, l'analyse en cycle de vie sociale se montre restreinte à un aspect de la durabilité. L'analyse multicritères s'avère la plus adaptée à l'évaluation durable (Janic, 2003 ; Tudela et al., 2006 ; Bond et Morrison-Sanders, 2011 ; Gasparatos et Scolobig, 2012). Cependant, cette dernière comporte plusieurs limites, dont les principales sont la subjectivité de la pondération des indicateurs et la possibilité de doubles comptes, évoquées précédemment (Browne et Ryan, 2011 ; Bueno et al., 2015).

Au vu de ces conclusions, nous poursuivons notre description d'un cadre d'évaluation durable type, en supposant le recours à l'analyse multicritères.

L'analyse multicritères s'appuie sur la comparaison de plusieurs alternatives selon un ensemble explicite d'indicateurs librement constitué et pondéré. Différentes méthodes existent. Elles diffèrent selon leur complexité computationnelle, la technique d'agrégation des performances, le niveau d'engagement des parties prenantes et les données nécessaires (Munda et al., 1995 ; Roy, 1996 ; Belton et Stewart, 2002 ; Geneletti et Ferreti, 2015).

Malgré ces différences, une analyse multicritères comprend généralement les deux sous-étapes suivantes (Geneletti et Ferreti, 2015) :

- définition des indicateurs
- pondération des indicateurs.

L'analyse multicritères ne fait porter aucune contrainte sur le type d'indicateurs à utiliser (Geneletti et Ferreti, 2015). Ils peuvent être quantitatif, qualitatif ; descriptif (rendre compte de

l'état d'un système) ou normatif (relatif à un seuil, une valeur de référence) (Joumard et Nicolas, 2010).

Une approche systématique pour l'élaboration de l'ensemble de critères et d'indicateurs est préférable (Bossel, 1999 ; Singh et al., 2009). Pour cela, la méthode adoptée peut être substantielle, reposer sur une méthode de déduction scientifique, ou procédurale, à partir de la consultation et de la concertation des parties prenantes (Nicolas et Verry, 2005). Lorsque l'objet d'étude peut être affilié à un domaine en particulier, l'utilisation d'un bloc minimal d'indicateurs, issu des recherches sur la durabilité dans le domaine, est recommandée. Cette partie systématique est ensuite complétée par une part variable, déterminée par le contexte, la personne en charge de l'évaluation et les parties prenantes (Bueno et al., 2015). L'ensemble de critères et d'indicateurs constitués doit de plus, en vue d'être mobilisé dans une analyse multicritères à bon escient, répondre à certaines exigences. Les principes d'exhaustivité, de cohésion et de non redondance sont considérés comme les plus importants (Roy et Boyssou, 1996 ; Gudmundsson et al., 2016).

S'agissant des attendus portant sur les critères considérant le cadre de la durabilité, la contribution la plus connue est celle des « principes de Bellagio » (Bellagio Principles, 1996), mise à jour par Pintér et al. (2012). Les principes dégagés sont les suivants : 1) respect des termes généraux du développement durable, 2) prise en compte des trois piliers et de leurs interactions, 3) portée temporelle et géographique adéquate, 4) transparence, 5) communication efficace des résultats ; 6) participation large et 7) possibilité d'application au long cours. Ces principes font écho aux lignes directrices s'appliquant au cadre de l'évaluation durable, plus qu'ils ne constituent des règles spécifiques s'appliquant aux indicateurs.

La pondération des indicateurs consiste à affecter à chacun d'eux une valeur relativement aux autres. Pour recueillir les informations nécessaires, par exemple auprès des parties prenantes, différents dispositifs sont utilisables, essentiellement *focus group*, entretiens et questionnaires (Geneletti et Ferreti, 2015). Des techniques précises de collecte existent également comme le « compromis », fondé sur un ensemble de questions permettant d'explicitier la préférence de l'augmentation marginale d'un indicateur par rapport à un autre (Keeney et Raiffa, 1976) ou le « processus d'analyse hiérarchique », basé sur la comparaison deux à deux des critères d'évaluation (Saaty, 1980). Les classements d'indicateurs peuvent également être transformés en pondération, à travers les méthodes de « détermination aléatoire », qui utilise les informations ordinales sur la priorité des indicateurs, de « pondération extrême », qui établit différentes combinaisons de pondérations extrêmes remplissant l'information ordinaire ou encore de « valeur attendue » qui génère les valeurs des pondérations attendues au sein de l'ordre identifié (Janssen et al., 2001).

La quatrième étape est celle du recueil de données et de l'estimation des performances des alternatives étudiées sur chacun des indicateurs. A cette étape, divers moyens d'estimation peuvent être convoqués selon la nature de l'impact. L'estimation peut être réalisée indépendamment pour chaque indicateur. Cependant, l'utilisation d'outils tenant de la systémique, permettant de considérer les interactions au sein de systèmes socio-écologiques est recommandée (Gibson, 2006 ; Audouin, 2009 ; Audouin et de Wet, 2012; Bond et al., 2012). Les performances des alternatives sur chaque indicateur sont agrégées selon le type d'analyse multicritères choisi. La méthode la plus utilisée est l'agrégation complète, valable uniquement si les indicateurs sont indépendants. Le choix de la technique d'agrégation dépend du cadrage de l'évaluation, de la définition de la durabilité adoptée, particulièrement de la position par rapport au principe de substitution des capitaux (Geneletti et Ferretti, 2015).

La sixième étape consiste en l'interprétation des résultats. Elle peut comprendre différents tests de sensibilité. L'influence du manque de données, les erreurs de mesure, les connaissances limitées, les incertitudes et les hypothèses prises sont particulièrement considérées. Les analyses de sensibilité les plus couramment menées dans le cas de l'analyse multicritères portent sur les performances des alternatives et sur la pondération des critères. Finalement, l'alternative préférée est discutée.

5.2. L'évaluation durable dans les domaines des transports et des innovations technologiques, une incarnation dans les indicateurs

5.2.1. L'évaluation durable des transports, des indicateurs synonyme d'un changement de paradigme

La diffusion de la notion de mobilité durable

Dans cette section, nous retraçons la conceptualisation du principe de transports durables, qui s'installe progressivement dans le paysage politique international à partir des années 1990, selon une transposition du développement durable au secteur des transports (Ziestman et Rilett, 2002). Le secteur des transports apparaît dans la Déclaration de Rio (1992). Avant cela, la Déclaration de Stockholm (1972) mettait surtout en avant la nécessité de planification, particulièrement en zone urbaine, et *Notre avenir commun* (1987) préférait une approche multisectorielle, qui ne faisait mention du secteur des transports qu'en relation avec la consommation d'énergie non renouvelable, les émissions de gaz à effet de serre et la

nécessité de systèmes de transports publics (Gudmundsson et al., 2016). La Déclaration de Rio (1992) précise les orientations pour la gestion des transports dans le cadre du développement durable : planification intégrée transport-urbanisme en vue de réduire la demande de transport, politiques favorisant la fréquentation des transports en commun, espaces sécurisés pour encourager l'utilisation des modes doux, gestion optimale des transports en commun, de la circulation et de la maintenance des infrastructures et réduction de la consommation énergétique des transports (Gudmundsson et al., 2016). Parallèlement, le rapport suggère des principes généraux, s'appliquant aussi au domaine des transports : principe de précaution, instruments économiques pour l'internalisation des externalités, intégration de l'analyse environnementale à la réalisation des projets, participation des parties prenantes et équité environnementale (Gudmundsson et al., 2016). Dès les premières réflexions sur la durabilité du système de transport, les conceptions oscillent donc entre la durabilité du système en lui-même et sa contribution au développement durable en général, formant deux visions distinctes : l'une centrée sur les transports et l'autre dite « holistique » (Gudmundsson et al., 2016). La première a l'avantage de fournir des objectifs spécifiques et explicites pour le secteur et la seconde de promouvoir la coordination avec d'autres secteurs (Gudmundsson et al., 2016).

Le terme de mobilité durable fait quant à lui pour la première fois son apparition dans le rapport « *EU Green Paper on the Impact of Transport on the Environment* » (1992). L'application du principe de durabilité y apparaît comme le support d'un rééquilibrage des méfaits et des bénéfices du système de transport. En effet, alors que celui-ci bénéficie à l'activité économique en permettant le déplacement des personnes et des marchandises, il génère de nombreux effets environnementaux et sociaux néfastes, dont principalement : la consommation de ressources non renouvelables, la pollution de l'air, la rupture des milieux, les accidents routiers et les inégalités d'accès au système (Holden et al., 2020). Le document en question propose cinq objectifs pour le secteur : limitation des effets environnementaux néfastes, affirmation de son rôle économique et social, contribution à la cohésion sociale et économique, garantie du choix du mode de transport aux individus et application du principe de subsidiarité pour la mise en œuvre des politiques publiques. Cette définition, qualifiée de « consensuelle », fera l'objet de nombreuses critiques mais amorce les débats au sein de la communauté européenne et renforce le volet environnemental des politiques de transports.

A la même période, l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) engage de nombreux travaux sur ce thème au sein du projet : « *Environmentally Sustainable Transport* ». Une conférence d'envergure est organisée à Vancouver en 1996. Elle aboutira à la définition des principes suivants pour l'atteinte d'un système de transport durable : amélioration de l'accès aux personnes, biens et services ; minimisation des méfaits

environnementaux (émissions, consommation d'énergies non renouvelables, déchets, bruit, etc.) ; limitation de la demande de transport physique ; limitation de l'étalement urbain ; mixité des fonctions urbaines ; développement des transports publics ; facilitation de l'usage des modes doux, protection des écosystèmes et des installations dédiées à la détente ; internationalisation économiques des externalités et étude des effets des décisions publiques en matière d'emplois et d'équité.

Au début des années 2000, trois grandes catégories de définitions peuvent être distinguées : économique, environnementale et tripolaire (CST, 2005). Deux définitions économiques ont particulièrement été utilisées : celle de Nelson et Shakow (1996) et celle de Schipper (1996). La première revient à appliquer un calcul de valeur actualisée nette, tel que réalisé dans l'analyse coûts-avantages, au système de transport dans sa globalité : « un système de transport durable est atteint lorsque le coût social, de marché et hors marché, total futur actualisé par habitant du système de transport est inférieur ou égal à celui d'une année de référence passée »⁵⁶. La seconde : « un système de transport où les bénéficiaires en payent les coûts sociaux complets, dont ceux payés par les générations futures, est durable » correspond à une internalisation économique complète des nuisances du système. Ces acceptions font l'objet de nombreuses critiques du fait de leur focalisation sur l'idée de coût et des difficultés d'estimation inhérentes, particulièrement à long terme.

Du côté des définitions environnementales, les documents de préparation de la conférence internationale de l'OCDE de 2000 formulent les propositions suivantes : « un système de transport durable environnementalement ne met pas en danger la santé publique et les écosystèmes et répond aux besoins d'accès en utilisant des ressources renouvelables en dessous de leur taux de régénération et des ressources non renouvelables en dessous du taux de développement de leurs substituts renouvelables »⁵⁶ et « un système de transport durable permet d'atteindre les objectifs en matière de santé et de qualité environnementale couramment admis, par exemple ceux concernant les polluants et le bruit proposés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et ne contribue ni au dépassement des charges et niveaux critiques définis par l'OMS concernant l'acidification, l'eutrophisation ou l'ozone, ni à des phénomènes de dégradation globaux comme le réchauffement climatique ou la disparition de la couche d'ozone »⁵⁶. Ces formulations rencontrent deux types de critiques : le fait d'être des définitions en creux, désignant ce que le système de transport ne doit pas être plutôt que ce qu'il doit être, et l'absence de référence aux générations futures (CST, 2005).

⁵⁶ Traduction de l'auteur

Finalement, la définition tripolaire, c'est-à-dire reprenant la caractérisation de la durabilité en trois dimensions : sociale, environnementale et économique, est la plus répandue et la plus communément acceptée (Gudmundsson et al., 2016). Elle s'est propagée mondialement à partir de la définition proposée par le *Centre for Sustainable Transport* (CST) en 1997. Un système de transport durable y est décrit comme un système (CST, 2005) :

- « qui permet aux particuliers et aux sociétés de satisfaire leurs principaux besoins d'accès d'une manière sécuritaire et compatible avec la santé des humains et des écosystèmes, et qui ne porte pas préjudice à notre génération ou aux générations future
- dont le coût est raisonnable, qui fonctionne efficacement, offre un choix de modes de transport et favorise une économie dynamique
- qui limite les émissions et les déchets de manière à ce que ceux-ci ne dépassent pas les capacités de la planète de les absorber
- réduit au minimum la consommation des ressources non renouvelables
- limite la consommation des ressources renouvelables dans le respect des principes de développement durable
- réutilise et recycle ses composantes et réduit au minimum le bruit et l'utilisation du sol.»

Le Conseil Européen adopte en 2001 une définition similaire. Des modifications marginales sont apportées : l'ajout du terme entreprises dans la première partie de la définition, l'utilisation du terme « économie compétitive », la formulation d'un objectif de développement régional équilibré et l'ajout de l'expression « des ressources renouvelables en dessous de leur taux de régénération et des ressources non renouvelables en dessous du taux de développement de leurs substituts renouvelables » (Gudmundsson et al., 2016).

Tableau 18 : Comparaison des définitions du concept de mobilité durable du CST (1997) et du Conseil Européen (2001) (Gudmundsson et al., 2016)

Table 4.1 CST and European Council definitions of sustainable transportation

Centre for Sustainable Transportation (CST)	European Council
<p>“A sustainable transportation system is one that:</p> <ul style="list-style-type: none"> – allows the basic access needs of individuals and societies to be met safely and in a manner consistent with human and ecosystem health and with equity within and between generations. – is affordable, operates efficiently, offers choice of transport mode, and supports a vibrant economy. – limits emissions and waste within the planet’s ability to absorb them, minimizes consumption of non-renewable resources, limits consumption of renewable resources to the sustainable yield level, reuses and recycles its components, and minimizes the use of land and the production of noise” (CST 1997, p. 1). 	<p>“THE COUNCIL . . . RECOGNISES, that there is a need for further action in order to attain a sustainable transport system defined as one that</p> <ul style="list-style-type: none"> – allows the basic access and development needs of individuals, <i>companies</i> and societies to be met safely and in a manner consistent with human and ecosystem health, and promotes equity within and between successive generations; – is affordable, operates fairly and efficiently, offers choice of transport mode, and supports a <i>competitive economy, as well as balanced regional development</i>; – limits emissions and waste within the planet’s ability to absorb them, <i>uses renewable resources at or below their rates of generation, and, uses non-renewable resources at or below the rates of development of renewable substitutes</i> while minimising the impact on the use of land and the generation of noise” (European Council 2001, pp. 15–16).

La durabilité du système de transport devient un objectif affirmé de l’UE, une référence centrale des « Livres blancs » des transports de l’UE de 2001 et 2011, qui fixent le cadre de l’action dans le domaine à l’échelle du continent. Dans le premier, l’objectif de durabilité est principalement associé à un « rééquilibrage » des modes de transport, soit la limitation de l’hégémonie du transport routier, l’internalisation économique des externalités négatives, la diminution du volume de déplacements et le recours à l’innovation technologique pour intégrer, optimiser et sécuriser le système de transport. Le second affirme l’impossibilité de la poursuite de la dynamique de développement actuelle du secteur, propose un discours plus étayé sur la tarification et l’internalisation des externalités, et confirme les objectifs de report modal et de renouvellement de l’aménagement de l’espace public. De nouveau, le rapport met avant tout en exergue l’opportunité de solutions technologiques : efficacité des véhicules, nouvelles énergies et optimisation de l’utilisation des réseaux, dans un esprit de « compétitivité » de l’industrie européenne et d’indépendance énergétique. Le second livre blanc marque toutefois un tournant, celui du rejet de l’objectif de diminution de la quantité de déplacements : « Freiner la mobilité n’est pas une option » (Conseil Européen, 2011).

Pour clore ce panorama sur la diffusion du principe de système de transport durable, l’évocation de deux documents récents européens nous paraissent d’intérêt, l’un concerne l’échelle continentale : le Pacte vert européen (2019) et l’autre l’échelle urbaine : « *Guidelines for developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan* » (GDISUMP) (2019). Ils présentent deux visions de la place des transports dans la perspective d’un développement durable, « holistique » pour la première et centrée sur le secteur des transports pour la

seconde. Le Pacte vert pour l'Europe désigne la durabilité dans les transports comme une transition vers des alternatives plus abordables, plus accessibles, plus saines et plus propres. Les principaux objectifs affichés sont la réduction de 50% des émissions polluantes issues des transports d'ici 2050, le déploiement d'un réseau de bornes de recharge, le développement de carburants alternatifs, l'amélioration des transports en commun, la promotion des modes actifs, le développement de la multimodalité, l'internalisation des externalités négatives et l'utilisation de technologies de gestion de la circulation. Dans le *GDISUMP*, la durabilité des transports urbains s'inscrit dans la démarche de planification. L'emphase porte donc sur la procédure, la dépendance au contexte et la participation des parties prenantes. Ce cadre se veut la concrétisation d'un changement de paradigme, où la focale se reporte de la circulation aux individus, de la capacité routière et la vitesse à l'accessibilité et la qualité de vie et où tous les modes, ainsi que tous les moyens d'action sont pris en compte dans le cadre d'une vision à long terme. Les approches de la durabilité des transports à des échelles géographiques larges s'inscrivent dans une approche « holistique », alors que le niveau urbain est davantage celui de la formulation d'objectifs propres au système de transport local, notamment à travers des directives en matière d'aménagement.

La conceptualisation du principe de mobilité durable

Du point de vue conceptuel, l'article : « *The sustainable mobility paradigm* » de Banister (2008) constitue une référence majeure pour la définition de la mobilité durable. L'article met en avant la nécessité des changements suivants dans la planification des transports : élimination de l'objectif de minimisation du temps de transport pour privilégier sa fiabilité, priorité à l'expérience de déplacement sur l'optimisation de la circulation automobile et organisation spatiale adéquate, centrée sur la proximité et la qualité de l'espace public. Plus largement, il s'agit de faire évoluer la représentation de la place des transports, en s'éloignant de la contribution à l'activité économique. Ce canevas amène Banister à proposer des actions dirigées vers la diminution de la demande de transport, la diminution des distances parcourues, l'amélioration de l'efficacité grâce aux technologies et la favorisation des modes actifs, particulièrement à travers un aménagement urbain pensé autour de la proximité.

Tableau 19 : Comparaison de l'approche de planification des transports classique avec l'approche de la mobilité durable (Banister, 2008)

The conventional approach— transport planning and engineering	An alternative approach—sustainable mobility
Physical dimensions	Social dimensions
Mobility	Accessibility
Traffic focus, particularly on the car	People focus, either in (or on) a vehicle or on foot
Large in scale	Local in scale
Street as a road	Street as a space
Motorised transport	All modes of transport often in a hierarchy with pedestrian and cyclist at the top and car users at the bottom
Forecasting traffic	Visioning on cities
Modelling approaches	Scenario development and modelling
Economic evaluation	Multicriteria analysis to take account of environmental and social concerns
Travel as a derived demand	Travel as a valued activity as well as a derived demand
Demand based	Management based
Speeding up traffic	Slowing movement down
Travel time minimisation	Reasonable travel times and travel time reliability
Segregation of people and traffic	Integration of people and traffic

L'interprétation du concept de mobilité durable reste toutefois variable et a évolué depuis le début des années 1990. Holden et al. (2019) proposent une étude de cette évolution à partir des contributions académiques et des documents-cadre de l'UE émis depuis lors. Ils retracent particulièrement les différents objectifs affiliés à cette notion. Quatre orientations sont distinguées. Lors des premières années, de 1992 à 1993, la durabilité des transports est associée à une réduction du volume de transport, soit du nombre total de kilomètres parcourus, dans l'objectif de réduire la consommation de ressources et la pollution. Cette compréhension est rapidement écartée, l'idée d'efficience, entendue comme une diminution de la consommation et de la pollution à volume de transport égal, est alors davantage mise en avant. Une conceptualisation dominante jusqu'à aujourd'hui, à laquelle s'adjoignent différentes priorités selon les périodes. Ainsi, de 2000 à 2010, les objectifs de réduction de la pollution locale, de diminution de la congestion et d'amélioration de la qualité de vie deviennent centrales, et ainsi la réduction de l'utilisation de la voiture en ville. La période 2010-2018 est quant à elle marquée par les enjeux d'indépendance énergétique et de « décarbonation ».

Ainsi, deux principales dynamiques sont retracées par Holden et al. (2019), d'une part l'élargissement thématique du concept, avec le passage d'une focalisation sur la consommation d'énergie et la pollution à des éléments portant notamment sur la qualité de vie, d'autre part, l'opposition entre réduction du nombre de déplacements et amélioration de

l'efficacité, particulièrement énergétique. Cette dernière correspond à une opposition notable s'agissant de la stratégie à adopter pour l'atteinte d'un système de transport durable. Une dichotomie décrite par Sultana (2017) en ces termes : d'un côté le « *Sustainable Transport Technology* » qui suppose de conserver des habitudes de déplacements identiques en consommant moins de ressources et en générant moins de déchets, de l'autre le « *Sustainable Travel Behavior and Built Environment* » qui propose de modifier les choix de mobilité, notamment grâce à des changements de l'environnement bâti. Dans le premier cas, les solutions technologiques sont privilégiées : véhicules moins consommateurs d'énergie, modes de propulsion alternatifs ou encore systèmes d'optimisation de la circulation. Dans le second cas, ce sont les politiques publiques et les investissements affectant les qualités relatives des différents modes et l'organisation spatiale qui sont préférés : densification, amélioration de l'accessibilité aux transports collectifs et aux modes actifs, réduction de l'espace de stationnement ou encore augmentation de la fiscalité associée à la voiture personnelle. Cette seconde formulation suppose un lien consubstantiel avec le territoire et tranche avec l'idée de solutions extérieures miraculeuses (Sultana, 2017).

Ces logiques transparaissent également dans l'analyse de Holden et al. (2020), qui décrit neuf modèles d'actions dans le domaine de la durabilité des transports : 1) le gouvernement vert, qui régule, fixe des standards, subventionne et taxe ; 2) le fournisseur de transports publics, où la puissance publique finance un réseau important et accessible à tous ; 3) la ville compacte, où la structure urbaine est planifiée ; 4) l'acheteur vert : les individus choisissent une option de mobilité moins polluante tout en conservant leurs habitudes de mobilité ; 5) le voyageur responsable : les individus choisissent une mobilité plus durable ; 6) le retour à l'essentiel : les individus redéfinissent leurs besoins de mobilité à la baisse ; 7) le véhicule propre : les entreprises font le choix de produire des véhicules plus vertueux ; 8) les mobilités partagées : les entreprises développent des solutions permettant de se détacher de la possession automobile et 9) les « électrons voyageurs » : les activités physiques sont réduites au profit de la communication au travers des TIC. Ces modèles correspondent ainsi à différentes configurations des stratégies et relations de pouvoir de trois types d'agents : pouvoirs publics, entreprises et citoyens. A partir de ce constat, Holden et al. (2020) projettent trois modèles de systèmes de transport durables, qui ne sont pas forcément incompatibles ou antinomiques, mais portés par des dynamiques et des acteurs différents : l'électromobilité, qui associe les stratégies de gouvernement vert, d'acheteur vert et de véhicules propres ; les transports en commun 2.0, qui supposent de nouvelles options de mobilité et un détachement des individus de la possession automobile, et la société faiblement mobile. Quelle que soit la portée prédictive de cette synthèse, elle forme un résumé des modes d'action envisagés autour de l'atteinte de la durabilité dans le domaine des transports.

Un concept opérationnalisé dans le cadre de mesure de l'évaluation

Après cette présentation des différentes significations de la notion de système de transport durable, et par-là des objectifs et politiques publiques associés, il est temps de considérer sa transcription concrète dans l'évaluation. Considérant la préférence pour l'analyse multicritères de l'évaluation durable, les impacts couramment étudiés et les ensembles d'indicateurs correspondants sont d'importance. Ils sont significatifs de l'interprétation et de l'opérationnalisation du concept (Gilmour, 2011 ; Litman et Burwell, 2006 ; Nadi et Murad, 2017). Conformément à l'extension du nombre de facteurs pris en compte dans la définition de la mobilité durable, Holden et al. (2019) constatent une expansion du nombre d'impacts traités par l'évaluation. Aux seules conséquences environnementales, s'ajoutent progressivement les incidences sur la qualité de vie (1993-2000), les impacts économiques, particulièrement à travers l'accessibilité (2000-2010), et plus récemment la qualité de l'environnement local et la santé humaine, par la prise en compte de la qualité de l'air ou des effets de l'activité physique liés à l'utilisation des modes de transport actifs.

Les revues de littérature récentes sur le sujet (Alonso et al., 2015 ; Sioui, 2014 ; Gillis et al., 2015 ; Nadi et Murad, 2017 ; Litman, 2019b), mais aussi plus anciennes (Jeon et Amekudzi, 2005 ; Litman et Burwell, 2006), s'accordent sur la grande variabilité des ensembles d'indicateurs utilisés. Cette dernière s'expliquerait par l'influence du contexte géographique, des problèmes de durabilité étudiés et de la disponibilité des données. Il est ainsi difficile de proposer un ensemble d'indicateurs générique (Gudmundsson et al., 2016). Avant de proposer une liste large des impacts et indicateurs examinés pour l'étude de la durabilité des transports, nous dégageons les principales logiques présidant à la constitution de ces ensembles. Nous utilisons la typologie proposée par Jeon et Amekudzi (2005), en y intégrant les apports des études récentes :

- Une définition selon une catégorisation des critères *a priori* (*Impacts-Based Frameworks*), la plus courante.
 - o Au sein de cette catégorie, la classification tripolaire est la plus habituelle. La définition de la mobilité durable correspond alors à des objectifs portant sur les dimensions économique, environnementale et sociale. Le volet environnemental se concentre sur la consommation de ressources, les émissions et les déchets ; le volet social sur l'accès financier, l'équité et la santé humaine et le volet économique sur le dynamisme des échanges et la sécurité. Elle sert de base pour la constitution d'ensembles d'indicateurs dans de nombreux travaux (de Freitas

Miranda et da Silva, 2012 ; Haghshenas et Vaziri, 2012). Toutefois, cette formulation tripolaire fait l'objet de diverses utilisations, parfois éloignées de cette définition. Gudmundsson et al. (2016) relatent ainsi l'utilisation de la formulation en trois E : « Economie, Environnement et Energie » dans les années 1970, qui s'est transformé en « Economie, Environnement et Ethique ou Equité » dans les années 1990, le thème énergétique se trouvant intégré à celui de l'environnement. Ainsi, alors que les dimensions environnementale et économique semblent faire consensus, la dimension sociale est sujette à deux principales interprétations, d'un côté l'idée d'équité et de justice sociale (Holden et al. 2017) et de l'autre celle de qualité de vie (Litman et Burwell, 2006).

- La classification quadripolaire. Les trois dimensions classiques de la durabilité sont conservées, mais une quatrième, le plus souvent : « performance du système de transport » (Gillis et al., 2015 ; Jeon et Amekudzi, 2005) et parfois « gouvernance » (Litman, 2019b) est ajoutée.
- Selon cinq dimensions, aussi dénommées les cinq E, pour : « Environnement, Energie, Economie, Emplois et Equité » (Ashford et Hall, 2011, cités par Gudmundsson et al., 2016). Cette catégorisation est motivée par l'importance de la dimension énergétique dans le système de transport et la nécessité d'une différenciation entre mesures économiques et mesures dédiées à l'emploi.
- Selon un nombre de thématiques variables, significatives de différentes colorations de la durabilité, principalement : performance du réseau de transport et dimension environnementale (EEA, 2002 ; Nicolas et al., 2003) ; performance du réseau de transport, dimension environnementale et dimension sociale (UNECE, 2011) et performance du réseau de transport, dimension environnementale et dimension économique (ESCAP, 2017).

Le nombre d'indicateurs peut être particulièrement important, en vue de couvrir un maximum d'enjeux. Holden et al. (2013) critiquent cette expansion qui menacerait le concept de durabilité de dilution. Ils suggèrent de revenir aux principes de *Brundland* en se concentrant sur la durabilité environnementale de long terme, la satisfaction des besoins, l'équité intragénérationnelle et l'équité intergénérationnelle. Les indicateurs suivants sont proposés : quantité d'énergie dédiée aux transports par personne par jour (5,6 kWh maximum), distance parcourue par personne grâce à un mode motorisé par jour (9,2 kilomètres minimum), *Public Transport Accessibility Level (PTAL)* (PTAL 3 minimum) et part des énergies renouvelables dans l'énergie totale dédiée aux transports (15% minimum).

- Une définition selon les liens de causalité (*Linkages-Based Frameworks*).

La seconde manière de définir un ensemble d'impacts et d'indicateurs à étudier consiste à considérer les liens de causalité connus du système étudié. Les méthodes « *Pressure-State-Response* », développée par l'OCDE, et « *criterion-influences-actions-measures* », définie par le « *Ontario RoundTable on Environment and Economy* » sont les plus utilisées (Jeon et Amekudzi, 2005). Plus récemment, Sioui (2014) propose une approche systémique fondée sur la représentation du système de transport de Richardson (2005). Sioui (2014) met en avant l'intérêt de ces méthodes en vue de traiter des effets non désirés et des interactions entre indicateurs.

- Une définition selon les moyens d'influence (*Influence-Oriented Frameworks*)

Selon cette méthode, les ensembles d'impacts et d'indicateurs sont déterminés selon les facteurs sur lesquels l'institution à l'origine de l'analyse peut exercer une influence et l'intensité de cette dernière. *Transport Canada* a développé la méthode la plus aboutie en la matière (Jeon et Amekudzi, 2005).

- Une définition procédurale

L'approche procédurale consiste à mettre en place un processus de participation qui intègre les parties prenantes, leur vision de la durabilité, ainsi que des méthodes de consensus. Les « *Guidelines for developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan* » (2019) citées précédemment constituent une proposition de ce type, qui dépasse d'ailleurs la seule production d'un ensemble d'indicateurs.

Après cette revue des principales méthodes de définition d'un ensemble de critères et d'indicateurs, voyons quels sont les impacts les plus couramment étudiés dans le cadre de la durabilité des transports. Nous utilisons pour ce recensement les états de l'art disponibles (Alonso et al., 2015 ; Sioui, 2014 ; Gillis et al., 2015 ; Nadi et Murad, 2017 ; Litman, 2019b ; Jeon et Amekudzi, 2005 ; Litman et Burwell, 2006). Selon Jeon et Amekudzi (2005), les impacts les plus communément étudiés sont la sécurité routière, les émissions polluantes et la consommation d'énergie des véhicules. Alonso et al. (2015)⁵⁷ repèrent également ces deux premiers éléments mais notent également le coût pour l'usager, les dépenses publiques dédiées aux transports en commun et la consommation d'espace des infrastructures. Finalement, Nadi et Murad (2017) constatent la récurrence des thèmes de la sécurité, des émissions de polluants et de gaz à effet de serre, de la consommation d'espace des

⁵⁷ Alonso et al. (2015) répertorient les travaux suivants : Newmann et Kenworthy (1999) ; Nicolas et al. (2003) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Zegras (2006) ; Savelson et al. (2006) ; Zhang et Guindon (2006) ; Litman (2009) ; Tanguay et al. (2010) ; Zito et Salvo (2011) ; Haghshenas et Vaziri (2012) et Santos et Ribeiro (2013)

infrastructures, de la congestion et de la pollution sonore. Ainsi, il semble que les thèmes de la sécurité, des émissions de polluants et de gaz à effet de serre, et plus récemment de la consommation d'espace des infrastructures soient les plus étudiés dans l'évaluation de la durabilité des transports.

Nous présentons dans le tableau ci-dessous les critères de durabilité du système de transport rencontrés et les indicateurs correspondants. La synthèse proposée tente autant que possible d'être fidèle à la catégorisation des contributions utilisées. En cas de différence, nous adoptons le classement majoritaire. Nous distinguons ainsi cinq dimensions : environnementale, sociale, économique, système de transport et gouvernance. Certains indicateurs peuvent apparaître dans plusieurs dimensions, comme par exemple l'accessibilité à l'emploi, qui correspond à l'accès à l'emploi pour les habitants à la dimension sociale et à la disponibilité de la main d'œuvre pour les entreprises à la dimension économique. Plus généralement, la dimension « système de transport », largement présente dans les ensembles d'indicateurs, pourrait être considérée comme une couche d'indicateurs intermédiaires, s'attachant à une ou plusieurs des autres dimensions. Cette variabilité des classifications rejoint l'approche duale décrite précédemment, entre définition d'un système de transport durable en lui-même, qui nécessite des indicateurs propres en vue de mesurer ou de formuler des politiques publiques dédiées, et une vision plus large de la contribution du secteur à la durabilité. Notre synthèse propose avant tout une vue d'ensemble des critères et indicateurs couramment utilisés, et, en ce sens, ne constitue pas un ensemble d'indicateurs cohérent, mais plutôt un soubassement utile à une sélection catégorielle des critères et indicateurs d'évaluation.

Tableau 20 : Synthèse des critères et indicateurs mobilisés dans l'évaluation durable des transports

Critère	Indicateurs	Source(s)
Environnementaux		
Emissions de polluants	<ul style="list-style-type: none"> -CO -VOC -NOx -Particules -SO2 -Ozone 	Nadi et Murad (2017) ; Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Gudmundsson et al. (2016) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b) ; Litman et Burwell (2006)
Emissions de gaz à effet de serre	<ul style="list-style-type: none"> -CO2 -CFC -CH4 	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b) ; Litman et Burwell (2006) ; Gudmundsson et al. (2016)
Pollution sonore	<ul style="list-style-type: none"> - Part de la population exposée à des niveaux de bruit élevés dus au trafic automobile 	Nadi et Murad (2017) ; Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Gudmundsson et al. (2016) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b) ; Litman et Burwell (2006)
Pollution lumineuse		Sioui (2014)
Consommation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> -Consommation de carburants fossiles -Consommation d'énergie par habitant 	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Gudmundsson et al. (2016) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b) ; Jean et Amekudzi (2005)
Consommation de ressources	<ul style="list-style-type: none"> -Consommation de ressources renouvelables -Consommation de ressources non renouvelables 	Sioui (2014) ; Gudmundsson et al. (2016)

Recyclage		Gudmundsson et al. (2016) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Consommation d'espace	-Espace occupé par les infrastructures de transport	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al., (2015) ; Sioui (2014) ; Litman et Burwell (2006) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Etalement urbain	-Consommation d'espace dédiée au logement -Consommation d'espace dédiée aux activités économiques	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Sioui (2014)
Santé des écosystèmes (habitat, faune et flore)	-Fragmentation des habitats naturels -Dégradation des zones humides -Dégradation des forêts	Sioui (2014) ; Litman (2019b) ; Litman et Burwell (2006) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Dégradation patrimoine bâti, site, paysage		Sioui (2014)
Résilience à des crises environnementales		Gillis et al. (2015)
Sociaux		
Sécurité	-Nombre de blessés -Nombre de tués -Nombre d'accidents -Nombre d'accidents impliquant des utilisateurs vulnérables de la route	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015); Gudmundsson et al. (2016) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Equité d'accès aux services de transport	-Qualité d'accès pour les personnes vulnérables (non-conducteurs, personnes âgées, PMR) -Qualité d'accès en zones périurbaines et rurales	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Accessibilité financière	-Part du transport dans les dépenses des ménages pour les 20% des ménages les plus défavorisés -Part des ménages à faible revenu dépensant plus de 20% de leur budget au poste des transports -Accessibilité financière aux transports publics pour les plus défavorisés	Alonso et al. (2015) ; Gillis et al. (2015) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b)

Accès à l'emploi	-Accessibilité spatiale aux emplois	Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Accès aux biens, ressources et services	-Accessibilité spatiale aux services publics	Gudmundsson et al. (2016) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Qualité de l'environnement local	-Qualité des espaces publics -Mixité des fonctions urbaines -Marchabilité et cyclabilité	Gillis et al. (2015) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Activité physique	-Part de la population marchant ou utilisant un vélo régulièrement	Sioui (2014) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Santé publique	-Nombre de décès dus à la pollution	Sioui (2014) ; Litman et Burwell (2006)
Exposition aux polluants	-Part de la population exposée à un niveau excessif de pollution de l'air	Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b)
Equité environnementale	-Exposition aux polluants selon les caractéristiques individuelles -Exposition au bruit selon les caractéristiques individuelles	Joumard et Nicolas (2010) ; Gudmundsson et al. (2016) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Résilience à des crises sociales		Gillis et al. (2015)
Economiques		
Activité économique	-Disponibilité et flexibilité de la main d'œuvre du fait du niveau d'accessibilité -Compétitivité des entreprises locales	Nadi et Murad (2017) ; Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Litman (2019b) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman et Burwell (2006) ; Sioui (2014)
Dépenses publiques	-Dépenses d'investissement et de fonctionnement dédiées aux infrastructures routières et à la gestion de la circulation -Dépenses dédiées aux zones de stationnement -Dépenses dédiées aux transports publics	Gillis et al. (2015) ; Alonso et al. (2015) ; Litman et Burwell (2006) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005)

Dépenses individuelles en transports	-Frais fixes -Frais variables -Evolution des prix réels des transports	Alonso et al. (2015); Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Représentativité des prix	-Degré d'intégration des coûts sociaux et environnementaux	Litman et Burwell (2006) ; Gudmundsson et al. (2016) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Emplois	-Création d'emplois	Gudmundsson et al. (2016) ; Jeon et Amekudzi (2005)
Systeme de transport		
Demande de transport	-Passager-kilomètres -Véhicule-kilomètres -Distance moyenne de transport	Jeon et Amekudzi (2005) ; Alonso et al. (2015) ; Gillis et al. (2015) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Temps de transport	-Fiabilité du temps de transport -Congestion	Jeon et Amekudzi (2005) ; Alonso et al. (2015) ; Gillis et al. (2015) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Déplacements automobiles	-Part modale de la voiture individuelle -Taux d'occupation des véhicules -Composition du parc (dont part des véhicules à faible émission) -Taux de motorisation	Jeon et Amekudzi (2005) ; Alonso et al. (2015) ; Gillis et al. (2015) ; Litman et Burwell (2006) ; Litman (2019b)
Déplacements grâce aux modes actifs	-Part modale de la marche à pied -Part modale du vélo -Nombre de services clés accessibles à pied -Disponibilité de pistes cyclables -Disponibilité d'espaces piétons	Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman (2019b)

<p>Déplacements grâce aux transports en commun</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Part modale des transports en commun -Densité des transports en commun -Qualité des transports en commun -Part de la population disposant d'un accès aux transports en commun dans un rayon de 500 mètres 	<p>Alonso et al. (2015) ; Sioui (2014) ; Jeon et Amekudzi (2005)</p>
<p>Intermodalité</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Part des déplacements comprenant deux modes ou plus -Intégration intermodale 	<p>Litman (2019b)</p>
<p>Gouvernance</p>		
<p>Gestion transparente et participative</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Objectifs définis et clairs -Disponibilité des informations et des documents de planification -Part de la population engagée dans les décisions concernant les transports et l'aménagement -Largesse des thèmes considérés 	<p>Litman (2019b) ; Jeon et Amekudzi (2005) ; Litman et Burwell (2006)</p>

Nous abordons à présent le thème de l'évaluation des innovations technologiques, poursuivant notre volonté de formalisation et d'enrichissement de la définition du cadre de mesure pour l'évaluation du VA. Nous nous penchons particulièrement sur la place des technologies dans la durabilité des transports. Un rôle que nous avons déjà brièvement évoqué du fait de l'existence d'un positionnement récurrent supposant l'atteinte d'un système de transport durable grâce au recours à de nouvelles technologies.

5.2.2. L'évaluation durable des innovations technologiques, des indicateurs dépendants du secteur d'application

Les innovations technologiques : un rôle ambivalent vis-à-vis du développement durable

L'innovation technologique et le développement durable sont intrinsèquement liés (Small et Jollands, 2006 ; Djellal et Gallouj, 2009). En effet, comme nous avons pu l'évoquer, les mouvements écologistes contemporains se sont agencés à partir de la dénonciation des dégâts environnementaux causés par l'économie industrielle et les accidents technologiques. En effet, les technologies dédiées à l'industrie forment le principal instrument d'exploitation intensive des ressources (Djellal et Gallouj, 2009).

Les technologies sont toutefois majoritairement envisagées positivement dans le cadre du développement durable. Patris et al. (2001) identifient trois manières dont la contribution positive de l'innovation technologique au développement durable est pensée. Dans le premier cas, elle est vue comme un moyen de fournir des solutions techniques capables de limiter les problèmes environnementaux posés par la production et la consommation. Ces technologies sont majoritairement additives, de type « bout de chaîne » ou « *end-of-pipe* ». Dans le second cas, les technologies permettraient de réduire la quantité de ressources nécessaires à production, de produits ou de services, constante. Un principe aussi nommé éco-efficience. Dans ce cas, les technologies mobilisées sont dites intégrées, par opposition à celles décrites dans la première conception exposée, dites additives. Le recours aux technologies de l'information et de la communication entre dans cette catégorie. En effet, celles-ci sont généralement considérées comme opportunes du fait de leur capacité à remplacer des activités physiques alors qu'elles montrent un « *Material Input per Unit of Service* » (MIPS) plus faible (Djellal et Gallouj, 2009). Cet indicateur, créé par l'Institut Wuppertal en 1998, mesure la quantité de matières nécessaires à la réalisation d'un service (Spangenberg et al., 1999). Dans le dernier cas, les technologies sont sollicitées pour permettre le fonctionnement de la production selon trois principes : le « bouclage des cycles de vie », soit la minimisation

des rejets sur l'ensemble du cycle de vie du bien ou service ; l'enchaînement des cycles de vie, ou la valorisation des déchets, et la limitation de l'entropie, c'est-à-dire l'amélioration de la productivité des ressources et des rendements énergétiques (Patris et al., 2001 ; Diemer, 2012). Cette dernière vision renvoie au concept d'écologie industrielle, évoqué précédemment (Diemer, 2012).

Ces visions quant au rôle des technologies dans le développement durable rencontrent de nombreuses critiques. Elles portent principalement sur l'efficacité du principe d'éco-efficience, considérant les effets rebond, et sur l'intérêt de la dématérialisation.

L'éco-efficience, entendue comme amélioration de l'efficacité de l'utilisation des ressources pour la production grâce à de nouvelles technologies, est remis en question par l'existence d'effets dits « rebond », phénomène également désigné sous le terme de « paradoxe de Jevons ». Cette expression fait référence à William Stanley Jevons (1835-1882), économiste britannique, qui mit en avant l'augmentation de la consommation de charbon engendrée par le remplacement de la machine à vapeur de Thomas Newcomer par celle de James Watt, pourtant plus efficace. Trois types d'effets rebond sont couramment distingués : directs, indirects et macroéconomiques. Les effets rebond directs correspondent, dans le cas des ménages, à une augmentation de la consommation du bien ou du service dont le prix a baissé du fait des gains obtenus grâce à l'innovation technologique, et, dans le cas des entreprises, à l'accroissement du niveau de production à coûts constants du fait de ces mêmes gains. Les effets rebond indirects consistent quant à eux, dans le cas des ménages, à la réaffectation des gains monétaires ou temporels réalisés à la consommation d'autres biens et services, eux-mêmes consommateurs de ressources, et dans le cas des entreprises à deux processus : la consommation de ressources liées à la mise en œuvre des nouvelles techniques mobilisées et les ressources consommées par les autres *inputs* mobilisés dans l'augmentation de la production. Ces effets microéconomiques peuvent se combiner et donner lieu à des effets rebond macroéconomiques selon trois modalités : une diminution des prix de marché, entraînant une augmentation générale de la demande ; des effets dits composites, où les biens et services issus des secteurs dont les processus de production ont bénéficiés des gains apportés par les innovations technologiques sont favorisés par les consommateurs et des effets sur la croissance économique, du fait des gains de productivité réalisés et de l'augmentation de la consommation (Diemer, 2012 ; Flipo et al., 2016). Les effets rebonds sont dits structurels lorsqu'une réduction générale des prix des biens intermédiaires et finaux entraîne des changements dans les modes de production et de consommation.

La seconde critique majeure s'agissant de l'intérêt de l'innovation technologique pour le développement durable concerne les potentialités de la dématérialisation, de la virtualisation des activités (Diemer, 2012 ; Hilty et Aebischer, 2015). De fait, les TIC n'ont pas été conçues à des fins environnementales et constituent avant tout une nouvelle « révolution industrielle » (Flipo et al., 2016). Leur généralisation fait apparaître leur poids de plus en plus important dans la consommation énergétique, une consommation importante de métaux et un faible recyclage des équipements (Petit, 2009 ; Flipo et al., 2016). De plus, les hypothèses de dématérialisation des systèmes et de réduction de la mobilité physique ne se vérifient pas dans les faits. La synthèse récente des recherches menées dans les cas de la visioconférence, du *e-paper* et du télétravail de Flipo et al. (2016) concluent ainsi à une « abstraction du contexte sociétal » dans les analyses passées du potentiel des TIC.

Le rôle accordé aux technologies dans la perspective du développement durable est ainsi ambivalent. Elles sont en effet à la fois considérées comme à l'origine de la dégradation environnementale à l'œuvre du fait de leur utilisation pour l'exploitation des ressources et comme de potentielles solutions aux problèmes environnementaux, même si ce statut salvateur s'effrite progressivement (Beder, 1994 ; Patris et al., 2001 ; Djellal et Gallouj, 2009 ; Diemer, 2012).

L'évaluation durable d'une innovation technologique, un renvoi au secteur d'application

Au-delà de ces visions sur la place des technologies dans le développement durable, peut-on individuellement qualifier une nouvelle technologie de « durable » ? Une définition se dégage : « un procédé ou un produit permettant de réduire les dommages environnementaux (diminution de la pollution, utilisation de matériaux moins polluants ou moins consommateurs d'énergie, diminution de la consommation de ressources, de matériaux et d'énergie) » (traduction de l'auteurice, Fu et al., 2018). Elle se trouve dans le prolongement de celle d'innovation environnementale ou éco-innovation : « toutes mesures prises par les acteurs concernés (entreprises, puissance publique, associations, individus, etc.), qui développent, appliquent ou introduisent de nouvelles idées, comportements, produits et procédés qui contribuent à la réduction de la charge environnementale ou à l'atteinte d'objectifs écologiques spécifiques » (traduction de l'auteurice, Rennings, 2000). Le PNUE différencie quatre catégories d'innovations technologiques durables, correspondant à différents objectifs : réduction des émissions de CO₂, substitution à l'utilisation de carburant ou de matériaux, efficacité énergétique ou matérielle et recyclage (Fu et al., 2018). Cependant, la vocation

environnementale d'une innovation ne garantit pas sa durabilité, si l'on élargit la définition de la durabilité au-delà de sa dimension environnementale d'une part, mais également du fait de la présence d'effets rebonds, présentés précédemment.

En tout état de cause, les évaluations durables « générales », s'appliquant à tout type d'innovations, sont rares. Les cadres de mesure se déclinent davantage au secteur dans lequel s'inscrit la technologie étudiée (Horbach, 2013). Deux documents-cadre récents, plutôt destinés aux praticiens, tiennent de tout de même de cette démarche, l'un émis par le PNUE en 2012 : « *Application of the sustainability assessment of technologies methodology : Guidance Manual* », et l'autre dans le cadre du projet européen Prosuite (2009-2013) : « *Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of next technologies* » (Blok et al., 2013).

La première est dédiée aux innovations environnementales. Une série d'étapes liminaires vise à définir les problèmes à résoudre et à effectuer un panorama des technologies disponibles potentiellement adéquates. Les technologies sont évaluées selon quatre catégories : faisabilité technique, environnement, économie et aspects sociaux et culturels.

Tableau 21 : Ensemble d'indicateurs pour l'évaluation d'une innovation durable (PNUE, 2012, traduction de l'auteurice)

Faisabilité technique	Environnement
Compatibilité avec les conditions naturelles locales (climat, topographie)	Utilisation de ressources
Utilisation de matériaux locaux	Consommation d'espace
Disponibilité d'une expertise locale	Consommation d'énergie
Performances de la technologie	Utilisation d'énergies renouvelables
Compatibilité avec la situation actuelle (autres technologies, système de gestion)	Utilisation de déchets comme <i>inputs</i>
Adaptabilité aux situations futures	Consommation d'eau
Stabilité du fonctionnement de la technologie	Consommation de matières premières
Niveau d'automatisation / de sophistication	Emissions
Risques pour la santé et la sécurité	Odeurs
Risques pour l'environnement	Utilisation de matières dangereuses
Economie	Bruit et vibrations
Investissement en capital	Aspects sociaux et culturels
Coûts de fonctionnement	Acceptabilité
Avantages (énergie, terres récupérées, etc.)	Étendue de l'aide nécessaire à la réinstallation et la réinsertion des personnes
Viabilité économique	Génération de revenus

Le second cadre, issu du projet Prosuite, ne fonctionne pas sur le modèle de la résolution de problèmes. Il s'applique à une innovation technologique en considérant comme situation de référence une technologie existante, fournissant un produit ou un service comparable. Il utilise un ensemble de cinq critères : santé humaine, bien-être social, prospérité, environnement naturel et ressources épuisables.

Tableau 22 : Ensemble d'indicateurs pour l'évaluation durable des innovations technologiques
(Prosuite, 2013, traduction de l'auteurice)

Santé humaine	Bien-être social
Santé au travail	Sûreté, sécurité et tranquillité
-Accidents au travail	-Emplois qualifiés
-Accidents mortels au travail	-Emploi total
-Maladies professionnelles	-Possibilité de mauvaise utilisation
-Travail des enfants	-Perception du risque
-Travail forcé	Egalité
Impacts environnementaux sur la santé humaine	-Inégalités de revenus régionales
- Changement climatique	-Inégalités globales
-Appauvrissement de l'ozone	Participation et influence
-Toxicité	-Confiance dans l'information sur le risque
-Radiation ionisante	-Participation des parties prenantes
Prosperité	Environnement naturel
Impacts sur la productivité du travail, du capital et des ressources	-Acidification des terres
-Investissement en capital	-Utilisation d'eau
-Coûts de fonctionnement	-Utilisation du sol
-Coûts liés à la fin de vie	-Eutrophisation, terrestre et marine
Ressources épuisables	-Ecotoxicité, terrestre, eaux douces et marine
-Extraction de minéraux	
-Extraction de carburants fossiles	

Ces « cadres de mesure » se différencient dans la manière dont ils envisagent la technologie dans la démarche évaluative. Le premier fonctionne sur le mode de la résolution de problèmes et ne peut s'appliquer qu'à des technologies disponibles. La seconde est conçue dans le sens d'une comparaison entre une technologie nouvelle et une technologie existante. Les ensembles d'indicateurs proposés montrent une inclinaison environnementale marquée. Des critères dédiés au fonctionnement de la technique, à sa performance, sont également présents. Les indicateurs économiques se concentrent quant à eux sur les nécessités d'investissement et les coûts de fonctionnement. La question de l'emploi, des évolutions de sa nature et de sa quantité, ainsi que des conditions de travail sont également considérés.

Le nombre de référence « générales » limité en matière d'évaluation durable des technologies montrent la prééminence du domaine d'application s'agissant de la définition d'un cadre de mesure significatif. Ainsi, la prochaine et dernière rubrique de cette partie sera consacrée au rôle des innovations technologiques dans la durabilité du système de transport.

Innovations technologiques et durabilité des transports, entre statut providentiel et évolution réelle des comportements

Trois sous-systèmes constitutifs de celui des transports sont couramment distingués : moyens de transport, infrastructures et système énergétique. Considérant notre objet d'étude ainsi que la multiplicité et la variété des technologies disponibles dans chacun d'eux, nous nous focalisons sur les moyens et infrastructures de transport routier de personnes. A ce titre, nous nous préoccupons des technologies propres à trois sous-ensembles : automobile, transports en commun et modes non motorisés (Moradi et Vagnogni, 2018).

Dans le cas de l'automobile, les développements technologiques actuels peuvent être distingués selon trois principaux groupes : modes de propulsion, systèmes d'aide à la conduite et intégration de systèmes de télécommunications (Litman et Burwell, 2006 ; DGE, 2020 ; Houssin, 2019). Le premier comprend l'amélioration de l'efficacité des moteurs thermiques, l'adaptation des moteurs à des carburants alternatifs, le développement de véhicules hybrides, électriques et à hydrogène, et, corolairement, de systèmes de gestion de la batterie, d'alternatives à l'emploi du lithium ou encore de méthodes de recyclage. Le second concerne les systèmes d'aide à la conduite, tels que décrits dans le premier chapitre. Le troisième porte sur le développement de véhicules communicants. L'intégration des TIC aux véhicules et infrastructures routières est souvent désignée par le terme de « systèmes de transport intelligents » (Giannopoulos et al., 2012 ; CMRTSR, 2020). Elle sert principalement à la diffusion d'information, la gestion de la circulation et au fonctionnement des systèmes d'aide à la conduite (Larsen et Höjer, 2007). La diffusion d'informations concerne principalement les conditions de circulation en temps réel ou quasi réel et les données météorologiques. Idéalement, ces informations sont mobilisées pour les choix de navigation, afin d'optimiser l'utilisation de l'infrastructure. Les systèmes de gestion de la circulation servent au repérage des véhicules et à la tarification de l'utilisation de l'infrastructure, comme dans le cas du péage urbain (Giannopoulos et al., 2012). Ces TIC embarquées au sein des véhicules côtoient l'utilisation du *smartphone*, d'applications mobiles support de différents services (Aguiléra et Belton-Chevalier, 2017 ; Eskenazi et al., 2017). Ces derniers sont principalement de trois types : aide au cours du déplacement, aide à l'utilisation du véhicule et accès à de nouveaux

services de transport (Aguiléra et Rallet, 2016 ; Eskenazi et al., 2017). Dans le premier cas, ces outils permettent de choisir son itinéraire, de s'orienter lors du déplacement ou encore de trouver une place de stationnement. Dans le second cas, cet appui numérique permet par exemple de faciliter l'usage d'un véhicule électrique grâce à l'optimisation de la charge de la batterie ou la localisation des bornes de recharge. Concernant l'accès à de nouveaux services, ceux d'autopartage, de covoiturage et de taxis se sont particulièrement développés.

Dans le cas des transports en commun, des technologies appliquées aux véhicules particuliers existent également, particulièrement s'agissant des modes de propulsion. Des aides à la conduite spécifiques sont également disponibles, comme par exemple le guidage optique pour l'arrêt aux stations. La conception des véhicules, ainsi que celle des stations sont également des lieux d'intégration de nouvelles technologies. S'agissant de l'exploitation, les innovations consistent essentiellement en de nouveaux logiciels de routage, des systèmes de vidéo-surveillance et de billettique. Du point de vue de l'utilisateur, l'utilisation du *smartphone* tient de nouveau une place centrale. Il constitue une aide au déplacement, notamment à travers l'accès en temps réel aux informations de circulation sur le réseau.

Pour les transports non motorisés, les innovations portent principalement sur le renouvellement de la conception des appareils de mobilité personnels, comme les vélos et trottinettes, particulièrement à travers leur électrification, et sur l'accès à des services de location de courte durée, qui, lorsqu'ils ne reposent pas sur une infrastructure d'attache, sont désignés par le terme de *free floating*.

Comme nous le décrivions précédemment, les technologies disposent également d'un statut particulier dans la conceptualisation du principe de mobilité durable. Elles sont en effet abordées, sur le principe de l'efficacité, comme un ensemble de moyens permettant de conserver le même niveau de déplacements tout en réduisant les nuisances environnementales associées, et donc d'atteindre un système de transport plus durable. Cette vision, désignée par Sultana (2017) par l'expression « *Sustainable Transport Technology* », est un des principaux paradigmes actuels pour la prise de décision publique en matière de durabilité des transports (Sultana, 2017 ; Hyard, 2013). Plus précisément, la littérature décrit cinq principaux domaines d'action bénéfiques des technologies : optimisation du système de transport, amélioration de la sécurité, facilitation de l'accès à la mobilité, partage des ressources et dématérialisation des échanges.

L'optimisation du système de transport concerne principalement la consommation énergétique de celui-ci. La plupart des études dédiées concluent à une réduction de cette dernière grâce aux innovations correspondantes. Des effets rebond apparaissent toutefois. Ils

s'expriment à travers l'augmentation de la demande de transport, qui résulte de la baisse du coût de transport due à la baisse de la consommation énergétique (Chakravarty et al., 2013 ; Hymel et al., 2010). Dimitropoulos et al. (2016) proposent une méta-analyse des effets énergétiques rebond résultant de l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules à partir de soixante-seize études empiriques réalisées dans différents pays. Les effets rebond sont en moyenne de 12% à court terme et de 32% à long terme. Malgré la variabilité des résultats, deux facteurs d'influence sur l'ampleur des effets rebond sont dégagés : le revenu moyen et le prix du carburant (Dimitropoulos et al., 2016 ; Chakravarty et al., 2013). Ainsi, les effets rebond sont moins importants dans le cas d'un niveau de revenu élevé. Cela s'expliquerait par une valeur du temps de transport importante qui inciterait les ménages à ne convertir que peu les gains monétaires dégagés en accroissement de la distance parcourue. S'agissant du prix du carburant, une corrélation positive entre l'ampleur des effets rebond et son niveau est constatée. Cela pourrait s'expliquer par un usage initial moins important de l'automobile du fait d'un prix du carburant élevé, et donc, en pourcentage, une augmentation plus importante des kilomètres parcourus.

Vivanco et al. (2015) mettent quant à eux en lumière, à travers une prise en compte « large » des effets rebond, un dépassement des gains permis par la technologie par les effets rebond dans quatre des sept innovations du secteur des transports qu'ils analysent : motorisation diesel, train à grande vitesse, vélos en libre-service et autopartage. L'injection directe, le pot catalytique et les systèmes de parc relais présentent quant à eux des bilans positifs. D'après Vivanco et al. (2015), la portée des effets rebond est essentiellement dépendante de l'ampleur de la baisse de prix engendrée par la technologie. Il s'agit donc d'un facteur explicatif central du surpassement des gains initiaux par les effets rebond. L'effet rebond peut ainsi être considérable dans le domaine des transports et constitue un point de vigilance dans l'analyse d'innovations technologiques susceptibles d'abaisser des éléments de coût de transport. A cet égard, l'amélioration de la sécurité peut également engendrer des effets rebond, puisque les coûts d'accident sont implicitement intégrés aux coûts de déplacement (Chakravarty et al., 2013 ; Hymel et al., 2010).

D'autres technologies, comme les aides à la conduite, et plus généralement au déplacement, sont considérées comme contributrices d'un accès plus égalitaire à la mobilité, critère d'un système de transport durable (Vidal et Mus, 2009 ; Dumas, 2012). D'autres encore, comme l'accès à l'internet mobile au travers du *smartphone*, sont supposées permettre le partage des ressources, notamment des trajets, grâce à une baisse des coûts de rencontre (Aguiléra et Rallet, 2016). Ainsi, il est supposé que l'accès à l'information modifie les comportements individuels de mobilité, et permet de réduire la pollution et de fluidifier le trafic.

Considérant toutefois les effets réels de ces systèmes, il semblerait qu'ils aient avant tout permis d'ajuster, d'optimiser les pratiques actuelles, plutôt qu'entraînaient des reports modaux notables (Adoue, 2016). Finalement, l'hypothèse de recherche majeure ayant accompagné le développement des TIC, qui consistait à mettre en avant leur potentiel en matière de dématérialisation des activités, de substitution des déplacements physiques, s'étiole. Si elle domine encore, de nombreux travaux mettent également en avant les stimulations aux déplacements que peuvent constituer l'intensification des échanges permise par les TIC et les pollutions propres à leur utilisation et leur mise en place infrastructurelle (Vidal, 2009). Les recherches récentes se détachent donc du postulat selon lequel les TIC inhibent les déplacements, et dépassent plus globalement le débat sur le rôle des TIC sur le nombre de déplacements pour considérer davantage leurs répercussions sur les modes de vie (Aguiléra et Rallet, 2016 ; Aguiléra et Belton-Chevalier, 2017).

Le statut providentiel des nouvelles technologies appliquées au domaine des transports apparaît ainsi largement dépendant du panel et de la largesse des effets pris en compte, notamment des effets rebond. De plus, l'évaluation de la contribution des technologies à la durabilité des transports doit considérer, plus que les modifications des facteurs rationnels de la mobilité des individus, l'évolution réelle des comportements.

Conclusion : L'évaluation durable comme gage de transparence et de cohérence pour l'évaluation du véhicule automatique

Les références à la notion de durabilité et plus généralement à des concepts susceptibles de guider la construction du cadre de mesure sont rares dans les travaux d'évaluation du véhicule automatique. Seuls Appelyard et Riggs (2017) proposent une telle démarche, multipliant cependant les références : durabilité, efficacité, « vivabilité », équité ou encore déshumanisation. Une multiplicité qui peut se montrer difficile à appréhender lors de la mise en œuvre d'une démarche d'évaluation. Les travaux d'évaluation du véhicule automatique ont toutefois plusieurs points communs avec l'évaluation durable.

Du point de vue des méthodes mobilisées, deux procédés courants de la démarche d'évaluation durable sont présents dans les travaux considérés : la représentation systémique des effets et la mise en œuvre de dispositifs participatifs. Le premier, repérable dans plusieurs contributions, permet la représentation des liens entre les critères d'évaluation et les effets de l'objet d'étude (Gruel et Stanford, 2016 ; Innamaa et al., 2018). Le second consiste en des consultations portant sur plusieurs aspects de l'évaluation : critères d'évaluation, détermination des effets ou encore résultats obtenus (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Plusieurs allusions aux effets rebond sont également repérables (Allessandrini et al., 2015 ; Milakis et al., 2017). Cependant, aucune contribution à l'évaluation du véhicule automatique ne tient d'une démarche d'évaluation durable au niveau méthodologique.

D'un point de vue thématique, les critères mobilisés dans le cas du VA montrent des similitudes avec ceux que nous avons pu relever dans le cas de l'évaluation durable des transports et des innovations technologiques. Nous les discutons selon la structure du tableau de synthèse des critères d'évaluation du véhicule automatique précédemment établi (tabl. 15, 133-138).

Les indicateurs d' « Acceptation et d'utilisation » ne figurent pas dans l'évaluation durable des transports mais se retrouvent dans celle des innovations technologiques, qui présente des indicateurs concernant les performances techniques, la complexité d'utilisation et l'acceptabilité sociale. Toutefois, dans le cas des innovations technologiques, l'idée d'acceptabilité fait référence aux impacts sociaux, alors que c'est l'appétence des consommateurs qui prévaut dans le cas du véhicule automatique. La dimension de « Perception de la qualité » peut être rapprochée de l'indicateur de stabilité de fonctionnement de la technologie de l'évaluation des technologies, et rappelle ainsi l'incertitude inhérente au fonctionnement d'un nouvel artefact. Le volet « Comportement de mobilité », présent dans l'évaluation du véhicule automatique, l'est également dans l'évaluation durable des transports.

Ce sous-ensemble d'indicateurs est spécifique à ce secteur d'application. Les « Impacts sociaux » traités dans le cas du VA comprennent seulement une partie de ceux couramment mobilisés dans l'évaluation durable des transports. Ainsi, l'accessibilité financière, l'accessibilité aux transports en commun, la pratique de la marche à pied et l'exposition aux polluants ne sont pas traitées dans le cas du véhicule automatique. Le critère d'« Emplois » existe dans les trois corpus mais correspond à des interprétations différentes. Il renvoie à la création d'emplois dans le cas du VA et des transports et aux changements du marché et des conditions de travail dans celui des innovations technologiques. L'ensemble des « Impacts environnementaux » traités par les travaux sur le VA le sont également dans les évaluations durables des deux domaines étudiés, où ils se montrent plus étoffés. Quant aux « Impacts spatiaux », ils sont proches de ceux étudiés dans les transports, tout en restant partiels. Les critères de qualité de l'espace public, de répartition de l'espace entre modes de transport, de mixité urbaine ou encore d'agrément du quartier ne sont ainsi pas examinés. En ce qui concerne les « Impacts financiers », la structure classiquement utilisée dans le cas des transports est reprise : coûts d'investissement, coûts de fonctionnement, coûts évités et dépenses individuelles. Toutefois, la structure et la place des dépenses publiques ne sont pas intégrées. Finalement, s'agissant des « Impacts économiques », l'indicateur d'activité économique est présent dans le cas du VA et des transports mais ne recouvre pas la même signification. Il fait référence à l'activité industrielle dans le premier cas et à la facilité des échanges dans le second.

Globalement, les indicateurs mobilisés pour l'évaluation du véhicule automatique entrent dans le spectre de l'évaluation durable des transports, sauf dans les cas des thématiques de l'acceptation, de l'utilisation et de la perception de la qualité, qui sont davantage traitées par l'évaluation des technologies. Cela est cohérent avec la conclusion dressée précédemment de primauté du secteur et de l'environnement d'application dans la détermination du cadre de mesure des effets d'une innovation technologique. Les thèmes traités par l'évaluation durable des transports sont toutefois plus variés, s'agissant notamment des impacts sociaux, environnementaux et spatiaux.

D'autre part, les innovations technologiques sont souvent présentées comme une solution majeure pour atteindre un système de transport plus durable. Cette contribution transiterait par cinq principaux mécanismes : optimisation du système, amélioration de la sécurité, accès à la mobilité pour tous, partage des ressources et dématérialisation des échanges. Ces hypothèses restent toutefois largement discutées.

Ainsi, formaliser un cadre méthodologique d'évaluation du véhicule automatique tenant de l'évaluation durable est un axe de développement utile, gage de cohérence et de

transparence, au vu des manques et dynamiques actuels. Nous considérons ainsi que les principes axiologiques et méthodologiques listés à la rubrique 5.1.2. (p.169) doivent servir de fils directeurs pour la constitution d'une méthodologie d'évaluation du véhicule automatique.

Conclusion : Un cadre d'évaluation du véhicule automatique à construire à partir des enseignements de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable

La première partie avait montré les besoins d'aide à la décision publique locale en matière de véhicule automatique. Les potentialités de l'évaluation, outil d'aide à la décision de premier plan, n'ont toutefois pas été considérées pour la constitution de cette stratégie publique locale. Cette seconde partie avait donc tout d'abord pour objectif de répertorier les recherches existantes en matière d'évaluation des véhicules automatiques. Le bilan des contributions a été dressé selon les trois grandes étapes de l'évaluation : définition de l'objet d'étude, estimation des effets et constitution du cadre de mesure. A partir de celui-ci, les développements méthodologiques encore nécessaires ont pu être désignés. Nous nous sommes concentrés sur la première et la troisième de ces étapes, l'estimation des effets étant davantage investiguée. La rareté des propositions méthodologiques globales, le manque de formalisation et le faible ancrage à des recherches antérieures des travaux considérés laissaient supposer qu'une mise en perspective avec un corpus plus large pouvait permettre de repérer les préconisations méthodologiques adéquates, palliant les manques répertoriés. Nos investigations bibliographiques ont alors porté sur les contributions méthodologiques générales en matière d'évaluation prospective et d'évaluation durable et les pratiques correspondantes dans les champs des transports et des innovations technologiques. Elles donnent lieu à deux chapitres relativement indépendants, se rapportant respectivement à l'enrichissement des étapes de définition de l'objet d'étude et de constitution du cadre de mesure.

La dimension prospective de la définition de l'objet d'étude dans l'évaluation du véhicule automatique a pu être affirmée grâce à une mise en perspective avec la littérature portant sur l'évaluation prospective. D'un point de vue méthodologique, que les scénarios interviennent à l'endroit des options évaluées ou de l'appréhension du contexte, l'objectif est une amélioration mutuelle de la performance des exercices d'évaluation et de prospective. Ainsi, la nécessité d'une méthodologie dite intégrée, autrement dit d'une conception conjointe des scénarios et du cadre de mesure, a été mise en avant. Par ailleurs, l'évaluation prospective est courante dans l'évaluation des innovations technologiques du fait de l'impossibilité d'observer les objets d'étude étudiés. Les scénarios sont ainsi souvent le support de la structuration des débats autour de la technologie. Les discours correspondants peuvent faire l'objet d'une analyse dédiée, appelée herméneutique. Un positionnement qui tranche avec les pratiques constatées dans le cas des transports, où l'analyse se concentre sur un projet précis,

comparé à un scénario de stabilité de la situation existante, dit « *do nothing* » ou « *do minimal* ».

Pour la constitution du cadre de mesure, le besoin de formalisation évoqué et les réflexions déjà présentes au sein des travaux d'évaluation du véhicule automatique, particulièrement celles d'Appleyard et Riggs (2017), nous ont poussés à nous intéresser à l'évaluation durable. Des proximités thématiques ont pu être constatées, notamment avec les études d'évaluation durable des transports. Ces derniers se montrent toutefois plus étoffés et peuvent donc constituer une référence. Sur le plan méthodologique, aucune contribution à l'évaluation du véhicule automatique ne tient d'une démarche d'évaluation durable. Par ailleurs, les innovations technologiques sont souvent présentées comme des solutions centrales en matière de durabilité des transports, sans que les hypothèses de départ, notamment comportementales, ne se vérifient toujours. Ainsi, les proximités avec les travaux d'évaluation du véhicule automatique, le besoin de formalisation et la nécessité de questionner le statut salvateur de cette technologie rendent pertinente l'application d'une démarche d'évaluation durable à l'endroit du véhicule automatique.

Nous proposons donc dans la partie suivante de constituer un cadre et une méthodologie d'évaluation prospective durable du véhicule automatique à partir des enseignements tirés des recherches bibliographiques menées. La mise en œuvre de la démarche définie au travers d'un exemple d'application, sur le principe de « la preuve de concept », dans l'objectif de montrer sa faisabilité et son intérêt en matière de résultats obtenus, est également réalisée.

Partie 3 : Propositions méthodologiques pour l'évaluation du véhicule automatique et application à la Métropole de Rouen

Le véhicule automatique est un objet pour l'évaluation puisqu'il est sujet à trois dynamiques : avancée technologique, émergence d'une signification sociale et premières hypothèses sur ses conséquences (Grunwald, 2019). Le constat de la nécessité d'informer la prise de décision publique locale en la matière, établi à la première partie, a amené à recenser les contributions scientifiques tenant de l'évaluation des véhicules automatiques dans la seconde. La description de ce corpus, disparate, a permis de désigner les manques existants. La formalisation et l'« ancrage » limités des travaux d'évaluation du véhicule automatique réalisés jusqu'ici nous ont incités à les mettre en perspective avec des travaux susceptibles de former des références pour leur développement méthodologique. Les recherches bibliographiques menées sur les thèmes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable ont ainsi permis de dégager des préconisations méthodologiques pour l'évaluation du véhicule automatique.

Un cadre et une méthodologie d'évaluation dédiés permettent de donner corps à ces préconisations, comme nous le verrons dans la présente partie. Par-là, nous souhaitons poursuivre les réflexions à l'œuvre sur l'évaluation du véhicule automatique. Par ailleurs, nous nous inscrivons dans la continuité des réflexions sur le développement de cadres méthodologiques d'évaluation durable prospective (Höjer et al., 2008 ; Arushayan et al., 2017) et dans une démarche de renouvellement du cadre d'évaluation classique du domaine des transports pour l'analyse d'une innovation technologique. La proposition méthodologique formulée est également mise en application à un cas d'étude sur le principe de la « preuve de concept ».

Ainsi, la présente partie est consacrée à la présentation d'un cadre méthodologique d'évaluation durable prospective du véhicule automatique rassemblant les préconisations dégagées (Chapitre 6) et à un exemple d'application, gage de l'intérêt et de la faisabilité de la proposition formulée (Chapitre 7). La démarche générale d'évaluation est tout d'abord présentée ; elle reprend les principes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable. Ensuite, la procédure à suivre pour chaque grande étape de l'évaluation est décrite : définition

de l'objet d'étude, constitution du cadre de mesure de l'évaluation, recueil des données nécessaires à l'évaluation et traitement des données récoltées. Le cadre et la démarche ainsi constitués sont ensuite appliqués à l'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen. Un terrain d'étude dont le choix a notamment été motivé par le déroulement, passé et à venir, de plusieurs expérimentations impliquant des véhicules automatiques.

Chapitre 6 : Proposition d'un cadre méthodologique pour l'évaluation durable et prospective de l'introduction du véhicule automatique au niveau local

Le présent chapitre est consacré à la proposition d'un cadre méthodologique pour l'évaluation durable et prospective de l'introduction du véhicule automatique au niveau local. Celle-ci a été établie à partir des conclusions tirées à la partie précédente, soit l'intérêt, pour l'évaluation de l'introduction du véhicule automatique au niveau local, d'une démarche prospective à l'étape de description de l'objet d'étude et d'une référence à la durabilité à l'étape de constitution du cadre de mesure. Ainsi, les objectifs et principes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable, et notamment leurs points de convergence, servent de lignes directrices à la définition d'une méthodologie d'évaluation adaptée.

Sa structure globale est d'abord décrite, notamment grâce à des représentations schématiques de l'enchaînement des différentes étapes (6.1). Ensuite, chaque étape fait l'objet d'une présentation : l'étape de cadrage de l'objet d'étude (6.2), l'étape de définition du cadre de mesure (6.3), l'étape de recueil de données (6.4) et l'étape de traitement des données (6.5). Les méthodes et outils à mobiliser, empruntés à la littérature ou constitués à partir de celle-ci, sont détaillés.

6.1. Démarche générale d'évaluation proposée

6.1.1. Cadre méthodologique

Le bilan des travaux d'évaluation du véhicule automatique et leur mise en perspective nous ont amené à considérer l'évaluation prospective et l'évaluation durable comme des cadres de référence pour le développement et la formalisation d'une méthodologie d'évaluation pour le véhicule automatique. Nous débutons donc ce chapitre en présentant le positionnement du cadre d'évaluation proposé, établi à partir des objectifs et principes axiologiques et méthodologiques de l'évaluation durable et de l'évaluation prospective. Cette synthèse, résultat des recherches bibliographiques menées, est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 : Objectifs et principes de l'évaluation durable et de l'évaluation prospective

	Evaluation durable	Evaluation prospective
Objectifs		
	<ul style="list-style-type: none"> - Orienter la prise de décision conformément au principe de durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer les démarches d'évaluation et de prospective, habituellement séparées, en vue d'améliorer la qualité des résultats obtenus pour la prise de décision
Principes		
Valeurs	<ul style="list-style-type: none"> - Normativité - Equité inter- et intra-générationnelle - Prise en compte du long terme - Principe de responsabilité - Principe de précaution - Protection environnementale - Garantie de moyens d'existence décents - Transparence vis-à-vis des valeurs incluses dans l'évaluation - Dépassement du paradigme de limitation des effets négatifs 	
Méthodologie / Méthodes utilisées	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte du contexte - Transparence - Transdisciplinarité - Approche holistique - Production de connaissances orientées vers la recherche de solutions, la définition d'actions - Approche participative - Prise en compte des incertitudes - Analyse multicritères 	<ul style="list-style-type: none"> - Scénarios comme méthode de problématisation ou outil d'analyse de l'incertitude du contexte - Scénarios comme support de dialogue et de débat - Production coordonnée des scénarios et du cadre de mesure - Analyse multicritères - Approche participative

L'évaluation durable est porteuse de valeurs, conformément au principe de développement durable, alors que l'évaluation prospective consiste davantage en des propositions méthodologiques. Le cadre de l'évaluation durable est donc le cadre intégrateur dans le cas du développement d'une évaluation prospective durable. Sur le plan méthodologique, les recommandations communes aux deux types d'évaluation forment des lignes directrices. Ainsi, la méthodologie d'évaluation doit avoir recours à une analyse multicritères et à une approche participative. En effet, les travaux mobilisés concluent à l'adéquation entre analyse multicritères et évaluation prospective (Montibeller et al., 2006 ; Ram et al., 2011) et entre analyse multicritères et évaluation durable (Janic, 2003 ; Tudela et al., 2006 ; Bond et Morrison-Sanders, 2011 ; Gasparatos et Scolobig, 2012 ; Bueno et al., 2015 ; Browne et Ryan, 2011). Elle est privilégiée du fait de sa facilité opérationnelle et de son aptitude à traiter de multiples configurations. L'approche participative est également sollicitée par les deux types d'évaluation pour des raisons différentes. L'évaluation prospective y voit un moyen de dépasser l'utilisation instrumentale des scénarios pour en faire des supports de dialogue, de discussion (Van den Ende et al., 1998 ; Grunwald, 2019). L'évaluation durable, conformément au principe de développement durable, promeut quant à elle par ce biais une vision démocratique de la prise de décision (Chédin et al., 2009 ; Curado, 2013). De plus, nous retenons, pour la définition de la structure de notre démarche, les prescriptions méthodologiques de l'évaluation prospective, à savoir la construction de scénarios comme méthode de problématisation à l'étape de cadrage, et la définition coordonnée des étapes de cadrage et de constitution du cadre de mesure.

Considérant l'application de ces deux types d'évaluation au domaine des transports et des innovations technologiques, nous avons pu constater que l'évaluation durable se déclinait en des objectifs propres au domaine d'application, celui des transports dans le cas du véhicule automatique. Quant à l'évaluation prospective, nous avons vu qu'elle est consubstantielle de l'évaluation des technologies. Au sein de cette dernière, les scénarios sont donc considérés comme des moyens de générer la discussion. Les discours des parties prenantes sont ainsi relevés et décrits, selon une analyse dite herméneutique.

Sur le plan de la structure méthodologique, nous retenons les spécificités suivantes pour l'établissement de notre procédure d'évaluation :

- cadrage de l'objet d'étude à travers la construction de scénarios
- coordination des étapes de cadrage et de constitution du cadre de mesure selon un schéma d'interaction explicite
- analyse multicritères
- démarche participative
- exploitation des données qualitatives issues du processus de participation.

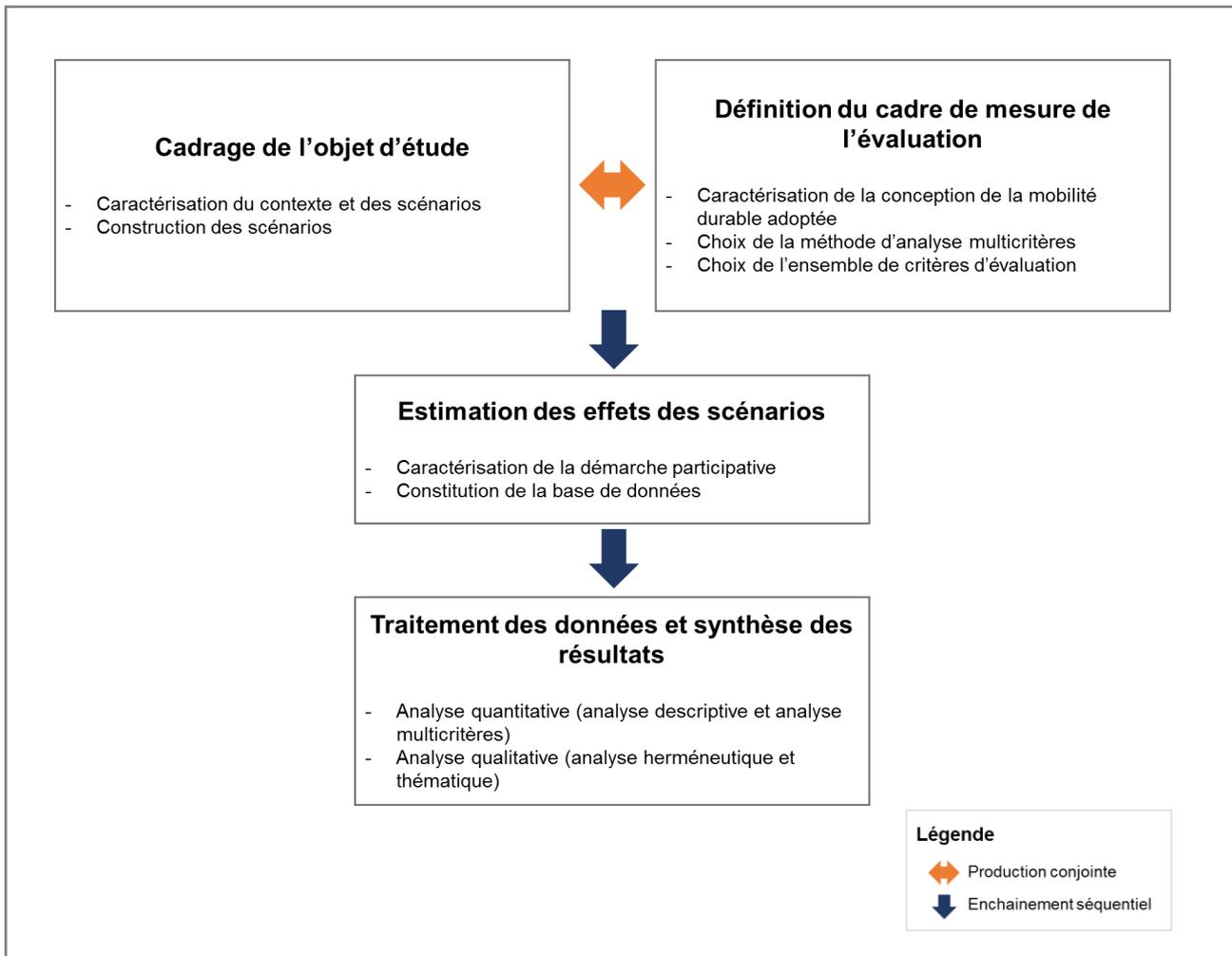
6.1.2. Structure de la méthodologie

Une procédure méthodologique en quatre étapes

Cette sous-partie décrit la structure de la procédure d'évaluation prospective durable du véhicule automatique élaborée. Cette proposition méthodologique s'inscrit dans la continuité de contributions récentes sur l'articulation entre évaluation durable et production de scénarios (Arushayan, 2017 ; Sheate et al. 2008 ; Borón et al. 2016 ; Morrisson-Saunders, 2015 ; Tzannopoulos et al., 2011). La méthodologie comprend quatre principales étapes. A chacune d'elle, des méthodes, sélectionnées dans la littérature ou constituées à partir de celle-ci, sont décrites. Elles permettent à la personne en charge de l'évaluation d'orienter son choix de manière transparente au sein des nombreuses possibilités existantes, comme le prescrit l'évaluation durable. En cela, le cadre proposé, s'il prend appui sur les besoins de prolongements des travaux d'évaluation du véhicule automatique, peut être mobilisé dans sa globalité ou partiellement pour l'analyse d'autres objets.

La première, l'étape de cadrage, a pour objectif la description du contexte et de l'objet d'étude. Dans notre cas, elle revêt une dimension particulière, puisqu'elle consiste en la définition de plusieurs scénarios portant sur l'objet d'étude. La seconde, l'étape de constitution du cadre de mesure, précise notamment la définition de la durabilité adoptée. Comme le préconisent les travaux en la matière, ces deux étapes sont réalisées de manière conjointe, selon un schéma d'interaction présenté à la rubrique suivante (fig. 19) (Arunshanyan et al., 2017). Cette coordination permet une cohérence entre les informations présentes dans les scénarios et celles nécessaires à l'évaluation, ainsi qu'une répartition claire des traitements propres à ces deux étapes de l'analyse. Ensuite, l'étape d'estimation regroupe le choix d'une méthode d'estimation et la description des caractéristiques de sa mise en œuvre. Finalement, la dernière étape est celle du traitement des données récoltées et de la synthèse des résultats. Le schéma ci-dessous présente cette trame générale et les sous-étapes à exécuter, détaillées dans les rubriques suivantes (fig. 18).

Figure 18 : Représentation schématique du cadre d'évaluation élaboré



Les étapes coordonnées de définition de l'objet d'étude et de constitution du cadre de mesure

L'étape de définition, dite également de cadrage, de l'objet d'étude est celle des descriptions du contexte de réalisation de l'étude et de son objet. Pour la description du contexte d'étude, les objectifs de l'étude, la nature de la décision et le public envisagé pour la présentation des résultats sont à prendre en compte (Pope et al., 2017).

Ces éléments amènent à caractériser la nature des scénarios souhaités (Börjeson, 2006). En effet, dans notre cas, la définition de l'objet d'étude consiste en la construction de scénarios. La scénarisation est utilisée comme un outil de problématisation dans la démarche d'évaluation. Pour définir ces scénarios, diverses approches sont possibles. Pour notre part, nous nous appuyons sur des éléments méthodologiques proposés par Godet (2007) :

l'analyse structurelle et l'analyse morphologique. Ces deux outils permettent de déterminer un ensemble de scénarios et de sélectionner les plus pertinents. Les scénarios ainsi définis deviennent les options à évaluer dans la suite de l'analyse.

L'étape de définition du cadre de mesure concerne la structuration du référentiel d'évaluation. Elle comprend trois sous-étapes : description de la conception de la durabilité adoptée, choix de la méthode d'évaluation et constitution de l'ensemble de critères d'évaluation. Pour la première, nous utilisons une grille de caractérisation du concept de mobilité durable établie à partir des contributions scientifiques référencées au précédent chapitre. Elle nous sert à caractériser la conception à l'œuvre sur notre terrain d'étude.

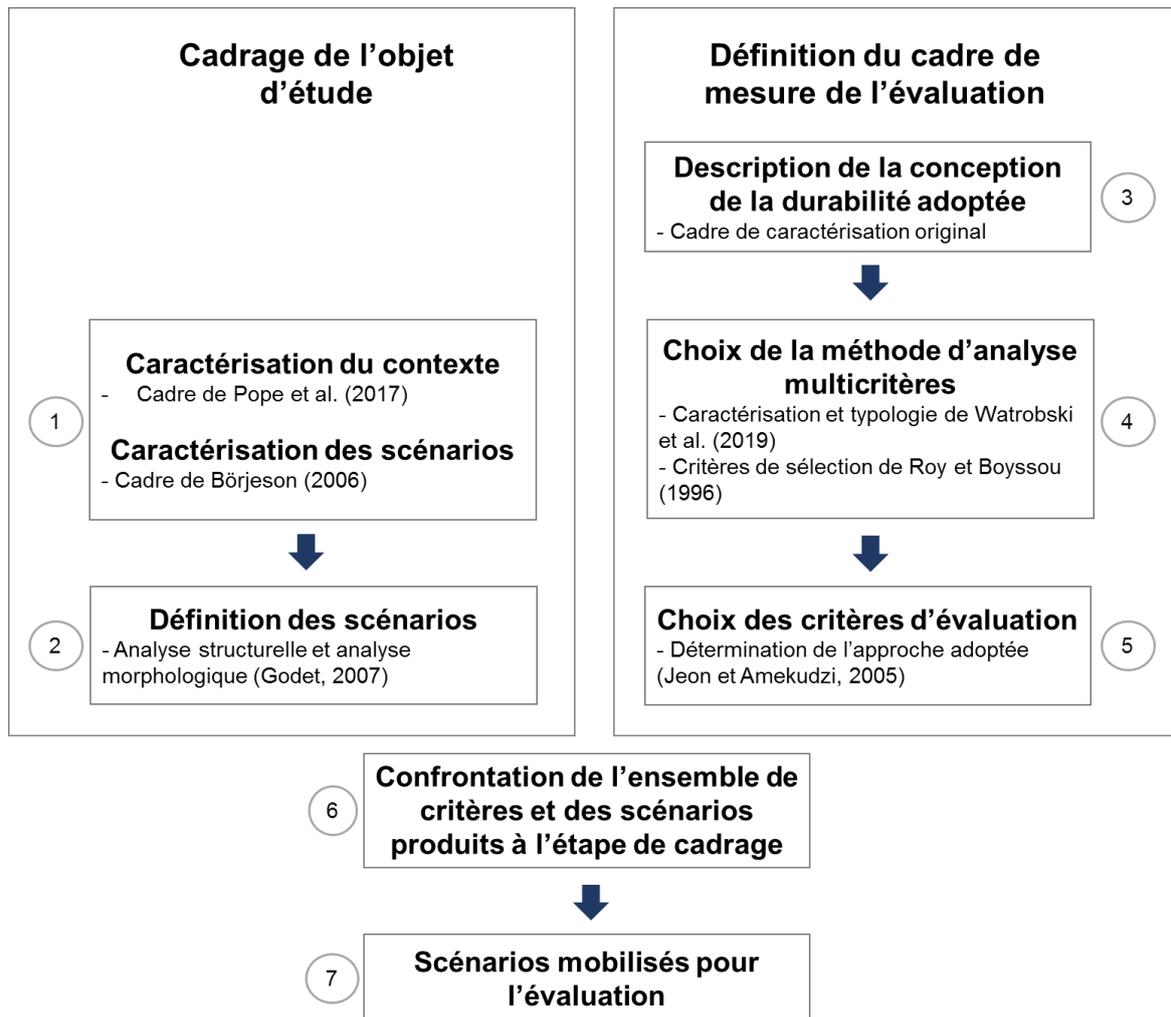
La sous-étape suivante consiste au choix de la méthode d'évaluation. Nous nous orientons vers une méthode d'analyse multicritères, conformément aux recommandations des contributions en matière d'évaluation durable et d'évaluation prospective. Cette méthode inclut plusieurs familles, qui se distinguent principalement par la manière dont le problème d'évaluation est traité et dont les performances des options sont agrégées. Pour choisir une méthode adéquate, nous nous appuyons sur les critères de sélection et de caractérisation des méthodes multicritères disponibles dans la littérature, et notamment la typologie proposée par Wątróbski et al. (2019).

Pour la définition de l'ensemble de critères, comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédent, plusieurs approches sont possibles (Jeon et Amekudzi, 2005). La personne en charge de l'évaluation doit donc statuer de l'approche adéquate pour déterminer l'ensemble des critères d'évaluation. Ensuite, afin de pouvoir mettre en œuvre une analyse multicritères, elle doit vérifier que l'ensemble en question remplit les conditions de cohérence décrites par Roy et Boyssou (1993).

L'ensemble d'indicateurs est ensuite confronté aux scénarios en vue de vérifier que ceux-ci contiennent bien les hypothèses nécessaires à leur estimation. Les informations fournies par les scénarios doivent être suffisantes. Si ce n'est pas le cas, elles doivent être complétées. Les scénarios ne doivent toutefois pas être trop complexes, afin d'être compréhensibles et de laisser place à l'interprétation, et de conserver ainsi leur fonction de support de discussion.

Le schéma ci-dessous décrit la relation entre ces deux étapes, un tel plan d'interaction permet une distinction claire entre ce qui est traité à l'étape de cadrage et à l'étape de définition du cadre de mesure.

Figure 19 : Schéma d'interaction détaillé entre les étapes de cadrage et de constitution du cadre de mesure



Le recueil des données nécessaires à l'évaluation

Le recueil ou la génération des données nécessaires à l'évaluation concerne en premier lieu les effets des options à évaluer sur les critères définis par le cadre de mesure. Au-delà de ces estimations, l'évaluation prospective et l'évaluation durable prescrivent également le recours à une démarche participative.

Ainsi, quelle que soit la méthode d'estimation des effets, un dispositif de participation doit être mis en place. Ce dernier doit être caractérisé, particulièrement selon le niveau d'implication des parties prenantes et les étapes de l'évaluation auxquelles la participation est intégrée.

Le traitement des données récoltées

Le traitement des données permet de synthétiser l'information recueillie dans le cadre de la procédure d'évaluation. Au vu de la nature de la méthodologie proposée, deux types de traitements sont à effectuer, d'une part celui des données quantitatives d'estimation des effets des scénarios et de la pondération des indicateurs, dont l'analyse multicritères fait partie, et d'autre part celui des données qualitatives, résultats de la démarche participative. Pour la seconde, nous proposons une analyse « herméneutique », telle que suggérée par Grunwald (2019) dans son manuel consacré à l'évaluation des technologies : « *Technology Assessment in Practice and Theory* ». La personne chargée de l'évaluation peut également avoir recours, en tant que méthode principale ou complémentaire, à une analyse de contenu plus générale (Robert et Bouillaguet, 2007).

Détaillons à présent plus précisément le déroulé de ces différentes étapes.

6.2. L'étape de cadrage de l'objet d'étude, une approche par la méthode des scénarios

L'étape de cadrage consiste habituellement à décrire le contexte et l'objet d'étude. Dans notre cas, elle prend la forme de la construction de scénarios. Le type de scénarios à mobiliser est dépendant du contexte d'étude et de la nature de l'objet. Nous proposons d'utiliser tout d'abord les canevas issus des travaux de Pope et al. (2017) et de Börjeson (2006) pour caractériser le contexte et les scénarios. Nous nous appuyons ensuite sur le « Manuel de prospective stratégique, Tome 2, L'art et la méthode » (Godet, 2007) pour proposer une démarche de construction des scénarios, combinant une analyse dite structurelle et une analyse dite morphologique. Ces outils méthodologiques constituent la démarche mise en œuvre pour la construction de nos scénarios d'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen, présentés dans le chapitre suivant.

6.2.1. La caractérisation des scénarios, dépendance au contexte et à l'objet d'étude

Avant de débiter la construction des scénarios, le type de scénarios nécessaires est à déterminer. Il est dépendant du contexte d'étude et de la nature de l'objet à évaluer. Des « grilles » systématisant les principales informations à récolter sont disponibles. Pope et al. (2017) proposent ainsi un cadre de description du contexte (tabl. 23) et Börjeson (2006) un cadre de caractérisation des scénarios (tabl. 24), déjà présenté dans le quatrième chapitre. Nous proposons de les mobiliser dans notre méthodologie.

Tableau 24 : Caractéristiques de définition de l'objet et du contexte de l'étude d'évaluation (adapté de Pope et al., 2017)

Caractéristiques contextuelles
Objet de de la décision
Nature de la décision
Porteur de l'évaluation
Preneurs de décision
Parties prenantes
Public envisagé pour l'utilisation des résultats
Limites géographiques
Limites temporelles
Activités affectées par l'objet d'étude

Tableau 25 : Typologie des scénarios (adapté de Börjeson ,2006)

Prédictif		Exploratoire		Normatif	
Prédictions	Scénario de simulation	Externe	Stratégique	Conservateur	Transformant

6.2.2. La construction des scénarios, des outils empruntés à l'école française de prospective

Après la caractérisation des scénarios, vient leur construction. Nous constituons notre démarche prospective à partir des travaux de Godet (2007), en proposant d'appliquer l'analyse structurelle et l'analyse morphologique, développées par cet auteur.

L'analyse structurelle

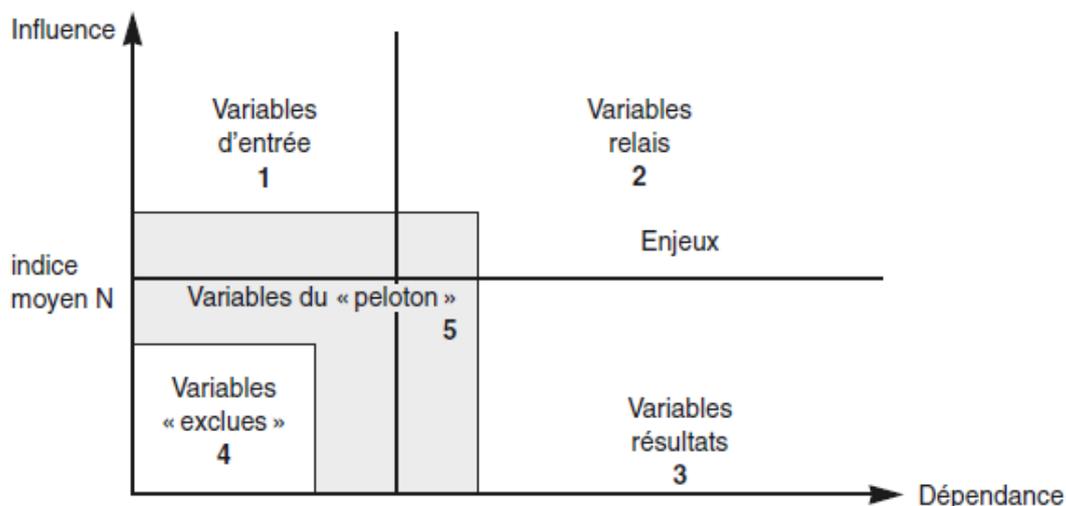
L'analyse structurelle a pour objectif de constituer la base analytique du scénario, de se doter d'une représentation aussi exhaustive que possible du système étudié, tout en réduisant sa complexité grâce à des variables essentielles (Godet, 2007). Elle comprend trois étapes : le recensement des variables, le repérage des relations entre les variables dans une matrice et la détermination des variables clés.

Le recensement des variables consiste à référencer les variables qui pourraient avoir une influence sur l'objet d'étude. Celles-ci sont ensuite agrégées, supprimées, considérant les redondances, et séparées en variables internes et externes. D'après Godet (2007), le recensement est satisfaisant si l'ensemble final ne dépasse pas quatre-vingt variables.

Le repérage des relations dans la matrice d'analyse structurelle consiste à déterminer la relation entre les variables dans un tableau à double entrées, les valeurs présentes dans la matrice représentent l'intensité de l'influence des variables en ligne sur les variables en colonnes. Lors de l'exercice de remplissage de ce tableau, les possibles colinéarités entre variables, soit l'existence d'autres variables agissant sur les deux variables considérées, et de « variables relais », variables présentes dans le reste de la matrice par lesquelles la relation transiterait, doivent être considérées (Godet, 2007).

La recherche des variables clés est réalisée à l'aide d'un programme de multiplication matricielle qui permet de hiérarchiser les variables par ordre d'influence et de dépendance. A chaque itération, une nouvelle hiérarchie des variables est obtenue en fonction des influences indirectes qu'elles exercent sur les autres variables. Le but est de mettre en évidence les variables les plus influentes et les plus dépendantes et d'aboutir à un plan d'influence-dépendance significatifs, caractérisant les différentes variables. A priori, les variables relais constituent des variables clés. Nous avons utilisé l'outil développé par Michel Godet pour réaliser cette étape, intitulé « Micmac ».

Figure 20 : Caractérisation des variables de l'analyse structurelle dans le plan d'influence-dépendance (Godet, 2007)



L'analyse morphologique

L'analyse morphologique vise à balayer et réduire le champ des possibles. Les configurations, soient les différents états que peuvent prendre les variables clés sont analysées conjointement. L'ensemble des combinaisons possibles de ces configurations est appelé champ des possibles ou espace morphologique. Ce dernier peut être réduit en repérant les incompatibilités et en appliquant des critères d'exclusion ou de préférence. Il est également possible de probabiliser les combinaisons obtenues à partir de probabilités simples, portant sur les configurations individuellement, grâce à la méthode « Smic Prob-Expert ». Ces probabilités peuvent être déduites de la consultation d'experts, ou plus généralement de données qualitatives.

6.3. L'étape de définition du cadre de mesure de l'évaluation, choix thématiques et méthodologiques

L'étape de définition du cadre de mesure a pour objectif de structurer le référentiel d'évaluation, et particulièrement de définir la méthode et les critères d'évaluation. Deux caractéristiques de cette étape sont d'ores et déjà définies par le cadre proposé : le recours à l'analyse multicritères et la nécessaire confrontation de l'ensemble de critères aux scénarios définis à l'étape de cadrage.

Nous décrivons tour à tour les sous-étapes de description de la conception de la durabilité adoptée, de choix de la méthode d'évaluation, de constitution de l'ensemble de critères d'évaluation et de confrontation du cadre de mesure aux scénarios issus de l'étape de cadrage, qui forment l'étape de définition du cadre de mesure. La première décrit le positionnement général vis-à-vis du principe de durabilité des transports adopté dans le cadre de l'évaluation. Un cadre de caractérisation, constitué à partir des contributions scientifiques mobilisées au quatrième chapitre est dédié à cet exercice. La seconde étape consiste au choix de la méthode d'évaluation. Dans notre cas, il se fait au sein de la famille des méthodes d'analyses multicritères. Pour cela, nous recourons aux critères de différenciation de ces méthodes de Guitouni et Martel (1998) et Schärli (1998) et à la caractérisation d'une cinquantaine de méthodes d'analyse multicritères par Wałtróbski et al. (2019) pour constituer un module de sélection de la méthode. La troisième sous-étape correspond à la définition de l'ensemble de critères, constituant le cadre de mesure des effets de l'objet d'étude. Plusieurs méthodes sont employables pour le déterminer. La personne en charge de l'évaluation doit choisir l'une d'elle. Nous proposons, pour orienter ce choix, un cadre de synthèse de la contribution de Jeon et Amekudzi (2005), référençant les principales méthodes de construction d'ensembles de critères. Une fois constitué, ce dernier doit être questionné au sens des critères de Roy et Boyssou (1996). Ces auteurs proposent des critères de cohérence, requis, et d'indépendance, souhaitables, que l'ensemble de critères doit remplir pour pouvoir être mobilisé au sein d'une l'analyse multicritères. Finalement, la dernière sous-étape consiste en la définition d'un cadre de confrontation entre les scénarios définis à l'étape de cadrage et les critères d'évaluation. Il doit expliciter les liens entre les informations contenues dans les scénarios et l'estimation des indicateurs liés aux critères d'évaluation, en vue de s'assurer que l'ensemble des hypothèses nécessaires est bien formulé.

6.3.1. Un cadre de description dédié à la caractérisation de la durabilité adoptée

Pour constituer le cadre de mesure d'une évaluation durable, il est tout d'abord nécessaire de définir la conception de la durabilité adoptée. La personne en charge de l'évaluation doit se positionner par rapport à cette notion, conformément au principe de transparence prescrit par l'évaluation durable. La définition de la durabilité mobilisée dépend de l'objet et du contexte d'étude. Pour la caractériser, nous mobilisons un cadre dédié, établi à partir des résultats des recherches bibliographiques réalisées au cinquième chapitre sur le principe de système de transport durable.

Le cadre constitué comprend trois niveaux. Le premier permet de positionner la manière dont le secteur des transports est abordé dans le cadre du développement durable. La distinction opérée par Gudmundsson et al. (2016) est utilisée, entre d'un côté une approche de la durabilité du système de transport en lui-même, matérialisée par des objectifs explicites et spécifiques pour le secteur, et de l'autre une prise en compte de la contribution de ce secteur au développement durable du territoire, pensé en articulation avec d'autres domaines.

Le second concerne le type de définition adoptée, sa teneur générale. Nous reprenons la catégorisation du *Center for Sustainable Transport* (2005), qui ne reprend pas l'ensemble des évolutions de l'interprétation du principe de durabilité des transports, telles que dépeintes par Holden et al. (2019), mais retranscrit l'orientation principale de la définition adoptée : économique, environnementale ou tripolaire.

Le troisième niveau désigne les principes sollicités. Pour faciliter leur appréhension, nous les avons classés selon huit catégories : environnementaux, économiques, organisation spatiale, justice sociale, santé publique, expérience de déplacement, transversaux, au sens où ils concernent plusieurs champs d'actions, et de gestion. Cette typologie a été établie grâce aux revues de littérature dédiées, déjà citées (Banister, 2008 ; Holden et al., 2019).

Figure 21 : Tableau de caractérisation de la conception de la durabilité du système de transport

Vision	Centrée sur les transports	« Holistique »			
Type de définition	Economique	Environnementale	« Tripolaire »		
Objectifs mis en avant					
Environnementaux	Limitation des émissions de gaz à effet de serre et de polluants	Limitation du nombre et des distances de déplacements	Réduction de la consommation énergétique	Protection des écosystèmes et espaces dédiés à la détente	Limitation de la consommation de ressources non renouvelables
Economiques	Garantie d'une économie dynamique	Génération de nouveaux emplois			
Organisation spatiale	Planification transports-urbanisme	Limitation de l'étalement urbain/ de la consommation d'espace	Mixité des fonctions urbaines	Développement urbain selon le principe de proximité	Qualité de l'espace public
Justice sociale	Satisfaction des besoins d'accès aux personnes, biens et services	Accès à tous, particulièrement aux personnes vulnérables	Accessibilité économique	Equité, notamment environnementale	
Santé publique	Diminution de l'utilisation de la voiture en zone urbaine	Facilitation de l'usage des modes actifs			
Expérience de déplacement	Sécurité des déplacements	Confort			
Principes transversaux	Développement des transports publics	Gestion optimale des infrastructures et des transports publics			
Principes de gestion	Analyse environnementale des projets	Internalisation des externalités négatives	Participation des parties prenantes		

6.3.2. Un module destiné au choix de la méthode d'analyse multicritères

L'analyse multicritères est plurielle. Les méthodes diffèrent essentiellement selon leur complexité computationnelle, les techniques d'agrégation des performances, le niveau d'engagement des parties prenantes et les données nécessaires (Munda et al., 1995 ; Roy, 1996 ; Belton et Stewart, 2002 ; Geneletti et Ferreti, 2015). Cependant, elles consistent toutes à comparer plusieurs alternatives selon un ensemble explicite de critères, explorant ainsi les avantages et inconvénients de chacune d'elles.

Il existe donc de nombreuses méthodes pour mettre en œuvre l'AMC. Il est ainsi nécessaire d'opérer un choix dans le cadre de la démarche d'évaluation. Plusieurs travaux se sont penchés sur les critères pouvant faciliter ce choix, voire le systématiser. Nous mobilisons particulièrement ceux de Guitouni et Martel (1998), Schärli (1999) et Wątróbski et al. (2019). Ils mettent en avant les éléments suivants :

- le type de problématique

Cette catégorisation selon la « question posée », considère trois types de problématiques : « Choisir, sélectionner », « Trier, segmenter » et « Ranger, classer ». Autrement dit, la première approche vise à sélectionner la meilleure solution ; la seconde a pour objectif de classer les alternatives étudiées en différentes catégories et la troisième à classer les scénarios par ordre de préférence. Dans ce dernier cas, déterminer la nécessité d'un classement complet ou partiel est également nécessaire.

- le type de données

La principale distinction à opérer est celle entre données cardinales et données ordinales. Les premières supposent une information quantitative concernant la performance des alternatives et la pondération des critères, qui peuvent par exemple s'exprimer sur des échelles de notation. Les secondes se basent sur des classements des critères et des alternatives sur chaque critère selon leur performance.

- la nécessité et le type de pondération des critères (qualitatif, quantitatif ou relatif)

En effet, toutes les méthodes ne supposent pas la pondération des critères et le type de pondération peut varier au sens de la différence entre cardinal et ordinal.

- l'approche opérationnelle ou type d'agrégation

Ce caractère de la méthode multicritères fait référence à la manière dont les performances des alternatives sont agrégées. Il existe trois principaux types d'agrégation des performances des alternatives sur les indicateurs : l'agrégation complète, qui résume ces dernières en un indice unique, une note globale pour chaque alternative ; l'agrégation partielle ou surclassement de synthèse, qui procède à l'agrégation des surclassements, des comparaisons deux à deux des alternatives, et le jugement local interactif qui découle d'une séquence de jugements formulés par les parties prenantes selon un protocole conçu par la personne en charge de l'évaluation (Button et al., 2010; Roy et Bouyssou, 1993 ; Schärli, 1999 ; Figuera et al., 2005). L'agrégation complète donne un résultat clair, mais écrase la variété des jugements. L'agrégation partielle permet de comparer plus précisément les alternatives, mais elle est plus complexe techniquement (Schärli, 1999). Cette distinction est d'une grande importance dans le cas de l'évaluation durable, car le type d'agrégation fait écho aux notions de durabilité forte et de durabilité faible. En effet, les méthodes d'agrégation complète ne permettent d'émettre un jugement qu'au sens de la durabilité faible, alors que les méthodes d'agrégation partielles sont adaptées à l'évaluation selon la durabilité forte.

- le niveau et le type d'incertitude concernant les données (données d'entrée, préférences des « preneurs de décision » ou les deux)

Dans le cas où l'incertitude porte sur les données d'entrée, elle peut concerner les critères, les alternatives ou les deux. Dans le cas où elle porte sur les préférences des « preneurs de décision », des seuils de veto peuvent être utilisés et instituer des valeurs d'indifférence, de préférence, ou les deux.

- les outils disponibles

Certaines méthodes peuvent apparaître pertinentes d'un point de vue théorique, mais les outils informatiques pour les mettre en œuvre sont parfois inexistantes.

Les spécificités du sujet traité et la conception de la durabilité adoptée vont ainsi déterminer la méthode utilisée grâce à ces critères de choix.

Tableau 26 : Critères de sélection d'une méthode d'analyse multicritères

Critère	Configurations		
Type de problématique	Sélection	Classification	Hiérarchisation
si hiérarchisation	Totale	Partielle	
Type de données	Cardinale	Ordinale	
Pondération	Oui	Non	
si pondération	Qualitative	Quantitative	Relative
Type d'agrégation	Complète	Partielle	Locale
Incertitudes du problème de décision	Oui	Non	
si incertitude	Données d'entrée	Préférences	Les deux
si incertitude sur les données d'entrée	Critères	Alternatives	Les deux
si incertitude sur les préférences / seuils de veto	De préférence	D'indifférence	Les deux
Outils disponibles	Oui	Non	

En plus de ces critères, il est nécessaire de disposer d'un inventaire caractérisé des méthodes multicritères disponibles. Nous nous basons sur celui de Wałtróbski et al. (2019), qui comprend cinquante-six méthodes d'analyses multicritères. Nous n'utilisons cependant pas leur outil de choix, disponible en ligne à l'adresse www.mcda.it. En effet, il ne prend pas en compte le critère du type d'agrégation, d'importance dans le cas de l'évaluation durable. Nous utilisons particulièrement les deux tableaux descriptifs ci-dessous.

Tableau 27 et tableau 28: Description des caractéristiques d'un ensemble de cinquante-six méthodes d'analyse multicritères (Wątróbski et al., 2019)

Table 1

Taxonomy of MCDA methods.

Method name	Available binary relations					Linear compensation effect			Type of aggregation			Type of preferential information				
	I	P	Q	R	S	No	Total	Partial	Single criterion	Outranking	Mixed	Deterministic	Cardinal	Non-deterministic	Ordinal	Fuzzy
AHP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
ANP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
ARGUS	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
COMET	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
ELECTRE I	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE II	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE III	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE IS	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE IV	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE TRI	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
EVAMIX	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
Fuzzy AHP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
Fuzzy ANP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
Fuzzy methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
Fuzzy PROMETHEE I	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
Fuzzy PROMETHEE II	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
Fuzzy SAW	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
Fuzzy TOPSIS	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
Fuzzy VIKOR	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
IDRA	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
Lexicographic method	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
MACBETH	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
MAPPAC	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
MAUT	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
MAVT	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
Maximax	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Maximin	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Maximin fuzzy method	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
MELCHIOR	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
NIADE I	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
NIADE II	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
ORESTE	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
PACMAN	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
PAMSSEM I	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
PAMSSEM II	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
PRAGMA	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
PROMETHEE I	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
PROMETHEE II	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
QUALIFLEX	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
REGIME	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Simple Additive Weighting (SAW)	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
SMART	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
TACTIC	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
TOPSIS	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
UTA	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
VIKOR	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
DEMATEL	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
REMBRANDT	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0

*1 si vrai, 0 si faux

Table 2
The set of properties of the considered MCDA methods.

M _i	MCDA method	Abbr.	m _{1i}	m _{11i}	m _{2i}	m _{3i}	m _{31i}	m _{311i}	m _{312i}	m _{4i}	m _{41i}
M ₁	AHP	A _H	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₂	AHP + TOPSIS	A _H + T _P	1	3	2	0	0	0	0	3	2
M ₃	ANP	A _N	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₄	ARGUS	A _G	1	1	1	0	0	0	0	1	0
M ₅	COMET	C _T	0	0	2	1	1	2	0	3	2
M ₆	ELECTRE I	E ₁	1	2	1	0	0	0	0	1	0
M ₇	ELECTRE II	E ₂	1	2	1	0	0	0	0	3	1
M ₈	ELECTRE III	E ₃	1	2	2	1	2	0	3	3	1
M ₉	ELECTRE IS	E ₅	1	2	2	1	2	0	3	1	0
M ₁₀	ELECTRE IV	E ₄	0	0	1	1	2	0	3	3	1
M ₁₁	ELECTRE TRI	E _T	1	2	2	1	2	0	3	2	0
M ₁₂	EVAMIX	E _V	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₁₃	Fuzzy AHP	A _F	1	3	3	1	1	3	0	3	2
M ₁₄	Fuzzy AHP + fuzzy TOPSIS	A _F + T _F	1	3	2	1	1	3	0	3	2
M ₁₅	Fuzzy ANP	A _{NF}	1	3	3	1	1	3	0	3	2
M ₁₆	Fuzzy ANP + fuzzy TOPSIS	A _{NF} + T _F	1	3	2	1	1	3	0	3	2
M ₁₇	Fuzzy MIN_MAX ¹	E _F	0	0	1	1	1	2	0	4	0
M ₁₈	Fuzzy PROMETHEE I	P _{1F}	1	2	2	1	3	3	3	3	1
M ₁₉	Fuzzy PROMETHEE II	P _{2F}	1	2	2	1	3	3	3	3	2
M ₂₀	Fuzzy SAW	S _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₁	Fuzzy TOPSIS	T _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₂	Fuzzy VIKOR	V _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₃	Goal Programming	G _P	0	0	2	0	0	0	0	1	0
M ₂₄	IDRA	I _D	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₂₅	Lexicographic method	L _M	1	1	1	0	0	0	0	1	0
M ₂₆	MACBETH	M _B	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₂₇	MAPPAC	M _P	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₂₈	MAUT	M _U	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₂₉	MAVT	M _V	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₃₀	Maximax	M _X	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₁	Maximin	M _N	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₂	Maximin fuzzy method	M _F	1	2	2	1	1	2	0	1	0
M ₃₃	MELCHIOR	M _C	1	1	2	1	2	0	3	3	1
M ₃₄	MIN_MAX ¹	E _M	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₅	NAIADE I	N ₁	0	0	2	1	1	2	0	3	1
M ₃₆	NAIADE II	N ₂	0	0	2	1	1	2	0	3	2
M ₃₇	ORESTE	O _R	1	1	2	1	2	0	1	3	1
M ₃₈	PACMAN	P _C	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₃₉	PAMSSEM I	P _{A1}	1	2	2	1	3	2	3	3	1
M ₄₀	PAMSSEM II	P _{A2}	1	2	2	1	3	2	3	3	2
M ₄₁	PRAGMA	P _G	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₄₂	PROMETHEE I	P ₁	1	2	2	1	2	0	3	3	1
M ₄₃	PROMETHEE II	P ₂	1	2	2	1	2	0	3	3	2
M ₄₄	QUALIFLEX'	Q _F	1	1	1	0	0	0	0	3	1
M ₄₅	REGIME	R _G	1	1	1	0	0	0	0	3	1
M ₄₆	SAW	S _A	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₄₇	SMART	S _M	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₄₈	TACTIC	T _C	1	2	2	1	2	0	1	1	0
M ₄₉	TOPSIS	T _P	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₀	UTA	U _T	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₁	VIKOR	V _K	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₂	AHP + fuzzy TOPSIS	A _H + T _F	1	3	2	1	1	2	0	3	2
M ₅₃	Fuzzy AHP + TOPSIS	A _F + T _P	1	3	2	1	1	1	0	3	2
M ₅₄	AHP + VIKOR	A _H + V _K	1	3	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₅	DEMATEL	D _M	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₅₆	REMBRANDT	R _M	1	3	3	0	0	0	0	3	2

MIN_MAX¹ - Methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute.

m1 : pondération des critères : 0-non, 1-oui

m1.1. : si une pondération est utilisée : 1-qualitative, 2-quantitative, 3-relative

m2 : type d'échelle de notation de la performance des alternatives : 1- qualitative, 2- quantitative, 3- relative

m3 : le problème de décision comprend des incertitudes : 0- non, 1- oui

m3.1. : si le problème de décision comprend des incertitudes, quel aspect est concerné ? : 1- données d'entrée, 2- préférences des preneurs de décision, 3 – les deux

m3.1.1. : si l'incertitude porte sur les données d'entrée, s'agit-il : 1- des critères, 2- des alternatives, 3- des deux

m3.1.2. : si l'incertitude porte sur les préférences des preneurs de décision, les seuils de veto à mobiliser sont-ils : 1-d'indifférence, 2-de préférence et 3- des deux

m4 : type de problématique : 1 – sélection, 2- classification, 3- classement et sélection, 4- classification et sélection

m4.1. : type de classement attendu dans le cas de la problématique de classement : 1- classement partiel, 2- classement complet

6.3.3. Des méthodes de sélection des critères et indicateurs

L'ensemble de critères utilisé dans l'évaluation opérationnalise le concept de durabilité (Gilmour et al., 2011 ; Litman et Burwell, 2006 ; Nadi et Murad, 2017). Les groupes de critères et d'indicateurs mobilisés dans le cas de la mobilité durable montrent une importante variabilité, résultant de contextes géographiques, points de focalisation et disponibilité des données différents (Jeon et Amekudzi, 2005 ; Litman et Burwell, 2006 ; Gudmundsson et al., 2016). L'évaluateur doit se positionner et expliciter la logique de constitution de l'ensemble de critères et d'indicateurs adoptée. Nous résumons les principales approches dans le tableau ci-dessous.

Tableau 29 : Description des principales méthodes de constitution d'un ensemble de critères (adaptée de Jeon et Amekudzi, 2005)

Méthode de construction de l'ensemble de critères	Définition	Variante(s)	Outils
Selon une typologie existante	- Recours à une ou plusieurs classifications existantes, utilisées comme base de sélection	- Tripolaire - Quadripolaire - « Pentapolaire » - Retour aux principes de Brundland	- Recherches bibliographiques
Selon les liens de causalité	- Détermination selon les liens de causalité connus du système étudié	- « <i>Pressure-State-Response</i> » - « <i>Criterion-influences-actions-measures</i> »	- Représentations et modélisations systémiques
Selon les moyens d'influence	- Définition à partir des facteurs sur lesquels l'institution à l'origine de l'évaluation peut agir		
Procédurale	- Résultat d'un dispositif de concertation intégrant les parties prenantes		- Réunions publiques - <i>Focus group</i> - Ateliers

Ainsi, selon l'objet, le contexte et la conception de la durabilité adoptée, l'évaluateur se dirige préférentiellement vers l'une de ces approches.

Quelle que soit la logique de construction de l'ensemble de critères et d'indicateurs, l'utilisation d'une méthode d'évaluation multicritères y ajoute de nouvelles exigences. Roy et Boyssou (1996) résument ces dernières en distinguant les caractéristiques de cohérence, minimales (exhaustivité, cohésion et non-redondance), des propriétés d'indépendance (isolabilité, séparabilité et indépendance structurelle), à rechercher, mais trop restrictives pour conditionner la constitution d'un ensemble d'indicateurs.

L'« exhaustivité » correspond à la présence de tous les éléments nécessaires à la prise de décision. La « cohésion » fait référence à la cohésion entre le rôle local et global de l'indicateur. Les variations de performances d'une alternative sur un critère doivent se retrouver dans les préférences pour les actions. Ainsi, une évolution allant dans le sens de préférence actuel ne doit pas être à même d'altérer la comparabilité ou d'inverser la relation de préférence. Cette condition est *a priori* remplie lorsque l'indicateur correspond à un critère et que ce dernier respecte la définition précédemment donnée⁵⁸ (Roy, 1993). La « non-redondance » vise à une minimisation du nombre d'indicateurs dans le respect des exigences d'exhaustivité et de cohésion. En ce qui concerne l'indépendance entre indicateurs, trois formes sont distinguées : isolabilité, séparabilité et indépendance structurelle. L'isolabilité exige que deux alternatives puissent être comparées selon leur performance sur un indicateur pris isolément. Les jugements de préférence ne sont donc pas influencés par la valeur commune des performances des autres indicateurs. La « séparabilité » d'un ensemble d'indicateurs correspond au fait que la préférence globale entre deux alternatives ne dépend pas d'indicateurs qui ne les départagent pas. Ce principe correspond à la cohérence des décisions toutes choses égales par ailleurs. Finalement, le principe d'indépendance structurelle suppose l'absence de facteurs externes influençant conjointement plusieurs indicateurs. La plupart du temps cette dernière condition n'est pas atteignable. Le nombre d'indicateurs ne peut en effet pas être réduit selon ce critère sans qu'un élément indispensable à la prise de décision ne soit supprimé. Nous résumons ces conditions dans le tableau ci-dessous.

⁵⁸ Le critère est la traduction opérationnelle d'un point de vue. Chaque critère appréhende ainsi une catégorie homogène d'impacts, se rattachant à un même « axe de signification ». Les parties prenantes, doivent reconnaître ces derniers, au sens où elles peuvent concevoir la comparaison des alternatives analysées et argumenter leurs préférences à partir de ces critères (Roy, 1993).

Tableau 30 : Critères nécessaires et désirables s'appliquant à un ensemble d'indicateurs dans le cas de l'analyse multicritères (Roy et Boyssou, 1996)

Catégorie	Cohérence			Indépendance		
Critère	Exhaustivité	Cohésion	Non-redondance	Isolabilité	Séparabilité	Indépendance structurelle
Définition	Tous les éléments nécessaires à la prise de décision sont présents à travers l'ensemble d'indicateurs	Cohésion entre le rôle local et global des indicateurs.	Minimisation du nombre d'indicateurs	Capacité d'un indicateur à permettre une comparaison isolée	La relation de préférence ne dépend pas d'indicateurs ne départageant pas deux alternatives.	Absence de facteurs externes influençant conjointement plusieurs indicateurs

6.3.4. Un cadre de confrontation informationnelle entre scénarios et ensemble d'indicateurs

La dernière sous-étape de l'étape de définition du cadre de mesure consiste en la définition d'un cadre de confrontation informationnelle entre les scénarios obtenus à l'étape de cadrage de l'objet d'étude et l'ensemble de critères issu de la sous-étape précédente. Sa détermination est dépendante de l'ensemble d'indicateurs défini. En effet, la définition du cadre de confrontation consiste généralement en la recherche des causalités déterminantes de l'évolution des indicateurs. Ainsi, la personne en charge de l'évaluation s'attache à se référer à des cadres ou des représentations systémiques existantes du système étudié ou à en confectionner un.

6.4. L'étape de recueil de données nécessaires à l'évaluation, suggestion pour la caractérisation de la démarche participative

La troisième grande étape d'évaluation correspond au recueil ou à la génération des données nécessaires à l'évaluation. Le cadre méthodologique général proposé n'est pas prescriptif en matière de méthodes d'estimation, mais le recueil de données doit comprendre une démarche participative, comme nous l'avons spécifié précédemment. Notre proposition méthodologique pour l'évaluation de l'introduction du véhicule automatique se place en effet dans le double cadre de l'évaluation durable et de l'évaluation prospective, qui, l'une comme l'autre, pour des raisons distinctes, s'accordent sur l'intérêt d'une évaluation intégrant les parties prenantes.

Dans le cadre de notre méthodologie, et conformément à ses objectifs, deux types de données sont donc à recueillir :

- les données nécessaires à l'appréciation des effets des scénarios sur les indicateurs définis par le cadre de mesure de l'évaluation
- les données discursives issues de la consultation des parties prenantes, portant sur la place et la signification du véhicule automatique, dans l'objectif d'une analyse « herméneutique ».

Le dispositif participatif peut toutefois prendre des formes diverses dans le cadre d'une démarche d'évaluation. Dans un souci de transparence, nous considérons que la nature de ce dispositif doit être explicitée. Un cadre résumant les caractéristiques discriminantes d'une démarche participative a ainsi été établi à partir de la littérature correspondante.

Au sein de l'évaluation, la participation revêt en effet différentes réalités, caractérisables selon quatre dimensions (Plottu et Plottu, 2009 ; Salter, 2010 ; Daigneault et Jacob, 2012) :

- degré de participation / niveau de pouvoir des parties prenantes
- étape du processus d'évaluation à laquelle intervient la participation / étendue de l'implication
- sélection des participants
- méthodes et outils de participation.

La première porte sur le degré de participation, correspondant au niveau de pouvoir accordé aux parties prenantes. L'échelle d'Arnstein (1969) est la plus couramment convoquée pour décrire ce dernier (Fortier, 2014). Elle distingue trois degrés de participation : non-participation, pouvoir symbolique et pouvoir délégué. Le premier comprend la « manipulation » et le « conditionnement ». La participation intervient alors essentiellement comme un moyen d'influencer les parties prenantes. Au second, trois niveaux sont distingués : information, consultation et concertation. Les citoyens ou parties prenantes peuvent ainsi émettre et partager leur opinion. Au troisième, dit « pouvoir délégué », trois niveaux sont également définis : partenariat, délégation et contrôle. Dans le premier cas, les participants disposent d'un pouvoir de négociation, dans le second, ils détiennent une part notable du pouvoir de décision et dans le cas du contrôle, ils disposent de l'entièreté de ce pouvoir.

Tableau 31 : Echelle de participation d'Arnstein (Fortier, 2014)

Pouvoir délégué	Contrôle
	Délégation
	Partenariat
Pouvoir symbolique	Concertation
	Consultation
	Information
Non-participation	Conditionnement
	Manipulation

Le degré de participation des parties prenantes est également lié aux étapes de l'évaluation auxquelles la participation est intégrée, aussi désignée par l'expression « niveau d'ouverture » (Klopprogge et van der Sluijs, 2006). Considérant les contributions rassemblées par Salter (2010), nous distinguons quatre principales étapes :

- définition de l'objet d'étude
- identification des options
- analyse des options
- formulations des objectifs et des stratégies publics.

Dans le cas d'une approche par les parties prenantes, la question de leur sélection se pose. Pour orienter celle-ci, des principes de constitution et de repérage ont été formulés (Jacob et Ouvrard, 2009 ; Viel, 2018). Les premiers sont la diversité et la participation des acteurs critiques. La diversité vise à assurer le pluralisme des points de vue et des

perspectives. La sélection des participantes et participants doit ainsi se faire dans un souci de représentativité, en veillant à ne pas exclure les publics qui pourraient être désavantagés. La participation des acteurs critiques consiste à s'assurer de la participation des acteurs utilisateurs de l'évaluation. S'agissant du repérage des parties prenantes, la notion d'intérêt est couramment mobilisée, définie comme la combinaison de « revendications potentielles » et de « capacités d'agir », à travers une organisation et des ressources (Viel, 2018). De plus, en vue de spécifier la largeur de la participation mise en œuvre, certains travaux plaident pour l'utilisation de typologies, afin de s'assurer de la présence de chacune des catégories de parties prenantes. Nous notons par exemple, au sein des contributions francophones récentes, les catégorisations de Chédin et al. (2009), Plottu et Plottu (2009) et Daigneault et Jacob (2013).

Tableau 32 : Typologies des parties prenantes adaptées de Chédin et al. (2009) (en haut) et Daigneault et Jacob (2013) (en bas)

Type de parties prenantes	Catégories de parties prenantes
Parties prenantes internes	Décideurs et financeurs, commanditaires de l'évaluation
	Opérateurs
Parties prenantes externes	Partenaires financeurs, co-financeurs
	Opérateurs externes
	Bénéficiaires ciblés et indirects
Bénéficiaires indirects	Associations représentantes des citoyens
	Citoyens
Décideurs, concepteurs et gestionnaires	
Responsables de la mise en œuvre	
Tiers directement et indirectement affectés	Personnes visées ou affectées par le programme
Société civile et citoyens	Groupes organisés et citoyens ayant un intérêt matériel, politique ou scientifique dans le programme

Ces dernières sont destinées à l'évaluation de politiques publiques. Toutefois, la distinction entre décideurs, commanditaires de l'évaluation, responsables de la mise en œuvre/opérateurs et tiers directement et indirectement affectés par l'objet évalué semble être un découpage général largement utilisable.

Finalement, plusieurs types de difficultés sont désignés dans la sélections et la sollicitation des parties prenantes : repérer les individus, les convaincre et disposer de ressources financières et humaines adéquates pour mettre en œuvre la procédure de participation (Jacob et Ouvrard, 2009 ; Bourgeois et Hurteau, 2018).

La quatrième dimension caractérisant l'évaluation participative concerne les méthodes et outils de participation mobilisés. La méthode correspond à l'interface appuyant la communication avec et/ou entre les participants. Elle doit permettre de communiquer une information suffisante et d'entraîner la discussion sans contraindre la créativité et l'exploration de nouvelles idées. L'outil est quant à lui un mécanisme permettant d'activer cette interface. Ils sont principalement de deux types : génération et/ou l'analyse de scénarios et manipulation de modèles quantitatifs informatisés par les participants (Salter et al., 2010). Le recours aux scénarios a particulièrement lieu dans le cas de fortes incertitudes sur le futur et peut requérir des données qualitatives et quantitatives ou uniquement qualitatives. Quant aux modèles informatisés, leur utilisation directe ou indirecte par les participants est distinguée. Au sein des modes d'utilisation directs, trois formes se sont développées : construction participative de modèles, modèles « didactiques », qui permettent de présenter des phénomènes scientifiques, et modèles « outils », qui peuvent être directement manipulés. Dans les deux cas, ces dispositifs sont mis en œuvre lors d'ateliers ou de *focus group*. L'exercice de participation fait donc idéalement appel à des travaux de groupe. Toutefois, la plupart des évaluations participatives durables menées sont basées sur des consultations individuelles (Salter et al., 2010).

Nous résumons la description de ces quatre dimensions discriminantes de l'évaluation participative dans le tableau suivant :

Tableau 33 : Caractéristiques discriminantes de la participation dans l'évaluation participative

Degré de participation	Implication des parties prenantes	Sélection des participants	Méthodes et outils de participation
<p align="center">Echelle de participation d'Arnstein</p> <p>-Non-participation -Pouvoir symbolique -Pouvoir délégué</p>	<p align="center">Etape(s) au(x)quelle(s) la participation est intégrée</p> <p>-Définition de l'objet d'étude -Identification des options -Analyse des options -Formulation des objectifs et stratégies publics</p>	<p align="center">Principes de sélection</p> <p>-Diversité -Participation des acteurs critiques -Notion d'intérêt (revendications potentielles et capacités d'agir)</p> <p>-Typologie des parties prenantes :</p> <p>-Décideurs</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ responsables de la mise en œuvre ○ opérateurs ○ tiers directement et indirectement affectés par l'objet évalué 	<p align="center">Méthodes</p> <p>-Scénarios -Modèles quantitatifs informatisés</p> <hr/> <p align="center">Outils</p> <p>-Ateliers -Forcus group -Consultations individuelles</p>

Finalement, notons que l'évaluation participative montre deux principales limites : la fiabilité et la confiance dans les résultats de l'évaluation. Le processus d'évaluation s'éloigne en effet d'une démarche scientifique et sa validité externe peut de fait s'en trouver menacée. L'utilisation des résultats peut également être questionnée, la confiance dans ceux-ci étant altérée par un manque supposé ou réel d'expertise et de compétences des parties prenantes. Ainsi, dans le cas d'un niveau d'implication élevée des parties prenantes, une formation aux principes de l'évaluation peut s'avérer nécessaire (Plottu et Plottu, 2009). Le développement de méthodes de participation intégrant des modèles quantitatifs informatisés intégrant des interfaces d'interaction est ainsi une piste de recherche pour pallier à ces limites, même si elle en génère de nouvelles, notamment en matière d'appropriation et d'implication (Salter et al., 2010).

Les caractéristiques discriminantes de l'évaluation participative dégagées dans le tableau 33 servent à la fois de guide méthodologique et de moyen pour la personne en charge de l'évaluation de situer la démarche participative mise en place. La description de cette dernière est en effet importante pour se conformer à la norme de transparence de l'évaluation durable.

6.5. L'étape de traitement des données récoltées, une grille d'analyse « herméneutique » pour l'analyse des données qualitatives

Au vu de la méthodologie proposée, le traitement des données comprend à la fois un pan quantitatif, tenant de l'évaluation des scénarios à proprement parler, et un pan qualitatif, qui vise à exploiter le contenu prospectif des discours des parties prenantes.

L'analyse quantitative intègre l'analyse descriptive des données concernant la pondération des indicateurs, l'estimation des effets des scénarios sur les différents indicateurs et l'analyse multicritères. Dans l'étude des pondérations, les poids moyens relatifs des indicateurs et la variabilité de ceux-ci, identifiable grâce à l'écart-type des valeurs de pondération, sont d'importance. Ces informations peuvent donner lieu à une catégorisation des indicateurs. Dans l'étude des effets des scénarios, au-delà de commentaires techniques propres au mode d'estimation, les résultats les plus saillants doivent être relevés, c'est-à-dire significatifs de différences ou de points communs notables entre les scénarios. Quant à l'analyse multicritères, les points à renseigner sont dépendants de la méthode choisie. Ces trois types de traitements correspondent au déroulé classique dans le cas d'une analyse multicritères.

L'exploitation des données qualitatives se fait grâce à une analyse de type « herméneutique », au sens qui lui est donné dans le cadre de l'évaluation des technologies (Grunwald, 2009), et peut être complétée d'analyses de contenu thématiques (Robert et Bouillaguet, 2007). Si l'analyse de contenu thématique est entièrement dépendante des données récoltées, nous prescrivons pour l'analyse « herméneutique » un canevas adapté des travaux de Grunwald (2019). Nous le décrivons dans la section suivante.

A l'instar des positions propres à la prospective et à l'évaluation des technologies, nous considérons que les discours tenus contiennent des indices significatifs sur la nature des évolutions à venir et influencent la future gouvernance de la technologie (Grunwald, 2019 ; Morrissey, 1995). Afin de synthétiser les éléments prospectifs d'intérêt, nous nous appuyons sur la grille d'analyse dite « herméneutique » proposée par Grunwald (2019). Elle comprend deux grandes catégories d'analyse : la définition de la nouvelle technologie et les récits sur le futur. Concernant la définition de la technologie, les débats sur les caractéristiques techniques et physiques de la technologie sont à relever. Nous y ajoutons les caractéristiques servicielles considérant nos scénarios, qui tiennent de la description de différents modes de transport. Dans la seconde catégorie, les récits sur le futur sont classés en trois thèmes : développement technologique, effets voulus et non voulus de la technologie et interactions avec les structures sociales, économiques et culturelles. Selon le premier thème, les éléments à prendre en compte concernent la manière dont la technologie se développerait et son statut, la façon dont elle est perçue. Le second thème s'intéresse aux attentes que la technologie encapsule et à ses effets sur la société en dehors des objectifs de sa conception. Les commentaires portant sur les effets sociaux et environnementaux non voulus, ainsi que sur les possibles phénomènes de nécessités d'adaptation, de vulnérabilités liées à la dépendance au fonctionnement de la technologie et de détournements sont à consigner. Les nécessités d'adaptation à la technologie consistent principalement en l'adaptation aux interfaces d'utilisation. Les vulnérabilités liées à la dépendance au fonctionnement de la technologie tiennent principalement aux risques de défaillance de la technologie, appelés risques de sûreté. Enfin, les détournements possibles font référence à une utilisation de la technologie à des fins non prescrites. Les potentiels emplois d'ordre criminel sont à noter. Considérant notre méthodologie, ce relevé est d'intérêt puisqu'il permet de dépasser les effets désignés par le cadre de mesure. Enfin, le troisième thème des interactions avec les structures sociales, économiques et culturelles, se focalise particulièrement sur l'incidence de la technologie étudiée sur les comportements individuels, sur les intérêts et rôles des acteurs et sur les conflits que la technologie pourrait générer. Nous résumons dans le tableau ci-dessous l'ensemble des éléments à relever.

Tableau 34 : Grille d'analyse herméneutique mobilisée

Définition de la technologie	Récits sur le futur
<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques techniques - Caractéristiques physiques - Caractéristiques « servicielles » 	<p>Développement technologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nature du développement technologique - Statut du développement technologique dans la société
	<p>Effets voulus et non voulus de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espoirs, potentiels sociaux - Effets sociaux non voulus - Effets environnementaux non voulus - Nécessités d'adaptation - Vulnérabilités liées à la dépendance au fonctionnement de la technologie - Détournements possibles
	<p>Interactions avec les structures sociales, économiques et culturelles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comportements individuels - Rôles et intérêts des acteurs - Conflits repérables

Conclusion : un cadre méthodologique d'évaluation répondant aux principes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable

Le bilan des travaux d'évaluation du véhicule automatique réalisé dans la partie précédente avait permis de désigner certains besoins de développement et de formalisation méthodologiques. Nous avons ainsi déterminé que les étapes de définition de l'objet d'étude et de constitution du cadre de mesure devaient être étayées grâce aux travaux déjà existants en matière d'évaluation prospective pour la première, et d'évaluation durable pour la seconde. L'objet de ce sixième chapitre était de systématiser l'intégration de ces contributions au sein d'un cadre méthodologique général. Les propositions méthodologiques formulées ont été définies en fonction des manques constatés en matière d'évaluation du véhicule automatique. Elles peuvent également être reprises pour l'analyse d'autres objets présentant des caractéristiques similaires, particulièrement des technologies émergentes, d'autant que notre contribution prend notamment la forme d'outils « d'orientation », conçus pour guider les choix de la personne en charge de l'évaluation au sein des méthodes disponibles aux différentes étapes.

La méthodologie proposée montre plusieurs spécificités, déterminées dans l'objectif de répondre aux principes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable :

- un cadrage à dimension prospective, qui prend la forme de la construction de scénarios
- une coordination explicite des étapes de cadrage et de définition du cadre de mesure
- un recours à l'analyse multicritères
- la mise en œuvre d'une démarche participative
- l'exploitation qualitative des contributions des parties prenantes, c'est-à-dire des données discursives recueillies grâce au dispositif participatif.

A ces positionnements généraux s'ajoutent des méthodes « d'orientation » et d'analyse, originales ou sélectionnées dans la littérature, mobilisées aux différentes étapes de la méthodologie. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 35 : Méthodes d' «orientation» et d'analyse définies dans le cadre de la méthodologie proposée

A l'étape de cadrage de l'objet d'étude
1. Grille de caractérisation du contexte de Pope et al. (2017)
2. Grille de caractérisation des scénarios de Börjeson (2006)
3. Analyse structurelle et analyse morphologique de Godet (2007)
A l'étape de définition du cadre de mesure de l'évaluation
4. Grille de caractérisation de la conception de la durabilité d'un système de transport
5. Grille de caractérisation de la méthode d'analyse multicritères selon Guitouni et Martel (1998) et Schärli (1998) et sélection à partir de l'inventaire de Wałtróbski et al. (2019)
6. Tableau de synthèse des approches envisageables pour la construction d'un ensemble de critères adapté de Jeon et Amekudzi (2005)
7. Grille de critères de Roy et Boyssou (1996) sur la compatibilité de l'ensemble de critères avec l'analyse multicritères
8. Cadre de confrontation du contenu des scénarios et du cadre de mesure défini
A l'étape d'estimation des effets des scénarios
9. Grille de caractérisation de la démarche participative adoptée
A l'étape de traitement des données
10. Analyse herméneutique inspirée de Grunwald (2019)
11. Analyses thématiques

Le prochain et dernier chapitre aura ainsi pour objet l'application de la proposition méthodologique décrite. Nous souhaitons, à travers un cas d'étude, montrer l'applicabilité et l'intérêt de celle-ci et dégager des pistes d'amélioration. Cette mise en œuvre tient de la « preuve de concept ». Nous avons choisi pour cela comme terrain d'étude la Métropole de Rouen.

Chapitre 7 : Application à la Métropole de Rouen, une « preuve de concept »

Ce dernier chapitre est consacré à la mise en œuvre de la méthodologie d'évaluation durable et prospective du véhicule automatique décrite au chapitre précédent, sur le principe de la « preuve de concept », aussi appelée démonstration de faisabilité. La preuve de concept, traduction de « *proof of concept* », correspond à une « réalisation expérimentale, expérience ou projet pilote, qui démontre qu'un concept est réalisable »⁵⁹. Le premier objectif de cette preuve de concept est donc de démontrer la faisabilité de notre proposition méthodologique. Les résultats obtenus doivent être d'intérêt et correspondre aux objectifs de départ (Dos Anjos Borges, 2017). Cette première illustration sera également le moyen d'identifier des pistes d'amélioration. Ainsi, la démarche d'évaluation (fig. 18) et les différentes méthodes d'orientation et d'analyse (tabl. 35) définies au chapitre précédent sont appliquées au cas de la Métropole de Rouen Normandie. Quatre raisons principales ont présidées au choix de ce terrain d'étude : l'accueil sur le territoire d'expérimentations de véhicules automatiques depuis 2016 ; l'engagement de l'entreprise accueillant la réalisation de ce travail de thèse, *Renault*, dans l'expérimentation *Rouen Normandy Autonomous Lab (RNAL)* et les expérimentations à venir dans le cadre du projet SAM ; l'implication des acteurs publics locaux sur cette thématique et la taille de l'agglomération, qui, quoique importante, ne complexifie pas outre mesure la réalisation d'une preuve de concept.

Le plan de ce chapitre reprend les grandes étapes de l'évaluation : le cadrage de l'objet d'étude (7.1), la définition du cadre de mesure (7.2), le recueil de données (7.3) et le traitement des données (7.4). Notons que nous nous plaçons dans un contexte « fictif » d'aide à la décision locale, au sens où aucune étude d'évaluation n'a été commandée par la Métropole de Rouen.

7.1. Le cadrage de l'objet d'étude, scénarios d'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen

Procédons en premier lieu à la mise en œuvre de la première étape de l'évaluation : le cadrage de l'objet d'étude. Il s'agit de construire des scénarios représentatifs de l'introduction du véhicule automatique dans la Métropole Rouen Normandie. Cette étape comprend la caractérisation des scénarios et leur construction.

⁵⁹ Traduction de la définition du Oxford English Dictionary (2021) : « [evidence, typically deriving from an experiment or pilot project, demonstrating that a design concept, business proposal, etc., is feasible.](#) »

7.1.1. La caractérisation des scénarios

Rappelons tout d'abord les caractéristiques du contexte d'étude à partir du canevas proposé par Pope et al. (2017).

Tableau 36 : Caractérisation du contexte d'étude selon la grille de Pope et al. (2017)

Caractéristiques contextuelles	
Objet de de la décision	Aide à la définition de l'action publique locale en matière de véhicules automatiques
Nature de la décision	Définition du mode d'introduction à privilégier et des moyens d'intervention possibles
Porteur de l'évaluation	Métropole de Rouen
Preneur de décision	Métropole de Rouen
Parties prenantes	Fournisseur des véhicules, Opérateur des véhicules, Autorités publiques locales, Société civile
Public envisagé pour l'utilisation des résultats	Ensemble des parties prenantes
Limites géographiques	Territoire dont l'autorité publique est en charge : Métropole de Rouen Normandie (limites administratives)
Limites temporelles	Court terme
Activités affectées par l'objet d'étude	Organisation des services de transport, Gestion des infrastructures, Planification, Régulation, Taxation

Ensuite, afin de déterminer le type de scénario à concevoir, nous utilisons la catégorisation de Börjeson (2006). Le premier niveau de ségrégation distingue les scénarios prédictifs, exploratoires et normatifs. Dans notre cas d'étude, les scénarios sont un moyen d'explorer de potentielles situations à venir. Ils ne peuvent donc pas être considérés comme prédictifs, l'inexistence actuelle de cette technologie rendant des extrapolations difficiles. Des scénarios normatifs, qui répondraient, dans la logique de notre étude, aux enjeux de durabilité des transports locaux, pourraient être envisagés. Il serait toutefois dans ce cas nécessaire d'en étendre le spectre. Les véhicules automatiques devraient ainsi être intégrés à des scénarios plus larges. Cela nous éloignerait de notre objet d'étude et ne retranscrirait pas la situation des autorités publiques locales face à celui-ci, caractérisée par l'incertitude et un contrôle seulement partiel de la nature de son introduction. De plus, les scénarios normatifs sont plus couramment mobilisés lorsque la scénarisation joue directement un rôle d'aide à la

décision et n'est pas intégrée à une démarche d'évaluation. Nos scénarios se situent donc dans une démarche exploratoire. Un scénario exploratoire peut être externe ou stratégique. Cette distinction repose sur le niveau de contrôle que peuvent exercer sur l'objet d'étude l'étude les acteurs auxquels l'évaluation est destinée. Considérant que le véhicule automatique est un élément exogène au territoire, et que l'influence des acteurs locaux est limitée, nous déterminons que les scénarios à développer sont des scénarios exploratoires externes.

Tableau 37 : Type de scénarios à développer selon la typologie de Börjeson (2006)

Prédictif		Exploratoire		Normatif	
Prédictions	Scénarios de simulation	Externes	Stratégiques	Conservateur	Transformant

7.1.2. La construction des scénarios sur le territoire de la Métropole de Rouen

Après la détermination du type de scénarios attendu vient leur construction. Pour cela, comme présenté dans le chapitre précédent, nous mobilisons successivement les méthodes de l'analyse structurelle et de l'analyse morphologique (Godet, 2007).

L'analyse structurelle

Comme nous le détaillons dans le chapitre précédent, l'analyse structurelle comprend trois principales étapes : le recensement des variables, la construction de la matrice d'analyse structurelle, à l'origine du plan des influences-dépendances, et la désignation des variables clés.

Le recensement des variables

Le recensement des variables peut être effectué à partir de tous moyens de « *brainstorming* et de créativité », des « ateliers de prospective », aux entretiens non directifs auprès des acteurs du système étudié (Godet, 2007). Dans notre cas, nous mobilisons trois sources de données à cette phase : les travaux de prospective déjà réalisés au sujet du véhicule automatique, les éléments de description du VA utilisés dans les études d'évaluation dédiées, référencées dans la partie précédente (tabl.14), et la consultation, à travers des

entretiens semi-directifs, des acteurs participants au projet local d'expérimentation sur le territoire de la Métropole de Rouen Normandie : *Rouen Normandy Autonomous Lab*⁶⁰. Les deux ensembles de recherches bibliographiques pourraient par exemple être remplacés par la consultation d'experts nationaux ou locaux. L'utilisation de ces documents permet toutefois de considérer des tendances plus larges, d'autant que, comme nous l'avons vu, le développement de cette technologie a lieu au niveau international.

Panorama des variables mobilisées dans les études prospectives sur le véhicule automatique

Notre recensement des variables mobilisées dans les études prospectives portant sur les véhicules automatiques s'appuie sur le récent état de l'art de Stead et Vagnoni (2019), complété de références non mobilisées par ceux-ci (Fraedrich et al., 2015 ; Clark, 2016 ; Phillips, 2018 ; Brenden et al., 2017). Les contributions considérées portent sur le niveau national, urbain ou sur des échelles géographiques indéfinies. Malgré la focale urbaine de notre étude, le nombre réduit de travaux nous pousse à prendre en compte l'ensemble de ces études. Nous les résumons dans le tableau ci-dessous.

Tableau 38 : Variables descriptives du véhicule automatique utilisées dans les travaux prospectifs

Phénomène influent	Variable
Développement technologique	Vitesse de développement technologique
	Résultats des expérimentations
	Accidents à la phase de développement
	Cybersécurité
	Interopérabilité des technologies
	Infrastructures physiques nécessaires
	Infrastructures de télécommunication nécessaires
	Consommation énergétique
	Soutien politique à l'échelle nationale et internationale
	Investissements publics dédiés à l'échelle nationale et internationale
Mise en œuvre de la technologie	Prix
	Offre de taxis / VTC
	Intégration aux transports en commun
Image de la technologie	Coûts et bénéfices perçus

⁶⁰ Cette consultation a donné lieu à une analyse plus approfondie sur le rôle de cette expérimentation au sein du territoire de la Métropole de Rouen et dans le processus de développement de cette technologie plus généralement, consignée dans un article publié en 2021 dans la revue Recherche Transports Sécurité : Buisson et al. (2021).

	Barrières psychologiques
	Marketing/ Publicité
Politiques publiques de transport, planification	Gouvernance / Réglementation du secteur des transports
	Organisation des services de transports publics
	Dispositifs de restriction de la demande automobile
	Taxation des différents modes de transport
	Occupation de l'espace public
	Développement du modèle <i>MaaS</i>
Marché local des transports	Nature des acteurs
	Répartition du pouvoir entre les acteurs
Comportement de mobilité des individus	Utilisation des différents modes
	Taux de motorisation
	Acceptation du partage
	Digitalisation des échanges
	Attitudes vis-à-vis du véhicule automatique

Description du véhicule automatique dans les travaux d'évaluation

Dans le troisième chapitre, nous avons synthétisé les caractéristiques utilisées dans le cadre des travaux d'évaluation du véhicule automatique pour décrire l'objet d'étude. Nous reprenons également ces résultats, présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 39 : Variables descriptives du véhicule automatique utilisées dans les travaux d'évaluation

Phénomène influent	Variables
Développement technologique	Niveau d'automatisation
	Soutien des autorités publiques au VA
Mise en œuvre de la technologie	Lieu de déploiement
	Taux de pénétration
	Horizon temporel
	Capacité des véhicules
	Infrastructures de télécommunications nécessaires
	Infrastructures physiques nécessaires (niveau de ségrégation)
	Mode d'exploitation
	Coûts de fonctionnement
	Temps d'attente moyen
Disponibilité des transports en commun	

Politiques publiques de transport, planification	Régulation publique des services de transport assurés par le VA
Comportements de mobilité des individus	Partage des véhicules
	Pratique du covoiturage
	Taux de motorisation
	Nombre de déplacement(s)/habitant/jour
	Distance moyenne de déplacement
	Taux d'occupation des véhicules
Contexte géographique	Forme urbaine

Consultation des acteurs du projet local d'expérimentation

Le recensement des variables est finalement complété par la consultation des représentants des institutions participant à l'expérimentation *Rouen Normandy Autonomous Lab*, qui s'est déroulée entre octobre 2017 et décembre 2019. Cette dernière consistait en l'expérimentation d'un système de « service de mobilité à la demande sur routes ouvertes avec des véhicules électriques autonomes accessibles au public »⁶¹, dans la zone du Technopôle du Madrillet, à Saint-Etienne-du-Rouvray. Quatre voitures citadines *Renault Zoé*, automatisées par les entreprises *Transdev* et *Renault*, d'un niveau d'automatisation assimilable au SAE 3 ont été testées. Leur circulation s'effectuait sur un itinéraire prédéfini de dix kilomètres comportant dix-sept arrêts, selon trois boucles ayant pour origine le terminus du tramway « Technopôle Madrillet ». Les trois trajets ont été ouverts progressivement au roulage et au test par un panel de volontaires, d'abord la boucle desservant le campus universitaire (juin 2018), puis celle allant au centre commercial (novembre 2018) et finalement celle reliant le Zénith (novembre 2019).

⁶¹ [Communiqué de presse, octobre 2017](#)

Image 1 : Boucles de circulation des véhicules de l'expérimentation Rouen Normandy Autonomous Lab



Neuf entretiens semi-directifs ont été menés entre décembre 2017 et décembre 2018 auprès des représentant-e-s des membres du projet, soit *Transdev*, *Renault*, *Matmut*, Métropole de Rouen Normandie, Région Normandie et Caisse des Dépôts et Consignations Normandie. Ces entretiens avaient pour thème le « rôle » de la tenue de cette expérimentation, mais également les déterminants et les facteurs influençant l'introduction des véhicules automatiques⁶².

Nous résumons ces rencontres dans le tableau ci-dessous.

⁶² Les questions suivantes ont été soumises à l'ensemble des personnes interrogées :

- A quel horizon temporel imaginez-vous l'arrivée de véhicules complètement automatiques ?
- Quels services/applications du véhicule autonome imaginez-vous dans la Métropole de Rouen ?
- Quel rôle pourrait jouer des véhicules autonomes dans la mobilité rouennaise ? Qu'est-ce que cela modifierait ?
- Quels facteurs vont favoriser l'introduction des véhicules autonomes ?
- Quels facteurs vont défavoriser l'introduction des véhicules autonomes ?
- Quels facteurs vont favoriser l'utilisation des véhicules autonomes ?
- Quels facteurs vont défavoriser l'utilisation des véhicules autonomes ?
- Quelles sont les tendances en matière de mobilité urbaine qui pourraient interagir avec le développement du véhicule autonome ?
- Quelles sont les tendances en matière de mobilité urbaine qui pourraient interagir avec l'utilisation du véhicule autonome ?
- Quelles sont les tendances sociétales qui pourraient interagir avec le développement du véhicule autonome ?
- Quelles sont les tendances sociétales qui pourraient interagir avec l'utilisation du véhicule autonome ?

Tableau 40 : Entretiens menés auprès des membres de l'expérimentation RNAL

Transdev	Renault	Matmut
<p>Chef de projet R&D <i>Direction Systèmes de Transport Autonome</i> Décembre 2018</p>	<p>Directrice du pôle des « services de mobilités autonomes » <i>Direction de la Recherche</i> Août 2018</p>	<p>Responsable des projets et partenariats <i>Direction Générale Adjointe Assurances IARD*</i> Novembre 2018</p>
<p>Coordinateur projet RNAL TCAR Décembre 2018</p>	<p>Coordinatrice projet RNAL <i>Direction de la Recherche</i> Décembre 2017</p>	
Métropole de Rouen	Région Normandie	Caisse des dépôts
<p>Adjointe Directeur Général Adjoint <i>Département Espaces Publics et Mobilité Durable</i> Juillet 2018</p>	<p>Chargé de mission innovation <i>Service Grands Projets et Innovation</i> Décembre 2018</p>	<p>Directrice Régionale Octobre 2018</p>
<p>Chef de service <i>Service prospective et études préalables</i> Septembre 2018</p>		

* Incendie, Accidents et Risques Divers

Nous catégorisons les variables relevées lors des entretiens selon la classification établie dans les rubriques précédentes. Nous y ajoutons les catégories « Offre locale de transport » et « Contexte national ».

Tableau 41 : Variables désignées comme influentes sur l'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen par les personnes interrogées

Phénomène influent	Variables
Développement technologique	Vitesse de développement technologique
	Accidents dans la phase de développement
	Cybersécurité
	Infrastructures (nécessité, nature, coût d'investissement, coût de maintenance)
	Soutien des autorités publiques locales
	Soutien des autorités publiques nationales
Mise en œuvre de la technologie	Mode d'exploitation (lignes de transports en commun, taxi, voiture individuelle)
	Service de transport à la demande
	Lieu de déploiement (position géographique dans l'agglomération, fonction)
	Disponibilité temporelle
	Intégration aux transports en commun
	Prix
	Fiabilité (freinages bruts, pannes, accidents)
	Sécurité
	Sûreté à bord
	Confort
	Temps de parcours comparé
	Temps d'attente
	Partage des véhicules
	Comportements à bord du véhicule
	Services à bord
	Motorisation (électrification)
	Financement des infrastructures dédiées aux véhicules automatiques (financeurs, contrats)
	Image de la technologie	Barrières psychologiques
Attitudes des individus vis-à-vis du véhicule automatique	
Mouvements de contestation	
Politiques publiques de transport, planification	Réglementation du secteur des transports
	Rôle des différents acteurs (services/fonctions assurés, nature des partenariats publics-privés, rôle de l'AOM)
	Partage des données

	Réglementation des services de taxis et de VTC par l'AOM (autorisation de circulation, tarifs)
	Dispositifs de restriction de la demande automobile (zones de circulation restreinte, péage urbain, stationnement, limitations d'accès au centre-ville)
	Voies réservées aux véhicules à occupation multiple
	Vision <i>smart city</i>
Marché local des transports	Nature des entreprises présentes (secteur, taille, nouveaux entrants)
	Mouvements d'entreprises (rachats, partenariats)
Offre locale de transports	Offre de transports en commun (maillage, niveau de service, évolution du réseau structurant)
	Gratuité des transports en commun
	Place des syndicats dans les transports en commun
	Offre de taxis / VTC
	Offre de services d'autopartage
	Disponibilité d'un service de type <i>MaaS</i>
Comportement de mobilité des individus	Part modale de la voiture
	Part modale des transports en commun
	Part modale du vélo
	Part modale de la marche à pied
	Multimodalité
	Taux d'occupation des véhicules
	Taux de motorisation
	Part des ménages multimotorisés
	Autopartage
	Utilisation d'engins de déplacements personnels
Contexte géographique	Congestion (niveau, localisation)
	Proportion des différents types d'espaces dans l'aire d'étude (zones centrales, périurbaines, rurales)
	Infrastructures de transport majeures à venir
	Nature des zones d'emplois (zones industrielles)
	Etat des infrastructures routières
Contexte national	Stratégie nationale en matière de transports

La consultation des travaux de prospective, des travaux d'évaluation, ainsi que des acteurs de l'expérimentation locale de véhicules automatiques sur le territoire d'étude, nous ont permis de recenser les variables susceptibles d'influencer l'introduction des véhicules automatiques dans la Métropole de Rouen Normandie.

Afin de constituer notre matrice d'analyse structurelle, nous réalisons une synthèse de ces variables, en effectuant les agrégations et suppressions nécessaires, ainsi qu'un regroupement des variables internes d'une part et externes d'autre part, les premières étant celles qui « caractérisent le sous-système faisant l'objet de l'étude » et les secondes celles qui « constituent son environnement ».

Tableau 42 : Liste des variables retenues pour la matrice d'analyse structurelle

VARIABLES INTERNES	
Développement technologique	1. Vitesse de développement technologique
	2. Accidents à la phase de développement
Caractéristiques du mode de transport	3. Niveau d'automatisation
	4. Capacité du véhicule
	5. Infrastructures de télécommunication nécessaires
	6. Infrastructures physiques nécessaires
	7. Mode d'exploitation
	8. Service à la demande
	9. Disponibilité temporelle
	10. Disponibilité spatiale
	11. Intégration aux transports en commun
	12. Taux d'occupation
	13. Coûts d'investissement
	14. Coûts de fonctionnement
	15. Taux de pénétration
	16. Type de motorisation
	17. Consommation énergétique
Performance du mode de transport	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent
	19. Temps de parcours comparé
	20. Temps d'attente
	21. Confort
	22. Fiabilité

	23. Sécurité
	24. Services à bord
Utilisation du mode	25. Attitudes vis-à-vis des VA
	26. Comportements à bord des VA
Enjeux économiques et financiers	27. Financement des infrastructures dédiées au VA
	28. Enjeux économiques et industriels nationaux
	29. Compétition économique et industrielle internationale
	30. Nature des entreprises impliquées
	31. Mouvements d'entreprises
Rôle des autorités publiques	32. Soutien des autorités publiques locales aux VA
	33. Soutien des autorités publiques nationales aux VA
VARIABLES EXTERNES	
Mobilité des individus	34. Part modale de la voiture individuelle
	35. Part modale des transports en commun
	36. Part modale du vélo
	37. Part modale de la marche à pied
	38. Part modale des engins de déplacements personnels
	39. Taux de motorisation
	40. Part des ménages multimotorisés
	41. Covoiturage
	42. Autopartage
	43. Nombre moyen de déplacement par jour/ind.
	44. Distance moyenne de déplacement par jour/ind.
	45. Multimodalité
	46. Digitalisation des activités et des échanges
Offre locale de transport	47. Qualité du réseau de transports en commun
	48. Prix des transports en commun
	49. <i>MaaS</i>
	50. Offre de taxis/VTC
	51. Offre de services d'autopartage
	52. Congestion
	53. Etat des infrastructures de transport
	54. Infrastructures majeures de transport à venir
	55. Organisation du marché des transports

Réglementation locale du secteur des transports	56. Réglementation des services de taxis/VTC
Politiques publiques locales en lien avec les transports	57. Dispositifs de restriction de la demande automobile
	58. Occupation de l'espace public
	59. Voies réservées aux véhicules à occupation multiple
Contexte géographique	60. Forme urbaine
Contexte national	61. Stratégies/orientations nationales en matière de transports

Une définition de chacune de ces variables est donnée à l'Annexe 3.

Les suppressions, regroupements et changements de noms suivants ont été effectués par rapport aux tableaux de classification précédents :

- La variable de « Lieu de déploiement » est traduite par « Disponibilité spatiale ».
- La variable « Taux d'occupation des véhicules », correspond à « Covoiturage ».
- La variable « Taxation des différents modes de transport », correspond, dans les sources mobilisées, à un des « Dispositifs de restriction de la demande automobile ».
- Les variables « Coûts et bénéfices perçus » et « Vision *smart city* » sont retranscrites à travers le « Soutien des autorités publiques locales ».
- Les variables « Proportion des différents types d'espaces » et « Localisation des emplois » correspondent à la variable « Forme urbaine ».
- La variable « Partage des données » est considérée comme incluse dans « Disponibilité du service *MaaS* », puisqu'elle en est la condition initiale.
- La variable « Investissements publics dédiés au véhicule automatique à l'échelle nationale et internationale » est considérée comme incluse dans « Soutien des autorités publiques nationales ».
- La variable « Investissements publics dans le secteur des transports » est supprimée, considérée comme incluse dans « Stratégies/orientations nationales en matière de transports ».
- La variable « Cybersécurité » est retirée, car comprise au sein de celle de « Sécurité », au sens où les attaques informatiques que pourraient subir les véhicules automatiques mettent en jeu la sécurité physique de ce mode de déplacement.
- Les variables « Horizon temporel de déploiement », « Résultats des expérimentations » et « Interopérabilité des systèmes » sont résumées par « Vitesse de développement technologique » et « Accidents à la phase de développement ».

- Les variables « Marketing/Publicité », « Mouvements de contestation » et « Barrières psychologiques à l'utilisation des véhicules automatiques » sont retranscrites dans « Attitude vis-à-vis du véhicule automatique ».
- Les variables « Nature des acteurs du système de transport local » et « Répartition du pouvoir entre les acteurs du système de transport local » sont complémentaires et forment le cœur de l'« Organisation du marché des transports », que nous mobilisons.
- Finalement, nous n'incluons pas la variable de régulation des services de transport automatiques, puisque la définition de celle-ci, bien évidemment influente sur l'introduction de ces véhicules, est un des principaux objectifs de notre analyse. Nous ne la supposons donc pas déterminée dans les scénarios.

La matrice d'analyse structurelle

Selon le principe de l'analyse structurelle, pour déterminer les variables clés nécessaires à la construction des scénarios, les soixante et une variables finalement sélectionnées sont placées dans un tableau à double entrées, dans le logiciel « Micmac »⁶³. Cette matrice est ensuite complétée selon l'intensité de l'influence des variables en lignes sur les variables en colonnes. Ces influences sont signifiées selon une gradation à cinq niveaux : 0, pas d'influence ; P, influence potentielle ; 1, influence faible ; 2, influence moyenne et 3, influence forte. Lors de cet exercice, il est nécessaire, pour caractériser correctement la relation entre les variables, de s'interroger sur le sens de la relation, sur l'existence de relations de colinéarité ou de variables « relais ». Les relations répertoriées dans la matrice doivent faire l'objet d'une explicitation ou justification. A titre d'exemple, nous considérons les relations suivantes s'agissant de l'influence de la première variable sur les autres variables répertoriées dans la matrice d'analyse structurelle :

⁶³ Disponible gratuitement sur demande depuis le site www.lapropective.fr

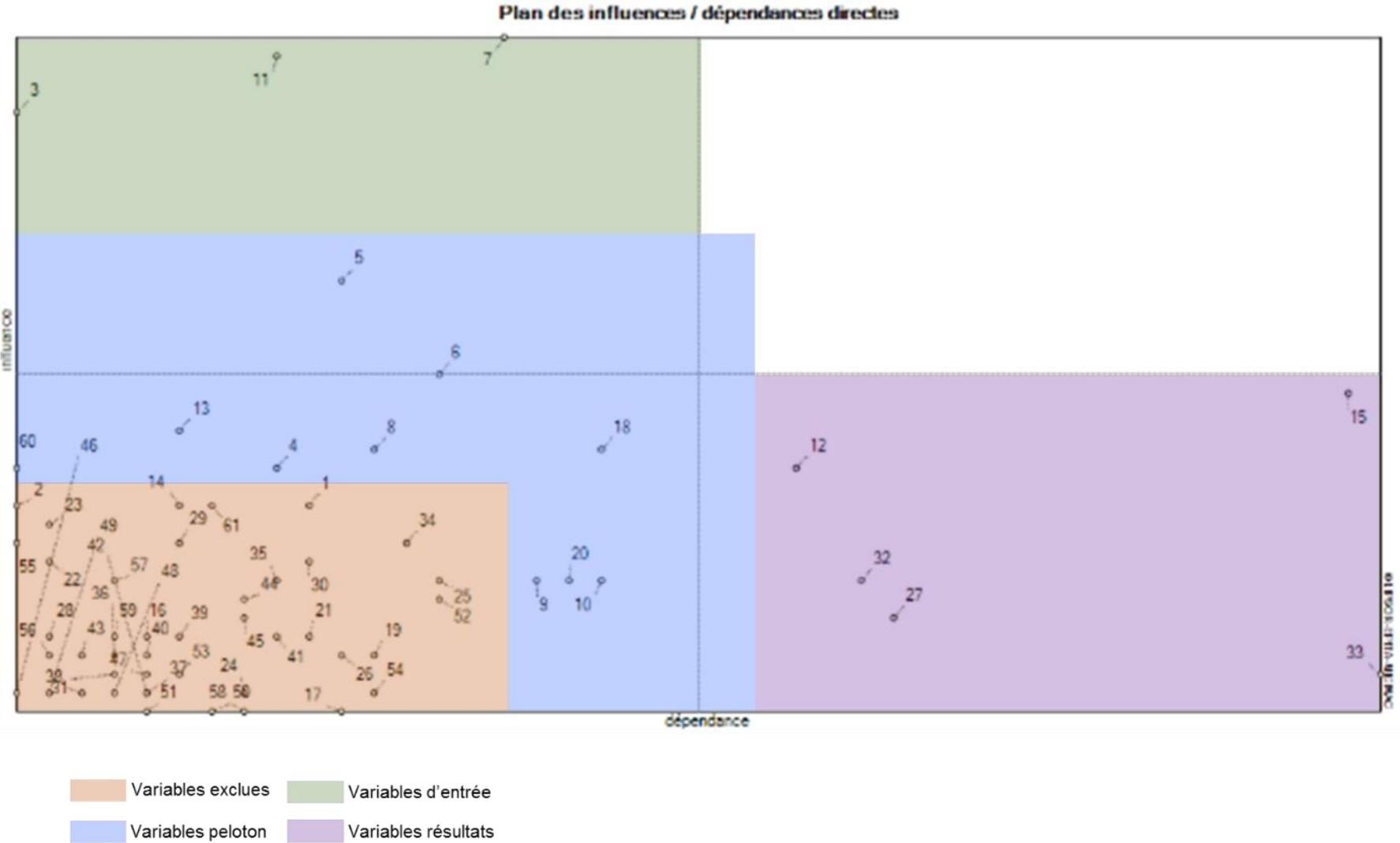
Tableau 43 : Influence de la « vitesse de développement technologique de l'automatisation de conduite » sur les autres variables sélectionnées

Influence de ...	sur...	Valeur	Justification/Explicitation
1. Vitesse de développement technologique	5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	3	Selon les attentes concernant l'horizon temporel de déploiement de l'automatisation de conduite, différents supports infrastructurels pourraient se montrer nécessaires.
	6. Infrastructures physiques nécessaires	3	
	16. Motorisation	2	La temporalité du développement de la technologie déterminera le type de motorisation des véhicules automatiques, dans le sens d'une évolution parallèle de ces deux types de recherche.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	2	Des avancées technologiques régulières garantissent le soutien des pouvoirs publics.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	

L'ensemble des relations inscrites dans la matrice est répertorié dans le tableau de synthèse disponible à l'Annexe 3. La matrice complétée est quant à elle présentée à l'Annexe 4.

Le programme « Micmac » permet, à travers une multiplication matricielle, d'obtenir un plan des influences/dépendances, soit une représentation graphique des variables selon leur niveau d'influence et de dépendance.

Figure 22 : Plan des influences/dépendances directes des variables influençant l'introduction des véhicules automatiques dans la Métropole de Rouen



* Les valeurs numériques utilisées dans la figure correspondant à celles du tableau 42.

Le plan des influences/dépendances directes obtenu ne montre pas de variables dites « relais », qui sont *a priori* des variables clés. Cependant, nous trouvons des variables d'entrée, des variables de sortie et des variables peloton susceptibles d'être des variables clés, et ainsi de former des dimensions discriminantes pour la construction des scénarios, étudiées par l'analyse morphologique. Les variables susceptibles d'être utilisées pour l'analyse morphologique sont les suivantes :

Variables d'entrée :

- Niveau d'automatisation
- Mode d'exploitation
- Intégration aux transports en commun

Variables peloton :

- Infrastructures de télécommunication nécessaires
- Service de transport à la demande
- Infrastructures physiques nécessaires
- Disponibilité spatiale des véhicules automatiques
- Disponibilité temporelle des véhicules automatiques
- Capacité des véhicules automatiques
- Coûts d'investissement des infrastructures
- Prix d'utilisation des véhicules automatiques
- Temps d'attente
- Forme urbaine

Variables résultats :

- Soutien des pouvoirs publics nationaux aux véhicules automatiques
- Soutien des pouvoirs publics locaux aux véhicules automatiques
- Taux de pénétration des véhicules automatiques
- Taux d'occupation des véhicules automatiques
- Financement des infrastructures dédiées aux véhicules automatiques

Nous ne conservons pas l'ensemble de ces variables pour constituer nos scénarios. En effet, les variables résultats ne sont pas intégrées car nous n'utilisons pas les scénarios comme une aide à la décision directe mais comme des options à évaluer dans le cadre d'une démarche d'évaluation. Par ailleurs, nous fixons *a priori* deux des variables désignées : le niveau d'automatisation, en ne considérant que véhicules complètement automatiques, de

niveau SAE 4 minimum ; et la capacité des véhicules, en ne retenant que des véhicules de petite capacité, quatre places, de la taille actuelle d'une voiture. Ces éléments vont dans le sens de la contextualisation du sujet réalisée dans la première partie de ce travail. Enfin, nous ne traitons pas de la forme urbaine, au sens des différentes configurations qu'elle pourrait prendre, puisque les scénarios s'inscrivent dans le cadre déterminé de la Métropole de Rouen.

Ainsi, avant la réalisation de l'analyse morphologique, nous proposons une brève présentation du territoire, à laquelle la sous-partie suivante est consacrée.

Une variable spécifique : le contexte de la Métropole de Rouen

La Métropole Rouen Normandie est un Etablissement Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), « métropole » au sens de la loi de Modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles du 27 janvier 2014, comportant soixante et onze communes. Elle se situe au sud du département de la Seine-Maritime, l'un des cinq départements composant l'actuelle Région Normandie. Elle a vu le jour le 1er janvier 2015, remplaçant et élargissant la Communauté d'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe, elle-même en place depuis le 1er janvier 2010. Il s'agit d'un territoire de 664 km², comprenant une population de 489 844 habitants (2017, INSEE). La commune principale, Rouen, compte 110 145 habitants (2017, INSEE). Cela fait de la MRN une métropole particulièrement multicommunale, dont la commune principale montre un poids démographique relativement faible.

Pour décrire l'agglomération, nous nous appuyons en termes méthodologiques sur la récente contribution de Dumont (2018) : « *Diagnostic et gouvernance des territoires. Concepts, méthode, application* ». Nous renseignons donc certains indicateurs démographiques, d'emplois et de revenu, de situation et cinétiques, recommandés par Dumont (2018). Nous reprenons également certaines des douze grilles d'analyse territoriale proposées : type de connexion autoroutière, accès ferroviaire, accès aéroportuaire, principales caractéristiques foncières, niveau d'originalité géographique, niveau d'influence du territoire, nature du tissu économique, diversité du tissu économique et type de gouvernance. Nous complétons ce cadre de description en considérant les éléments spécifiques à la Métropole rouennaise mis en avant dans les études locales disponibles.

S'agissant des sources de données, nous mobilisons, en plus des statistiques officielles disponibles, l'ouvrage d'Y.Guermond (2008) : « *Rouen, la métropole oubliée ?* », dernière « grande synthèse géographique [...], diagnostic sur le *Grand Rouen* [...] » (Gay, 2008). Nous

sollicitons également des études produites plus récemment, en particulier les descriptions du territoire réalisées dans le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) (2015), le « Projet métropolitain, une décennie de projets » (2016), par Debrie et Desjardins (2019) : « La Métropole performative? Echelles de la fabrique métropolitaine rouennaise. », qui s'intéresse particulièrement au statut métropolitain et à la gouvernance rouennaise, ainsi que les publications régionales de l'INSEE Normandie réalisées ces quatre dernières années : « Les systèmes urbains en Normandie : aires urbaines, métropoles, réseaux d'échanges » (2017) ; « La Normandie et ses territoires » (2018) et « Diagnostic social infra-urbain et des quartiers prioritaires de la Métropole de Rouen » (2019).

Carte 1 : Communes de la Métropole de Rouen Normandie



Source : <http://www.ville-cleon.fr/vie-municipale/cleon-dans-la-metropole-rouen-normandie/>

Si notre description est tournée vers le territoire de la Métropole de Rouen Normandie et ses dynamiques internes, il est à noter que son positionnement géographique par rapport à la région Île-de-France et dans le système urbain normand influence ses caractéristiques propres. En effet, la MRN se trouve « en retrait » sur de nombreux indicateurs « métropolitains » caractérisant les agglomérations de même importance démographique,

notamment s'agissant de la présence de centres décisionnels, de pôles universitaires d'envergure, d'infrastructures de communication structurantes et d'équipements culturels rares (INSEE Normandie, 2017). La MRN ne présente effectivement pas de desserte ferroviaire à grande vitesse, ni d'accès aéroportuaire notable. Au sein de la classification proposée par Dumont (2018), nous inscrivons la Gare Rouen Rive Droite à la fois dans la catégorie des gares classiques desservies par le réseau Intercités et dans celle des gares classiques desservant une gare parisienne en moins d'une heure. Cette seconde assertion n'est plus vraiment exacte, puisque la durée de la liaison la plus rapide avec la gare de Paris Saint-Lazare est d'une heure et vingt-deux minutes. Il s'agit toutefois du résultat d'une dégradation récente du temps de parcours sur la ligne, qui pourrait être rétabli en cas de réalisation de la « Ligne Nouvelle Paris-Normandie », ayant pour objectif une liaison en quarante-cinq minutes avec Paris. La MRN se trouve cependant au cœur d'un nœud autoroutier comprenant deux axes tangents (A13 et A29) et deux axes convergents vers le cœur de l'agglomération (A28 et A150/151).

Tableau 44 : Caractérisation de la MRN selon les grilles d'analyse territoriale portant sur l'accès autoroutier, ferroviaire et aéroportuaire de Dumont (2018)

Connexion autoroutière
Accès proche d'un nœud autoroutier Accès direct à une autoroute Accès proche d'une autoroute Accès proche d'une fin d'autoroute Accès éloigné d'un nœud autoroutier Accès éloigné d'une autoroute Accès éloigné d'une fin d'autoroute
Accès ferroviaire
Existence d'une gare TGV sur le territoire Gare classique desservie par le réseau TGV Gare classique desservie par le réseau Intercités Gare classique desservant une gare parisienne en moins d'une heure Gare classique desservie ni par le réseau TGV, ni par le réseau par le réseau Intercités, mais par le réseau TER Pas ou plus de desserte ferroviaire
Accès aéroportuaire
Accès proche (moins de 50 km) d'un grand aéroport international Accès proche (moins de 50 km) d'un aéroport international de moindre importance Régional Accès proche d'un aéroport local Accès relativement éloignée d'un aéroport international (plus de 100 km) Aérodrome local Accès éloigné d'un aérodrome local

Ce degré réduit de métropolisation est également valable pour les deux autres principales agglomérations normandes, Caen et Le Havre. Il est associé à la proximité parisienne, qui engendrerait un effet « stérilisant » et aurait limité le report d'activités issues des politiques de décentralisation (Guermond, 2008 ; Debie et Desjardins, 2019). Ainsi, les caractéristiques de métropolisation rouennaise sont similaires à celles d'autres grandes aires urbaines situées près de Paris (INSEE Normandie, 2018). Cette « satellisation » se retrouve dans la nature du tissu économique, qui apparaît essentiellement exogène, au sens d'une dépendance à des sièges sociaux extraterritoriaux et d'une part inférieure des cadres dans l'emploi (MRN, 2015a ; INSEE Normandie, 2018 ; Debie et Desjardins, 2019).

Tableau 45 : Caractérisation de la nature du tissu économique de la MRN selon la grille de Dumont (2018)

Nature endogène ou exogène du tissu économique	
Endogène et exogène	
Essentiellement exogène	
Essentiellement endogène	
Faiblement endogène et exogène	

Tableau 46: Indicateurs d'emplois de la MRN (INSEE) selon Dumont (2018)

Indicateurs d'emplois des cadres	
Taux de cadres et de professions intellectuelles supérieures dans l'emploi	16,6% (2017)
Evolution du taux de cadres et de professions intellectuelles supérieures dans l'emploi	+0,7 point (2012-2017)

Un moindre dynamisme démographique, avec notamment un solde migratoire légèrement négatif, est également constaté. Cette « stabilité » démographique à l'échelle métropolitaine cache par ailleurs un phénomène de périurbanisation, voire de rurbanisation plutôt ancien (Guermond, 2008 ; MRN, 2015a).

Tableau 47 : Indicateurs démographiques de la MRN (INSEE) selon Dumont (2018)

Indicateurs démographiques	
Population	498 822 habitants (2018)
Taux d'accroissement démographique pour la dernière période intercensitaire	0% (2007-2017)
Taux annuel moyen d'accroissement naturel	+0,45% (2007-2017)
Taux annuel moyen d'accroissement migratoire	-0,4% (2007-2017)

Toutefois, l'influence locale de la MRN est importante, en premier lieu en tant que zone de concentration d'emplois au niveau régional. L'aire urbaine de Rouen s'étend en effet au-delà des limites de la MRN, totalisant environ 300 communes et 702 945 habitantes (2018, INSEE). Les flux domicile-travail entrants proviennent particulièrement du Roumois, au sud-ouest, de l'agglomération Seine Eure, au sud, et du Pays entre Seine et Bray, au nord-est. Par ailleurs, la MRN tient une place de capitale régionale en matière d'équipements, de services, de commerces et d'enseignement supérieur (MRN, 2015a).

Tableau 48 : Caractérisation de l'étendue de la zone d'influence de la MRN selon la grille de Dumont (2018)

Etendue de la zone d'influence de l'offre commerciale, de services et d'équipements	
Très importante	
Importante	
Significative	
Limitée à une partie du territoire	
Faible	

Tableau 49 : Indicateurs de concentration de l'emploi de la MRN et son évolution entre 2012 et 2017 selon Dumont (2018)

Indicateurs de concentration de l'emploi	
Indicateur de concentration d'emploi	119,2
Evolution de l'indicateur de concentration d'emplois	+1,2% (2012-2017)

Le revenu médian au sein de la MRN est relativement élevé à l'échelle de la Normandie, même si les disparités de revenu y sont localement fortes (INSEE Normandie, 2018). Ces dernières se matérialisent par une ségrégation socio-spatiale importante, avec un rapport de 1 à 5 du revenu médian entre certaines zones de l'agglomération (MRN, 2015a ; INSEE Normandie, 2019). Les zones les plus défavorisées se trouvent dans différentes zones de la rive gauche de la Seine, sur les hauts de Rouen, au nord-ouest de Rouen et dans la zone de « Cléon-Elbeuf », alors que les plus favorisées se situent en proche périphérie nord, est et ouest (MRN, 2015a, INSEE Normandie, 2019).

Tableau 50 : Indicateurs de revenu de la MRN selon Dumont (2018)

Médiane du revenu disponible par unité de consommation (2017)	Taux d'évolution de l'indicateur (2012-2017)
20 550	+5,7%
Rapport interdécile	
3,4	-0,1 point

Le tissu économique rouennais est par ailleurs marqué par sa fonction fluvio-maritime, industrialo-portuaire, historique (Guermond, 2008 ; MRN, 2016). Les industries automobile, chimique, pétrochimique, agroalimentaire et pharmaceutique sont particulièrement présentes, et ont connu pour certaines d'importantes difficultés dans la période récente (SCOT, 2015 ; Debie et Desjardins, 2019). La part des emplois industriels reste notable (14,5%) (INSEE, 2020), mais la tertiarisation du territoire est achevée, représentant trois emplois sur quatre, avec une part limitée de tertiaire supérieur (MRN, 2016).

Tableau 51 : Caractérisation de la diversité du tissu économique de la MRN selon la grille de Dumont (2018)

Diversité du tissu économique
<p>Economie à diversité équilibrée entre plusieurs secteurs dominants Economie très diversifiée sans secteurs dominants et sans identité Economie essentiellement duale Economie à profil de mono-activité Tissu économique varié, mais faible et sans secteur à poids relatif significatif</p>

Cette spécialisation économique initiale est liée à sa localisation géographique, en fond d'Estuaire de la Seine. Les avantages originels du site, un glacis offrant une plateforme de 1500 mètres entre falaises et rives de la Seine, facilement franchissable à cet endroit, et la liaison aux vallées de Robec et de Cailly permettant d'accéder aux plateaux nord et au pays de Caux, se sont mués en handicaps au XX^{ème} siècle. Les méandres de la Seine deviennent une contrainte physique notable et le dénivelé rive droite un frein à l'expansion urbaine de Rouen et au développement de transports en commun lourds (Guermond, 2008 ; MRN, 2015a).

Le SCOT (2015) distingue sept sous-ensembles spatiaux au sein de la MRN : Rouen, le cœur géographique et historique de l'agglomération ; Seine et Austreberthe, majoritairement rurale et agricole ; Vallée du Cailly, à dominante urbaine et comprenant des espaces dédiés à l'activité économique, historiquement industrielle ; Plateaux Nord, résidentiels et tertiaires, Plateaux Est, ruraux et résidentiels, Rive Gauche, industrielle et urbaine, et Elbeuf, industriel et boisé (cart. 2). Le territoire est constitué aux trois quarts d'espaces non urbains, au tiers d'espace forestier. La couronne forestière périurbaine est particulièrement fréquentée par les habitant-e-s (Lepillé et al., 2017).

Carte 2 : Principaux sous-ensembles géographiques de la Métropole de Rouen selon le SCOT (2015)

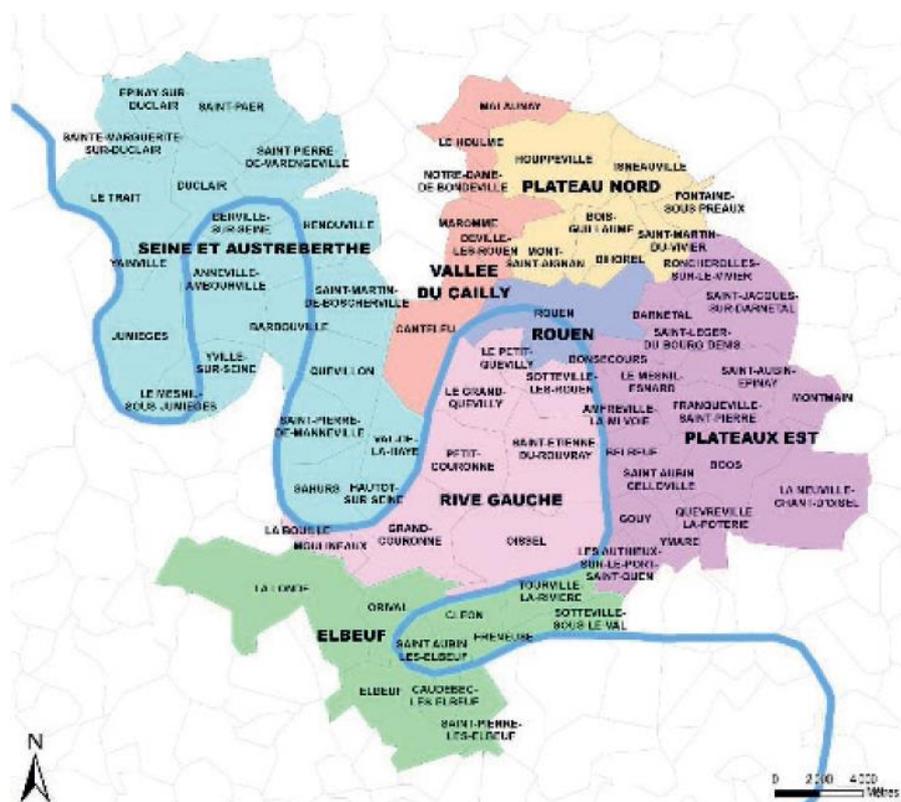


Tableau 52 : Caractérisation foncière de la MRN selon la grille de Dumont (2018)

Principales caractéristiques foncières
Larges espaces-plans Espaces-plans limités à une ou deux directions Territoires offrant peu d'espaces-plans

Tableau 53 : Caractérisation de l'originalité géographique du site de la MRN selon la grille de Dumont (2018)

Originalité géographique du site
Très importante Importante Significative Limitée à une partie du territoire Faible

Finalement, s'agissant de la gouvernance de la MRN, à l'opposition historique entre la rive droite, bourgeoise, et la rive gauche, ouvrière, semble se substituer un antagonisme entre

communes urbaines et communes rurales avec, au final, une gestion plutôt dépolitisée reposant sur les compétences « techniques » dont la Métropole dispose (transports, eaux, assainissement, déchets, etc.) (Debrie et Desjardins, 2019). A noter une adhésion à la stratégie métropolitaine parfois difficile du fait du poids réduit de la commune centre. A ce sujet, Debrie et Desjardins (2019) soulignent le montage récent de plusieurs projets à l'échelle métropolitaine susceptibles de marquer un recentrage sur cette dernière.

Tableau 54 : Caractérisation de la gouvernance de la MRN selon la grille de Dumont (2018)

Caractéristique dominante de la gouvernance
<p>Proactive Insuffisamment définie Insuffisante adhésion à une gouvernance d'équipe Limitée par les habitudes de rentes</p>

Après cette description de la « Forme urbaine » de la Métropole de Rouen Normandie, désignée comme une variable clé par l'analyse structurelle mais à la configuration unique dans notre cas d'étude. Nous réalisons à présent l'analyse morphologique qui aboutira à une première version des scénarios à évaluer.

L'analyse morphologique

Les variables retenues pour la construction des scénarios, et leurs différentes configurations, sont décrites dans le tableau ci-dessous. Deux dimensions se dégagent : les caractéristiques techniques du mode de transport automatique et les infrastructures liées.

Tableau 55 : Configurations des variables retenues pour l'analyse morphologique

Dimension	Variable	Configurations	
Caractéristiques techniques	Mode d'exploitation	Individuel	Collectif
	Intégration aux transports en commun	Oui	Non
	Service à la demande	Oui	Non
	Disponibilité spatiale des véhicules automatiques	Totale	Partielle
	Disponibilité temporelle des véhicules automatiques	Permanente	Partielle
	Prix d'utilisation des véhicules automatiques par rapport à un mode conduit équivalent	Faible	Elevé
	Temps d'attente	≈ 15 minutes	≈ 5 minutes
Infrastructures	Nécessité d'infrastructures de télécommunication	Faible	Elevée
	Nécessité d'infrastructures physiques	Faible	Elevée
	Coûts d'investissement des infrastructures	Nul	Faible | Elevé

Pour mener notre analyse, nous utilisons le module « Morphol », contenu dans l'outil en ligne « *Scenaring Tools* »⁶⁴. A partir d'une nouvelle session, nous saisissons dimensions, variables et configurations. Nous affectons des variables des probabilités d'occurrence à chacune des configurations. Ces probabilités sont basées sur la littérature et sur le contenu des entretiens réalisés auprès des acteurs de l'expérimentation *Rouen Normandy Autonomous Lab*, décrits précédemment. Lorsque le débat n'est pas tranché sur la probabilité d'expression d'une variable ou que peu d'informations est disponible, nous affectons une probabilité égale aux différentes configurations. C'est le cas pour le mode d'exploitation, l'intégration aux transports en commun et le coût des infrastructures nécessaires pour l'opération des véhicules automatiques. En ce qui concerne les autres variables, l'affectation des probabilités a été réalisée comme suit :

- L'exécution d'un service de transport à la demande

Nous considérons une plus forte probabilité que les services de transport assurés par des VA soient « à la demande ». En effet, la présence majoritaire dans la littérature scientifique dédiée de deux types d'introduction du véhicule automatique, la voiture automatique

⁶⁴ <http://www.lapropective.fr/methodes-de-prospective/les-outils-version-cloud.html>

personnelle et le taxi automatique, supposent des services de transport à la demande. Les entretiens réalisés vont également dans ce sens⁶⁵.

- La disponibilité spatiale des véhicules

Considérant la position des acteurs rouennais interviewés, nous accordons une plus forte probabilité d'une disponibilité spatiale partielle des véhicules automatiques. Trois types d'arguments supportent cette hypothèse : les nécessités infrastructurelles⁶⁶, l'inadéquation à la demande de transport en zones centrales⁶⁷ et les potentialités offertes par des services assurés par les VA en zones périurbaines et rurales⁶⁸.

- La disponibilité temporelle des véhicules

Toujours sur la base des propos des acteurs rouennais interrogés, nous avons considéré une plus forte probabilité d'une disponibilité temporelle totale des véhicules automatiques, par rapport à une mise à disposition limitée à des plages horaires particulières. En effet, selon eux, un des principaux avantages du véhicule automatique tient à sa flexibilité horaire, sa capacité à « circuler à tout moment », et ainsi à assurer certains services de transport actuellement difficiles à mettre en œuvre du fait de la faiblesse du niveau de demande⁶⁹.

⁶⁵ « [...] donc on aurait des services de TAD en VA la nuit, ou voire après en zone peu denses ou en zones rurales, où il y a pas un modèle économique rentable de déployer une ligne de bus permanente. Donc ça pourrait être « intéressant », je mets des guillemets sous réserve de faisabilité technique et d'intérêt économique. », Coordinateur du projet RNAL, TCAR / « On peut facilement imaginer que demain sur ces territoires-là [zones peu denses] c'est plutôt des flottes de véhicules où on vient chercher les gens, et du coup il faut que le véhicule soit très connecté, qu'il y est beaucoup d'agilité, beaucoup de souplesse. », Adjointe au Directeur Général Adjoint du Département Espaces Publics et Mobilité Durable, Métropole de Rouen Normandie

⁶⁶ « La question en tant que gestionnaire de voirie, la question c'est est-ce qu'il faudra équiper tous les carrefours [?], enfin partout où on voudra mettre du VA, parce que du coup c'est quand même des équipements hyper couteux [...] », Adjointe au Directeur Général Adjoint du Département Espaces Publics et Mobilité Durable, Métropole de Rouen Normandie

⁶⁷ « [...] en zone dense on a déjà [des services de transport], il faut qu'il y ait une grosse capacité », Directrice Régionale Normandie, Caisse des dépôts et consignations / « [...] d'une part ça veut dire qu'à terme on pourrait saturer le dispositif, dès lors qu'on viendrait s'implanter dans des zones plus denses, avec beaucoup plus de piétons. [...] En centre-ville, je suis un peu plus dubitatif, l'intérêt c'est vraiment sur le périurbain. », Chef du service prospective et études préalables, Métropole de Rouen Normandie

⁶⁸ « [...] des collectivités qui sont très intéressées sur des territoires ruraux à avoir une solution de transport à la demande qui soit pas trop onéreuse [...], Directrice Régionale Normandie, Caisse des dépôts et consignations / « On serait plutôt sur des compléments de réseaux de TC, en bout de lignes, dans des zones peu denses, [...], dans les zones industrielles qui sont des zones qu'on n'arrive pas à desservir correctement aujourd'hui. », Chef du service prospective et études préalables, Métropole de Rouen Normandie

⁶⁹ « On serait plutôt sur des compléments de réseaux de TC, [...] ou à l'inverse urbains de nuit. », Chef du service prospective et études préalables, Métropole de Rouen Normandie / « [...] des collectivités qui sont très intéressées sur des territoires ruraux à avoir une solution de transport à la demande, [...] avec des véhicules qui puissent circuler à tout moment. », Directrice Régionale Normandie, Caisse des dépôts et consignations / « D'un autre côté, il y a l'axe robot-véhicule qui pourra être un axe services de mobilité, qui est aussi un axe sur comment on va fournir, être capable de fournir, des services de mobilité [...] qui tournent 24h/24 [...] », Directrice du pôle des services de mobilités autonomes de la Direction de la Recherche, Renault

- Le prix

Nous avons considéré une plus forte probabilité d'un faible prix d'utilisation des véhicules automatiques. En effet, la littérature dédiée, dont les estimations sont disponibles à la section « La réduction du coût de déplacement, une hypothèse essentiellement valable dans le cadre d'une comparaison avec les services de taxis actuels » du deuxième chapitre, vont dans ce sens. Les acteurs interrogés également. Ils s'attendent à une augmentation du coût unitaire des véhicules⁷⁰, compensée par une diminution du coût d'opération au kilomètre⁷¹, qui, dans le cas d'une offre publique de transports en commun serait probablement transféré en tout ou partie aux usagers.

- Le temps d'attente

En nous appuyant sur les propos recueillis lors des entretiens, nous supposons une plus forte probabilité d'un temps d'attente d'environ cinq minutes par rapport à un temps d'attente d'environ quinze minutes⁷².

⁷⁰ « En revanche, il reste le coût du véhicule, pour l'instant une Easymile ça coûte extrêmement cher. », Chef de projet R&D de la Direction Systèmes de Transport Autonomes, Transdev / « C'est des véhicules qui coûtent plusieurs centaines de milliers d'euros [...]. Le coût des réparations risque d'être plus important, si vous avez un dommage sur un capteur. », Responsable des projets et partenariats de la Direction Générale Adjointe Assurances Incendies, Accidents et Risque Divers (IARD), Matmut / « [...] par contre ça a ses limites parce qu'on introduit de plus en plus de technologies dans les véhicules et ça coûte de plus en plus cher. Et donc il y a quand même une limite sur qu'est ce qui va être acceptable d'un point de vue économique, par rapport au prix de vente. », Directrice du pôle des services de mobilités autonomes de la Direction de la Recherche, Renault

⁷¹ « On voit, le véhicule autonome, c'est clair que ça coûtera moins cher, parce que dans le transport [public] ce qui coûte cher c'est le conducteur, c'est pas l'essence, c'est pas le bus, c'est pas l'usure des pneus, c'est le conducteur. », Adjointe au Directeur Général Adjoint du Département Espaces Publics et Mobilité Durable, Métropole de Rouen Normandie / « [...] donc pour la Métropole c'est vraiment ça, c'est donc réorganiser le service public de transport pour proposer un service moins cher et de qualité [...]. Les opérateurs de transports en commun sont aujourd'hui très intéressés par ce genre d'applications qui vont leur permettre de proposer des services qui leur coûtent pas très cher et qui permettent de relier deux points qui sont pas très bien desservis. », Chargé de mission innovation, Service Grands Projets et Innovation, Région Normandie / « Transdev ne travaille que pour deux raisons, [...] la deuxième c'est que c'est sans doute une solution pour diminuer les coûts. », Chef de projet R&D de la Direction Systèmes de Transport Autonomes, Transdev / « Donc si ça se trouve ça va venir parce qu'il y a ce besoin là et que ça coûte trop cher de mettre une navette qui tourne tout le temps donc peut être une navette autonome. », Directrice du pôle des services de mobilités autonomes de la Direction de la Recherche, Renault / « [Le véhicule automatique permettrait de] proposer une alternative crédible à l'automobile tout en faisant qu'on réduise le coût du TC. [...] Admettons qu'on enlève le conducteur et que ça nous coûte trois fois moins cher de faire circuler un véhicule de TC [...]. », Chef du service prospective et études préalables, Métropole de Rouen Normandie

⁷² « être capable de fournir, des services de mobilité [...] qui soient flexibles, disponibles [...] ». Directrice du pôle des services de mobilités autonomes de la Direction de la Recherche, Renault / « [...] comme le transit est une question servicielle [...], le VA arrivant comme une offre supplémentaire au dernier kilomètre, il va falloir trouver le bon trend, assurer un service qui allonge pas trop et surtout qui donne pas l'impression que tu allonges, donc typiquement le temps d'attente doit pas être trop important. », Chef de projet R&D de la Direction Systèmes de Transport Autonomes, Transdev / « Mais quand les collectivités s'y intéressent, elles ont aussi ça en tête qu'on aura des véhicules qui seront disponibles à tout moment [...]. », Directrice Régionale Normandie, Caisse des dépôts et consignations

- La nécessité d'infrastructures physiques

Les éventuelles modifications physiques de l'infrastructure routière que nécessiteraient les véhicules automatiques sont peu traitées dans la littérature scientifique, qui se concentre davantage sur les infrastructures de télécommunications. Nous avons considéré, au vu des propos des personnes interrogées, une plus forte probabilité de la nécessité d'infrastructures physiques, par rapport à une opération dans l'état actuel des infrastructures⁷³.

- La nécessité d'infrastructures de télécommunications

Nous considérons une plus forte probabilité de la nécessité d'infrastructures de télécommunications au vu des dires des acteurs interrogés⁷⁴. Des détails sur les interactions envisagées entre véhicules et infrastructures sont disponibles à la section « La place des télécommunications dans l'automatisation de conduite » dans le premier chapitre.

Ces éléments nous ont permis d'affecter les probabilités suivantes aux différentes configurations des variables :

⁷³ « Je dirais les enjeux techniques, notamment sur les territoires ruraux, sur les territoires peu denses, donc en campagne, ça suppose des déploiements d'infrastructures importants, parce qu'on est dans un contexte moins normé, avec des accotements moins stabilisés. », Coordinateur du projet RNAL, TCAR / « [...] est-ce que il va falloir mettre une infrastructure particulière autour des points de dépôt et monte des véhicules [?], [...], est-ce qu'il faudra protéger des voies, voilà, c'est tout ça en fait qui va faciliter le VA [?]. », Directrice du pôle des services de mobilités autonomes de la Direction de la Recherche, Renault / « [...] quelques difficultés techniques à faire circuler des VA dans du périurbain, principalement parce qu'il y a des particularités de la voirie, la lisibilité de la voirie par l'IA [Intelligence Artificielle] à bord et par les capteurs nécessitent encore de progresser. », Chef du service prospective et études préalables, Métropole de Rouen Normandie

⁷⁴ « Il faut le préparer en termes d'infrastructures, l'infrastructure elle doit être intelligente, [...] installer des radars et rendre les feux intelligents et communicants avec les véhicules », Chargé de mission innovation, Service Grands Projets et Innovation, Région Normandie / « On a l'émergence de cette filière-là [...], il est important de comprendre ce qu'est un véhicule autonome, donc connecté, le faire dialoguer avec un PCC [Poste de Commande et de Contrôle], le faire dialoguer avec les infrastructures », Coordinateur du projet RNAL, TCAR / « L'autre sujet c'est les équipements de voirie, aujourd'hui clairement, sans doute que le véhicule pourrait se déplacer sans ça, mais ce qu'on a équipé [...] c'est pas les sections rectilignes mais c'est les sections où il y a des difficultés, les carrefours, notamment les carrefours giratoires. », Adjointe au Directeur Général Adjoint du Département Espaces Publics et Mobilité Durable, Métropole de Rouen Normandie / « [...] Oui si le modèle qu'on promeut à Rouen, qui est, il faut un peu d'infrastructure de télécommunications onéreuses et donc de l'investissement à rentabiliser sur des échéances longues [...] », Chef de projet R&D de la Direction Systèmes de Transport Autonomes, Transdev / « [...] si tu as des limites [techniques] tu peux t'aider de l'infrastructure intelligente, tu peux t'aider de l'opérateur qui surveille la flotte, c'est pas que le véhicule. », Directrice du pôle des services de mobilités autonomes de la Direction de la Recherche, Renault

Tableau 56 : Probabilités affectées à chacune des configurations des variables

Dimension	Variable	Configuration	Probabilité affectée (%)
Caractéristiques techniques	Mode d'exploitation	Individuel	50
		Collectif	50
	Intégration aux transports en commun	Oui	50
		Non	50
	Service à la demande	Oui	70
		Non	30
	Disponibilité spatiale des véhicules automatiques	Partielle	60
		Totale	40
	Disponibilité temporelle des véhicules automatiques	Partielle	40
		Totale	60
	Temps d'attente	Env. 15	40
		Env. 5	60
Prix	Faible	70	
	Elevé	30	
Infrastructures	Nécessité d'infrastructures de télécommunication	Faible	40
		Elevée	60
	Nécessité d'infrastructures physiques	Faible	30
		Elevée	70
	Coûts des infrastructures	Faible	50
Elevé		50	

Nous composons ensuite des sous-scénarios, représentant des ensembles de configurations dans chacune des dimensions. Pour les établir, nous prenons en compte les incompatibilités existantes de l'expression simultanée de plusieurs configurations. Par exemple, dans le cas d'une exploitation individuelle des véhicules automatiques, c'est-à-dire de véhicules personnels, ceux-ci ne peuvent ni être intégrés au réseau de transports en commun, ni être disponibles que partiellement temporellement et spatialement. Les résultats de l'analyse « Morphol » permettent ensuite de désigner les ensembles de configurations les plus probables dans chacune des dimensions.

Ainsi au sein de la dimension des « Caractéristiques techniques », nous obtenons sept scénarios :

Tableau 57 : Configurations des variables des micro-scénarios de la dimension des « Caractéristiques techniques »

Scénario Variable	Voiture automatique personnelle bon marché	Voiture automatique personnelle onéreuse	Taxi automatique réactif et coûteux	Taxi automatique bon marché à réponse lente	Rabattement à la demande réactif	Rabattement à la demande à réponse lente	Ligne de transport automatique
Mode d'exploitation	Individuel	Individuel	Collectif	Collectif	Collectif	Collectif	Collectif
Intégration aux transports en commun	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Service à la demande	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Disponibilité spatiale des véhicules automatiques	Totale	Totale	Totale	Totale	Partielle	Partielle	Partielle
Disponibilité temporelle des véhicules automatiques	Totale	Totale	Totale	Totale	Partielle	Partielle	Partielle
Temps d'attente (min)	env. 5	env.5	env.5	env.15	env.5	env.15	env.5
Prix	Faible	Elevé	Elevé	Faible	Faible	Faible	Faible

Nous conservons les quatre micro-scénarios les plus probables, présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 58 : Probabilité des micro-scénarios de la dimension des « Caractéristiques techniques »

Micro-scénario	Probabilité relative (%)
Voiture automatique personnelle bon marché	22,3
Rabattement à la demande réactif	22,3
Rabattement à la demande à réponse lente	14,9
Taxi automatique bon marché à réponse lente	14,9
Voiture automatique personnelle onéreuse	9,6
Taxi automatique réactif et coûteux	9,6
Ligne de transport automatique	6,3

Dans la dimension « Infrastructures », les scénarios sont les suivants :

Tableau 59 : Configurations des variables des micro-scénarios de la dimension des « Infrastructures »

Scénario Variable	Véhicule automatique indépendant	Véhicule automatique nécessitant au moins des adaptations physiques de l'infrastructure routière	Véhicule automatique nécessitant des adaptations physiques et numériques de l'infrastructure routière
Nécessité d'infrastructures de télécommunication	Faible	Non	Oui
Nécessité d'infrastructures physiques	Faible	Oui	Oui
Coûts des infrastructures	Faible	Elevé	Elevé

Nous conservons le micro-scénario le plus probable :

Tableau 60 : Probabilité des micro-scénarios de la dimension des « Caractéristiques techniques »

Micro-scénario	Probabilité relative (%)
Véhicule automatique connecté nécessitant des adaptations physiques de l'infrastructure routière	58,3
Véhicule automatique nécessitant des adaptations physiques de l'infrastructure routière	25
Véhicule automatique indépendant	16,7

Nous obtenons donc cinq micro-scénarios qu'il faut à présent combiner pour obtenir les scénarios globaux. Il existe quatre possibilités. Au vu de ce nombre restreint, nous décidons d'éliminer seulement un des micro-scénarios de la dimension des « Caractéristiques techniques » : le système de rabattement à réponse lente, du fait de sa proximité avec celui du rabattement à vitesse rapide. En effet, considérant les probabilités présentées, le premier se montre plus plausible. Nous choisissons ainsi de ne pas conserver des scénarios si proches, privilégiant l'étude de caractéristiques variables. Nous obtenons ainsi trois scénarios globaux, aux combinaisons suivantes :

Tableau 61 : Configurations des trois scénarios retenus

1	- Voiture automatique personnelle bon marché - Véhicule automatique connecté nécessitant des adaptations physiques de l'infrastructure routière
2	- Rabattement à la demande réactif - Véhicule automatique connecté nécessitant des adaptations physiques de l'infrastructure routière
3	- Taxi automatique bon marché à réponse lente - Véhicule automatique connecté nécessitant des adaptations physiques de l'infrastructure routière

Nous décrivons maintenant ces trois combinaisons sous forme textuelle. Il nous faut pour cela renseigner plus précisément la variable de prix, désignée comme importante.

Pour cela, nous nous référons au principal article traitant de ce sujet, celui de Bösch et al. (2017) : « *Cost-based analysis of autonomous mobility services* ». Le travail d'estimation des prix en question concerne la Suisse. Dans le cas de la voiture particulière, une augmentation de 30% du prix unitaire du véhicule du fait de son automatisation est supposée. Pour un véhicule de quatre places, la hausse s'élève à 10 500 francs suisses. Nous appliquons le taux de parité de pouvoir d'achat entre la France et la Suisse à cette date : 1,54⁷⁵. Nous obtenons le montant de 6818 euros. Quant au coût au véhicule-kilomètre, il s'élève à 0,68 franc suisse, soit 0,45 euros. Ainsi, Bösch et al. (2017) estiment un coût similaire entre le véhicule automatique particulier et le véhicule conventionnel particulier. L'augmentation du coût d'acquisition est un effet compensée par des gains en matière d'assurance et d'entretien. Notons que l'incertitude reste importante concernant l'hypothèse d'augmentation du prix du véhicule (Bösch et al., 2017 ; Compostella et al., 2020). S'agissant du prix des taxis automatiques, il serait de 0,298 euros par passager-kilomètres, d'après une conversion des estimations de Bösch et al. (2017) selon le même principe.

Nous proposons donc les scénarios suivants :

« Nous sommes en 2025. Les véhicules automatiques routiers sont désormais aboutis techniquement. Les changements nécessaires en matière de législation, de réglementation, d'homologation et d'infrastructures ont été réalisés.

Les véhicules automatiques sont intégrés au système de transports de la Métropole de Rouen de trois manières.

Dans tous les scénarios :

- *les véhicules automatiques peuvent se déplacer sans passager ;*
- *les véhicules automatiques peuvent transporter jusqu'à quatre personnes ;*
- *les véhicules automatiques sont connectés ;*

Scénario 1 – Le véhicule automatique personnel

Le véhicule automatique personnel est maintenant disponible. Il est capable de se déplacer sur l'ensemble du territoire à tout moment. Le conducteur peut entreprendre d'autres activités en se déplaçant : travail, lecture, utilisation d'appareils électroniques, etc.

Le coût d'acquisition d'un véhicule automatique est supérieur de 7000 euros à un véhicule traditionnel. Au kilomètre, le coût s'élève à 0,45 euros, semblablement à un véhicule traditionnel. Des économies en matière d'assurance et d'entretien étant réalisées.

⁷⁵ <https://data.oecd.org/fr/conversion/parites-de-pouvoir-d-achat-ppa.htm>

Scénario 2 – Le taxi automatique

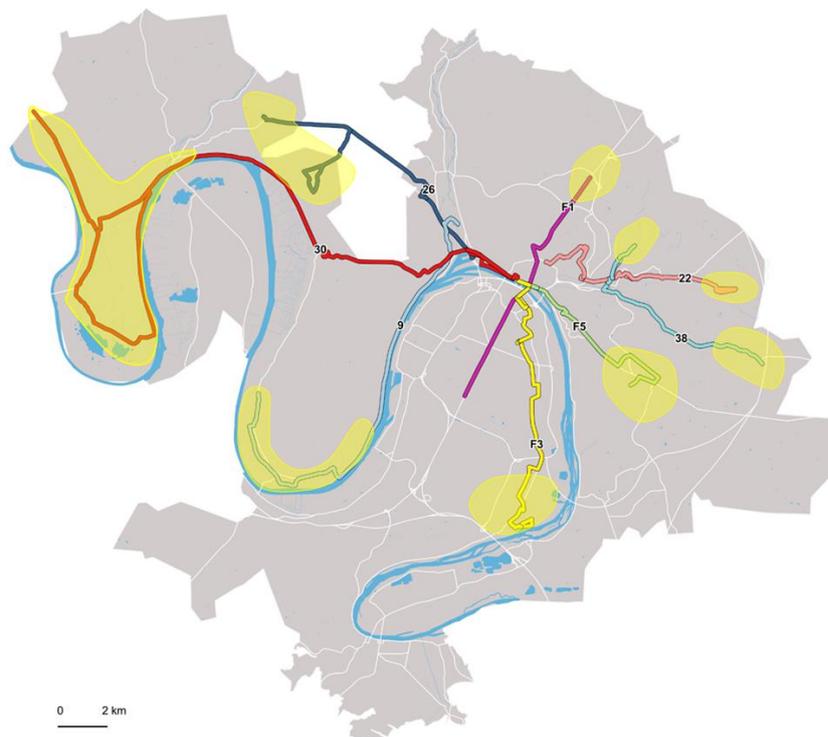
Un service de taxis automatiques est maintenant disponible. Il est accessible sur l'ensemble du territoire, 24h/24 et 7j/7. La réservation se fait grâce à une application mobile ou par téléphone. Une fois la réservation émise, le temps d'attente est en moyenne de 15 minutes.

Le prix d'utilisation de ce service est de 0,30 euros par kilomètre. Les trajets peuvent être partagés, réduisant proportionnellement le prix pour chacun des utilisateurs.

Scénario 3 – Le véhicule automatique intégré au réseau de transports en commun

Des véhicules automatiques complètent à présent les transports en commun en assurant le rabattement sur des lignes régulières en zones périurbaines. Ils opèrent depuis ou jusqu'à une station et desservent les adresses selon les demandes. Le temps d'attente est en moyenne de 5 minutes. Le prix de ce service est intégré à l'abonnement et au ticket unitaire. »

Carte 3 : Zones de desserte du service de rabattement dans la Métropole de Rouen (réalisation personnelle, QGIS)⁷⁶



⁷⁶ Ces zones sont déterminées en fonction de la densité (<1500 hab/km²) et de la présence d'un point d'arrêt d'une ligne de transports en commun.

Ces trois scénarios : le véhicule automatique personnel, le taxi automatique et le véhicule automatique intégré au réseau de transports en commun seront confrontés à l'ensemble d'indicateur défini à la fin de l'étape suivante de constitution du cadre de mesure de l'évaluation. Cette confrontation permettra d'assurer qu'ils conviennent à l'évaluation et de les ajuster si ce n'est pas le cas. Nous élaborons ainsi les scénarios définitifs, qui seront évalués.

7.2. La constitution du cadre de mesure de l'évaluation

La définition du cadre de mesure comprend quatre étapes, telles que décrites précédemment : la caractérisation de la conception de la durabilité, le choix de l'analyse multicritères, la détermination de l'ensemble de critères et la confrontation informationnelle entre les scénarios produits à l'étape de cadrage. Elles sont successivement appliquées à notre cas d'étude.

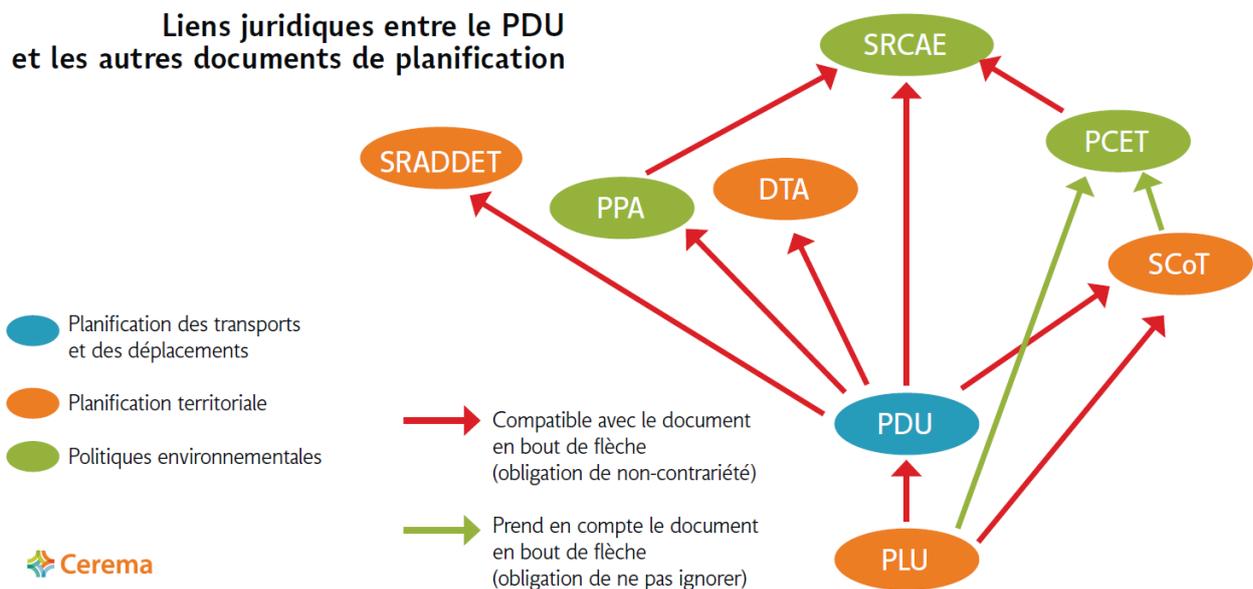
7.2.1. La durabilité des transports dans les documents de planification de la Métropole de Rouen : une multiplicité d'objectifs

Afin de procéder à la description de la manière dont la durabilité du système de transport est envisagée dans la Métropole de Rouen, nous nous appuyons sur les différents documents de planification et rapports disponibles. Nous sollicitons les documents suivants :

- Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) (2015)
- Projet métropolitain, une décennie de projets (2016)
- Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) (2018)
- Plan de Déplacements Urbains (PDU) (2014)
- Plan Local d'Urbanisme (PLU) (2020)
- Programme Local de l'Habitat (PLH) (2019)
- Plan Territorial de Lutte Contre les Discriminations (PTLCD) (2015)
- Plan égalité Femmes-Hommes 2020-2022 (PEFH) (2019)
- Accord de Rouen pour le climat (2018)
- Labélisation Cit'ergie, rapport sur la Métropole de Rouen (2019)

Le SCOT constitue un cadre commun et coordonné pour les politiques sectorielles et prend notamment en compte les documents de planification aux échelles géographiques supérieures. Les PLU, PLH, PDU et PCAET sont les quatre principaux documents de planification locaux sectoriels en lien avec la planification des transports. Le « Projet Métropolitain », publié un an après l'obtention du statut de métropole par l'agglomération de Rouen, annexe au processus de production classique de documents de planification, se veut également une présentation de la stratégie territoriale à moyen terme. Nous ne nous référons pas aux documents de planification régionaux, comme le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires pour la Normandie (Région Normandie, 2020), ou la Directive Territoriale d'Aménagement de l'estuaire de la Seine (Préfecture de Région de Haute Normandie, 2006) qui ne correspondent pas à notre échelle d'analyse et sont retranscrits dans les documents de planification au niveau local, du fait des règles juridiques de compatibilité et de conformité qui régissent la production de ces derniers (fig. 23).

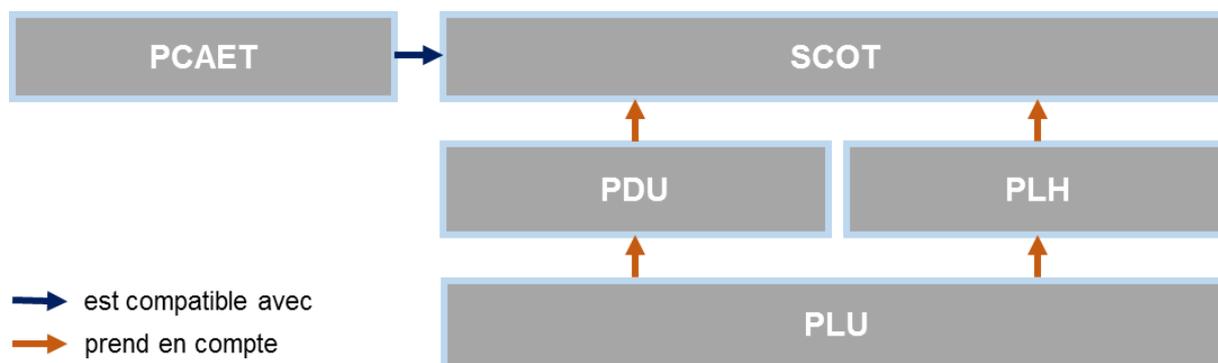
Figure 23 : Représentation des liens juridiques entre le PDU et les autres documents de planification à l'échelle locale et régionale (Sénat, 2019)



*PCET, prédécesseur du PCAET ; SRCAE (Schéma Régional Climat et Énergie), intégré au SRADDET, est un document de planification régionale dédié aux thématiques suivantes : équilibre et égalité des territoires, implantation des différentes infrastructures d'intérêt régional, désenclavement des territoires ruraux, habitat, gestion économe de l'espace, intermodalité et développement des transports, maîtrise et valorisation de l'énergie, lutte contre le changement climatique, pollution de l'air, protection et restauration de la biodiversité, prévention et gestion des déchets⁷⁷.

⁷⁷ <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sraddet-un-schema-strategique-prescriptif-et-integrateur-pour-les-regions>

Figure 24 : Articulation des documents de planification locaux mobilisés (réalisation personnelle)



Le PTLCD est un document spécifique, réalisé dans le cadre des « Contrats de ville » (2015-2020). Il s'agit d'accords, créés par la loi du 21 février 2014 de programmation pour la ville et la cohésion urbaine, entre l'Etat et les collectivités territoriales pour la réalisation d'actions coordonnées s'adressant aux quartiers dits prioritaires de la politique de la ville. Ce document est d'intérêt s'agissant des dispositions concernant l'espace public et les transports en commun. L'accord de Rouen pour le climat est un document stratégique issu de la COP21 locale, partenariat avec l'ADEME et WWF France. Il est lié au PCAET, ne se distingue pas fondamentalement de ce dernier, mais met davantage l'accent sur les actions de sensibilisation et sur les cadres de dialogue et de coopération entre acteurs. Il a également la particularité de désigner un réseau scientifique local, dit 'GIEC local', constitué de chercheurs et chercheuses de l'Université de Rouen issus de disciplines variées⁷⁸. Le dernier document mobilisé est l'audit réalisé par l'ADEME à travers la labélisation Cit'ergie, dont le canevas de labélisation sert de référence au PCAET. Cit'ergie est l'appellation française du « *European Energy Award* », elle comprend six volets : planification territoriale, patrimoine de la collectivité, approvisionnement en énergie, eau, assainissement, mobilité, organisation interne et coopération et communication. Le label comprend trois niveaux selon la performance atteinte : Cap Cit'ergie, Cit'ergie et Cit'ergie Gold. La Métropole de Rouen Normandie a obtenu le label Cit'ergie en 2019.

Ces différents documents nous permettent de mettre en avant les objectifs du territoire en matière de durabilité du système de transports.

Les documents stratégiques mobilisés dans le cas de la Métropole de Rouen témoignent d'une conception de la durabilité du système de transport centré sur celui-ci. En

⁷⁸ Climat, psychologie sociale, ressources en eau, agriculture, biodiversité, qualité de l'air et santé publique, urbanisme et architecture, mobilité et aménagement, énergie, économie et science politique.

effet, malgré que les politiques publiques portant sur les transports soient désignées tout à la fois comme « le principal levier pour faire reculer l'usage de la voiture individuelle et en conséquence les émissions de gaz à effet de serre liées aux déplacements » (MRN, 2016 ; MRN, 2018a), contributrices à une stratégie environnementale plus large, et dans une moindre mesure comme aide à la « cohésion urbaine » (MRN, 2015b), les objectifs formulés portent avant tout sur les caractéristiques du système de transport : performance, répartition modale ou encore relation à l'organisation spatiale.

La définition de la durabilité apparaît tripolaire (MRN, 2015a). La régularité de la référence à certains objectifs permet de connaître plus précisément la manière dont le principe de durabilité est envisagé et décliné. Nous les exposons selon l'ordre établi dans le tableau de description proposé au chapitre précédent (fig.21). Les préoccupations environnementales se concentrent sur les émissions de gaz à effet de serre et de polluants issues de la circulation automobile, selon le référentiel établi par le Plan de Protection de l'Atmosphère Haute Normandie (DREAL, 2013) et le plan d'actions « Ville respirable en cinq ans » (MRN, 2015c), mis en place dans le cadre d'un appel à projet du Ministère de la Transition Ecologique. La réduction des nuisances sonores est également présente (MRN, 2020 ; MRN, 2018a ; MRN, 2016 ; MRN, 2014).

La compétitivité économique est largement mise en avant, les « trois piliers du développement durable » sont en effet désignés comme une « opportunité pour le territoire », au sens du renforcement du « rayonnement et de l'attractivité économique ». Un système de transport performant est ainsi vu comme le garant du bon fonctionnement des échanges au sein du territoire (MRN, 2020). Toutefois, l'objectif économique est surtout prégnant lorsque le territoire de la Métropole est envisagé dans sa relation à l'extérieur. L'accessibilité routière et ferroviaire est alors particulièrement mise en avant (MRN, 2014).

Les thématiques liées à l'organisation spatiale sont plutôt répandues dans les documents considérés.

A l'échelle de l'agglomération, trois principes sont particulièrement désignés : la limitation de l'étalement urbain, la mixité des fonctions urbaines et la planification intégrée transports-urbanisme. Le premier est signifié par une volonté de densifier le tissu urbain existant, notamment par l'exploitation des friches industrielles disponibles et la restriction des installations foncières à l'extérieur de la Rocade (MRN, 2015a ; MRN, 2020). Le renforcement de la densité ne vaut cependant pas seulement pour le centre de l'agglomération mais concerne également les bourgs ruraux, dans l'objectif de les contenir dans leurs limites actuelles et de polariser l'espace rural autour de « pôles de vie » (MRN, 2015a). Densification et polarisation sont également associées à l'équilibre actif/emploi, et plus généralement à la

cohérence entre localisation de l'habitat, des emplois et des services au sein de bassins de vie infra-métropolitains : Rouen, Elbeuf, Duclair et Le Trait (MRN, 2015a). Une organisation associée à la notion de proximité dans le document de Projet Métropolitain : « pour une ville des courtes distances, une métropole de la proximité », où il ne s'agit « pas uniquement d'aller plus vite [...], il faut surtout aller plus près ». Une proximité présentée donc comme le gage d'une moindre quantité de déplacements, en cohérence avec l'objectif de diminution de la longueur moyenne des déplacements, présent dans le SCOT (2015). S'agissant de la planification intégrée transports-urbanisme, nous notons en effet que le réseau de transports est présenté comme un support au développement urbain, d'où une majoration des objectifs de densification autour des axes de transports collectifs à hauteur de 10% (MRN, 2015a ; MRN, 2016 ; MRN, 2014 ; MRN, 2019a). De la même manière, les intentions d'« implantation des services et des emplois selon la desserte en transports en commun », d'« accès en transports en commun aux nouveaux équipements » et de « desserte des pôles commerciaux en transports en commun », particulièrement en vue d'améliorer la part modale de ce mode pour le motif achat, vont dans le sens d'une organisation urbaine autour des transports publics (MRN, 2020 ; MRN, 2015a). Plus généralement, le développement de l'offre de transports en commun, principe transversal dans notre grille de catégorisation, apparaît comme une ambition majeure, notamment grâce à de nouvelles lignes de Transports Collectifs en Site Propre (TCSP), comme les projets « T4 » et « Seine Cité » (MRN, 2015a ; MRN, 2014). Il est présenté comme le meilleur moyen d'atteindre une utilisation équilibrée des modes, soit une diminution de l'utilisation de la voiture au profit des transports en commun (MRN, 2015a ; MRN, 2018b). Au niveau urbanistique, l'amélioration de la qualité de l'espace public à travers un meilleur partage de celui-ci, soit une diminution de la place dédiée à la voiture, notamment du stationnement, est évoquée (MRN, 2015a ; MRN, 2020 ; MRN, 2014). Cette « libération de l'espace » est associée à la mise en place de « zones apaisées », de supermanzanas, dans les réflexions de la coalition « Mobilité intelligente pour tous » (MRN, 2018b).

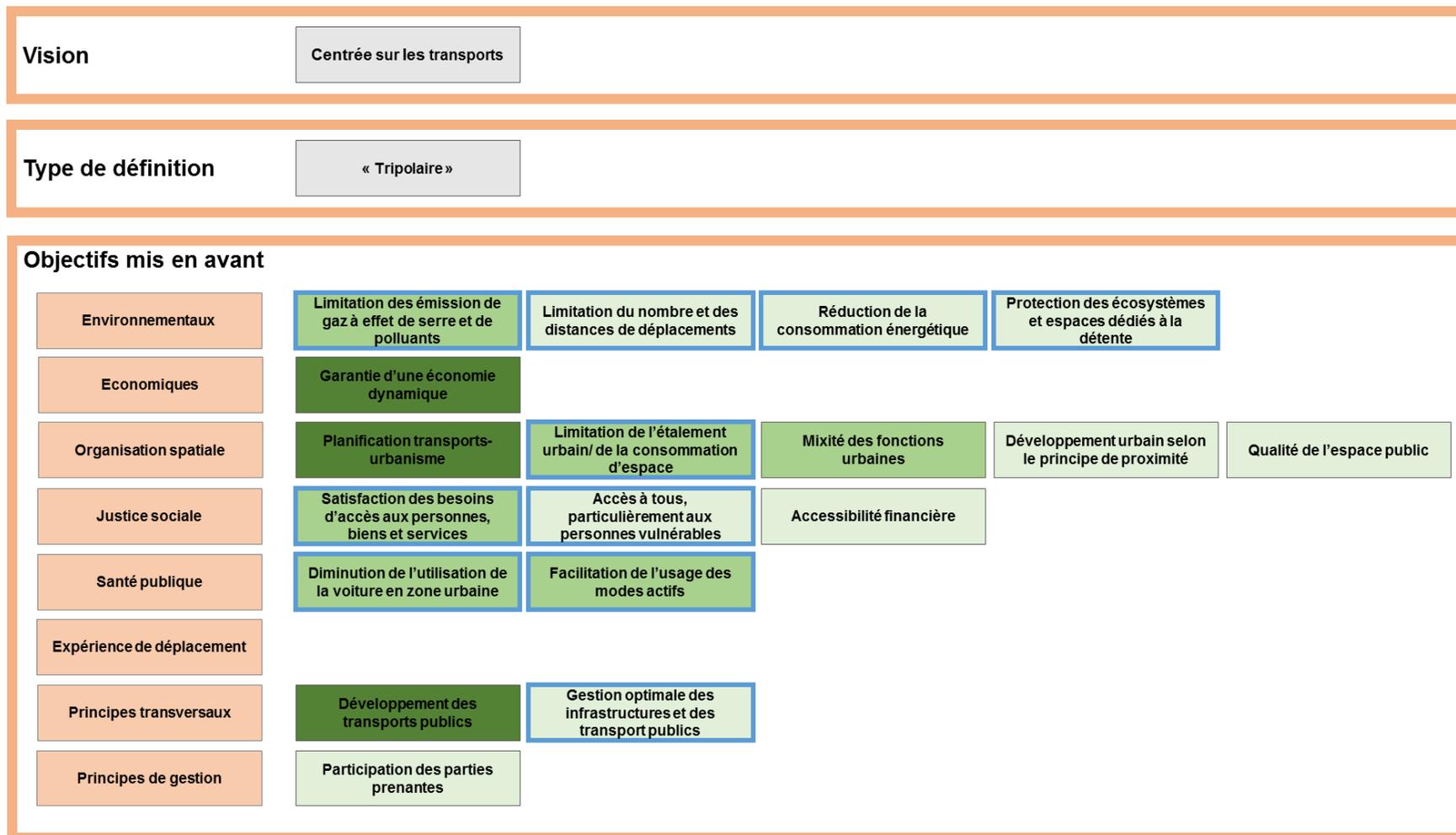
Les préoccupations sociales se font plus discrètes. Elles concernent l'accessibilité pour les personnes handicapées, qui doit être adressée par le PDU ; l'équité d'accès aux différents modes de transports, particulièrement aux modes alternatifs à la voiture dans le périurbain ; l'accessibilité financière, à travers les tarifs « sociaux » des transports en commun, et la sécurité des femmes dans les transports et l'espace public, en particulier s'agissant des agressions sexistes et sexuelles (MRN, 2015b ; MRN, 2016 ; MRN, 2019b).

En ce qui concerne les principes de gestion, l'objectif d'amplifier la participation des parties prenantes à des fins prospectives et de concertation autour des projets de transport figure dans le « Projet métropolitain » (2016) (zone à circulation restreinte, T4, opération Cœur de Métropole, réaménagement du parvis de la gare de Rouen Rive Droite, etc.).

Finalement, nous notons une référence à la diminution des temps de transport : « aller plus vite, domaine des politiques de mobilité et des infrastructures », habituellement écarté de la conception de la mobilité durable (MRN, 2016). Ainsi, il semble que les objectifs de proximité et de rapidité, plutôt antagonistes en matière d'organisation territoriale, se trouvent poursuivis parallèlement. De même, l'idée de bonne gestion infrastructurelle, particulièrement de l'infrastructure routière, est surtout envisagée sous l'angle de la construction de nouvelles routes. L'optimisation n'apparaît que dans le rapport de la coalition « Mobilité intelligente pour tous », où des solutions technologiques telles que des signaux destinés aux utilisateurs pour réduire la congestion sont évoqués. Des objectifs tenant de la mobilité durable côtoient donc des objectifs tenant d'une vision plus « classique » de la planification des transports.

Finalement, la grille présentée nous permet de mettre en avant une conception tripolaire de la durabilité centrée sur le système de transport dans le cas de la Métropole de Rouen. Nous notons la récurrence des principes de dynamisme économique, qui s'applique toutefois davantage à l'accès à la Métropole qu'à la gestion interne du système de transport, de planification intégrée transport-urbanisme et de développement des transports publics (fig. 25). Nous nous appuyons sur ces résultats pour orienter notre choix d'une méthode d'évaluation.

Figure 25 : Caractérisation de la conception de la durabilité des transports dans le cas de la Métropole de Rouen Normandie



 Enjeux devant être adressés par les documents de planification selon les différents textes juridiques les encadrant (Code des Transports (article L1214-2), Code de l'urbanisme (articles L101-1 à L101-3 ; L122-1-5 à L122-1-10 et R 122-3), Code de l'environnement (articles L122-4 et L229-26), Code de la construction et de l'habitation (articles L302-1 à L302-4-1))

 Gradation selon la récurrence du thème

7.2.2. PROMETHEE II, une méthode d'analyse multicritères adaptée au cas d'étude

Le cadre d'évaluation proposé prescrit l'analyse multicritères comme méthode d'évaluation. Toutefois, ces méthodes sont nombreuses et variées. Il nous faut donc sélectionner une de celles-ci, adaptée à notre cas d'étude. Les critères de choix définis au chapitre précédent sont mobilisés.

Nous concluons que seule la méthode PROMETHEE II remplit toutes les conditions pour réaliser l'analyse de notre cas d'étude. En effet, dans le cas du premier critère de « type de problématique », il serait abusif, nous trouvant dans une perspective prospective, de sélectionner un scénario préféré. Les preneurs de décision considérés, et plus largement les parties prenantes du territoire d'étude, ne sont pas en mesure d'imposer une telle orientation, comme nous avons déjà pu l'évoquer en affirmant le statut d'extériorité de nos scénarios. D'autre part, la classification des scénarios est davantage destinée à s'appliquer à un grand nombre d'alternatives (Schärlig, 1999). Or, nous n'en n'étudions que trois. Nous nous trouvons donc dans une problématique de hiérarchisation, qui vise à classer les alternatives par ordre de préférence, considérant leurs performances sur les différents critères.

Nous excluons ainsi onze méthodes selon les éléments référencés à la colonne m_{i4} du tableau suivant, extrait de Wątróbski et al. (2019). De plus, au vu du faible nombre de scénarios étudiés, nous souhaitons obtenir un classement complet des alternatives. Nous appliquons ce deuxième critère aux quarante-cinq méthodes restantes, selon la caractérisation disponible à la colonne m_{i41} . Selon ce second critère de sélection, nous réduisons l'ensemble des méthodes possibles à vingt-neuf. Elles figurent en vert foncé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 62 : Méthodes multicritères adaptées à une problématique de hiérarchisation complète

Table 2
The set of properties of the considered MCDA methods.

M _i	MCDA method	Abbr.	m ₁₁	m ₁₁₁	m ₁₂	m ₁₃	m ₁₃₁	m ₁₃₁₁	m ₁₃₁₂	m ₁₄	m ₁₄₁
M ₁	AHP	A _H	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₂	AHP + TOPSIS	A _H + T _P	1	3	2	0	0	0	0	3	2
M ₃	ANP	A _N	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₄	ARGUS	A _G	1	1	1	0	0	0	0	1	0
M ₅	COMET	C _T	0	0	2	1	1	2	0	3	2
M ₆	ELECTRE I	E ₁	1	2	1	0	0	0	0	1	0
M ₇	ELECTRE II	E ₂	1	2	1	0	0	0	0	3	1
M ₈	ELECTRE III	E ₃	1	2	2	1	2	0	3	3	1
M ₉	ELECTRE IS	E ₅	1	2	2	1	2	0	3	1	0
M ₁₀	ELECTRE IV	E ₄	0	0	1	1	2	0	3	3	1
M ₁₁	ELECTRE TRI	E _T	1	2	2	1	2	0	3	2	0
M ₁₂	EVAMIX	E _V	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₁₃	Fuzzy AHP	A _F	1	3	3	1	1	3	0	3	2
M ₁₄	Fuzzy AHP + fuzzy TOPSIS	A _F + T _F	1	3	2	1	1	3	0	3	2
M ₁₅	Fuzzy ANP	A _{NF}	1	3	3	1	1	3	0	3	2
M ₁₆	Fuzzy ANP + fuzzy TOPSIS	A _{NF} + T _F	1	3	2	1	1	3	0	3	2
M ₁₇	Fuzzy MIN_MAX ¹	E _F	0	0	1	1	1	2	0	4	0
M ₁₈	Fuzzy PROMETHEE I	P _{1F}	1	2	2	1	3	3	3	3	1
M ₁₉	Fuzzy PROMETHEE II	P _{2F}	1	2	2	1	3	3	3	3	2
M ₂₀	Fuzzy SAW	S _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₁	Fuzzy TOPSIS	T _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₂	Fuzzy VIKOR	V _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₃	Goal Programming	G _P	0	0	2	0	0	0	0	1	0
M ₂₄	IDRA	I _D	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₂₅	Lexicographic method	L _M	1	1	1	0	0	0	0	1	0
M ₂₆	MACBETH	M _B	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₂₇	MAPPAC	M _P	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₂₈	MAUT	M _U	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₂₉	MAVT	M _V	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₃₀	Maximax	M _X	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₁	Maximin	M _N	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₂	Maximin fuzzy method	M _F	1	2	2	1	1	2	0	1	0
M ₃₃	MELCHIOR	M _C	1	1	2	1	2	0	3	3	1
M ₃₄	MIN_MAX ¹	E _M	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₅	NAIADE I	N ₁	0	0	2	1	1	2	0	3	1
M ₃₆	NAIADE II	N ₂	0	0	2	1	1	2	0	3	2
M ₃₇	ORESTE	O _R	1	1	2	1	2	0	1	3	1
M ₃₈	PACMAN	P _C	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₃₉	PAMSSEM I	P _{A1}	1	2	2	1	3	2	3	3	1
M ₄₀	PAMSSEM II	P _{A2}	1	2	2	1	3	2	3	3	2
M ₄₁	PRAGMA	P _G	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₄₂	PROMETHEE I	P ₁	1	2	2	1	2	0	3	3	1
M ₄₃	PROMETHEE II	P ₂	1	2	2	1	2	0	3	3	2
M ₄₄	QUALIFLEX'	Q _F	1	1	1	0	0	0	0	3	1
M ₄₅	REGIME	R _G	1	1	1	0	0	0	0	3	1
M ₄₆	SAW	S _A	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₄₇	SMART	S _M	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₄₈	TACTIC	T _C	1	2	2	1	2	0	1	1	0
M ₄₉	TOPSIS	T _P	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₀	UTA	U _T	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₁	VIKOR	V _K	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₂	AHP + fuzzy TOPSIS	A _H + T _F	1	3	2	1	1	2	0	3	2
M ₅₃	Fuzzy AHP + TOPSIS	A _F + T _P	1	3	2	1	1	1	0	3	2
M ₅₄	AHP + VIKOR	A _H + V _K	1	3	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₅	DEMATEL	D _M	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₅₆	REMBRANDT	R _M	1	3	3	0	0	0	0	3	2

MIN_MAX¹ - Methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute.

Au troisième critère de « type d'agrégation » des performances des alternatives, nous sollicitons une méthode d'agrégation partielle, compatible avec le principe de durabilité forte et ainsi avec la conception de la mobilité durable tripolaire de la Métropole de Rouen, caractérisée par la variété de ses objectifs. Selon ce troisième critère de sélection, renseigné à la colonne « Type of aggregation/ Outranking » du tableau suivant, nous réduisons l'ensemble des méthodes possibles à quatre, en vert dans le tableau ci-dessous.

Tableau 63 : Analyses multicritères d'agrégation partielle au sein des méthodes précédemment sélectionnées

Table 1
Taxonomy of MCDA methods.

Method name	Available binary relations					Linear compensation effect			Type of aggregation			Type of preferential information				
	I	P	Q	R	S	No	Total	Partial	Single criterion	Outranking	Mixed	Deterministic	Cardinal	Non-deterministic	Ordinal	Fuzzy
AHP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
ANP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
ARGUS	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
COMET	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
ELECTRE I	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE II	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE III	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE IS	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE IV	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
ELECTRE TRI	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
EVAMIX	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
Fuzzy AHP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
Fuzzy ANP	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
Fuzzy methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
Fuzzy PROMETHEE I	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
Fuzzy PROMETHEE II	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
Fuzzy SAW	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
Fuzzy TOPSIS	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
Fuzzy VIKOR	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
IDRA	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
Lexicographic method	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
MACBETH	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
MAPPAC	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
MAUT	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
MAVT	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
Maximax	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Maximin	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Maximin fuzzy method	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
MELCHOR	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
NAIADE I	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
NAIADE II	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
ORESTE	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
PACMAN	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
PAMSSEM I	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
PAMSSEM II	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
PRAGMA	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
PROMETHEE I	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
PROMETHEE II	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
QUALIFLEX	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
REGIME	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Simple Additive Weighting (SAW)	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
SMART	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
TACTIC	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
TOPSIS	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
UTA	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
VIKOR	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
DEMATEL	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
REMBRANDT	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0

Les trois derniers critères utilisés sont la pondération des critères, l'incertitude des données et la disponibilité d'outils d'exécution. Conformément aux principes de gestion désirés par la Métropole de Rouen, et plus largement aux principes de l'évaluation durable, il est nécessaire que la méthode multicritères mobilisée permette la pondération des critères afin de retranscrire des préférences différenciées. Nous appliquons ce critère de sélection, renseigné dans la colonne m_{i1} , aux méthodes restantes. Trois méthodes restent alors en lice, en bleu dans le tableau ci-dessous. Au vu de l'incertitude des données d'entrée, du fait de la nouveauté de notre objet d'étude, les méthodes à privilégier seraient Fuzzy PROMETHEE II ou PAMSSEM II, comme le signifient les critères de prise en compte de l'incertitude, repérés dans les colonnes $m_{i3.1}$, $m_{i3.1.1}$ et $m_{i3.1.2}$, en orange dans le tableau ci-dessous. Toutefois, considérant parallèlement le critère d'outil disponible, la méthode PROMETHEE II est privilégiée car elle est implémentée informatiquement, contrairement aux méthodes Fuzzy PROMETHEE II et PAMSSEM II.

Tableau 64 : Méthodes multicritères intégrant une pondération des critères au sein des méthodes précédemment sélectionnées

Table 2
The set of properties of the considered MCDA methods.

M_i	MCDA method	Abbr.	m_{i1}	$m_{i1,1}$	m_{i2}	m_{i3}	$m_{i3,1}$	$m_{i3,1,1}$	$m_{i3,1,2}$	m_{i4}	$m_{i4,1}$
M ₁	AHP	A _H	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₂	AHP + TOPSIS	A _H + T _P	1	3	2	0	0	0	0	3	2
M ₃	ANP	A _N	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₄	ARGUS	A _G	1	1	1	0	0	0	0	1	0
M ₅	COMET	C _T	0	0	2	1	1	2	0	3	2
M ₆	ELECTRE I	E ₁	1	2	1	0	0	0	0	1	0
M ₇	ELECTRE II	E ₂	1	2	1	0	0	0	0	3	1
M ₈	ELECTRE III	E ₃	1	2	2	1	2	0	3	3	1
M ₉	ELECTRE IS	E _S	1	2	2	1	2	0	3	1	0
M ₁₀	ELECTRE IV	E ₄	0	0	1	1	2	0	3	3	1
M ₁₁	ELECTRE TRI	E _T	1	2	2	1	2	0	3	2	0
M ₁₂	EVAMIX	E _V	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₁₃	Fuzzy AHP	A _F	1	3	3	1	1	3	0	3	2
M ₁₄	Fuzzy AHP + fuzzy TOPSIS	A _F + T _F	1	3	2	1	1	3	0	3	2
M ₁₅	Fuzzy ANP	A _{NF}	1	3	3	1	1	3	0	3	2
M ₁₆	Fuzzy ANP + fuzzy TOPSIS	A _{NF} + T _F	1	3	2	1	1	3	0	3	2
M ₁₇	Fuzzy MIN_MAX ¹	E _F	0	0	1	1	1	2	0	4	0
M ₁₈	Fuzzy PROMETHEE I	P _{1F}	1	2	2	1	3	3	3	3	1
M ₁₉	Fuzzy PROMETHEE II	P _{2F}	1	2	2	1	3	3	3	3	2
M ₂₀	Fuzzy SAW	S _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₁	Fuzzy TOPSIS	T _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₂	Fuzzy VIKOR	V _F	1	2	2	1	1	3	0	3	2
M ₂₃	Goal Programming	G _P	0	0	2	0	0	0	0	1	0
M ₂₄	IDRA	I _D	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₂₅	Lexicographic method	L _M	1	1	1	0	0	0	0	1	0
M ₂₆	MACBETH	M _B	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₂₇	MAPPAC	M _P	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₂₈	MAUT	M _U	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₂₉	MAVT	M _V	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₃₀	Maximax	M _X	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₁	Maximin	M _N	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₂	Maximin fuzzy method	M _F	1	2	2	1	1	2	0	1	0
M ₃₃	MELCHIOR	M _C	1	1	2	1	2	0	3	3	1
M ₃₄	MIN_MAX ¹	E _M	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M ₃₅	NAIADE I	N ₁	0	0	2	1	1	2	0	3	1
M ₃₆	NAIADE II	N ₂	0	0	2	1	1	2	0	3	2
M ₃₇	ORESTE	O _R	1	1	2	1	2	0	1	3	1
M ₃₈	PACMAN	P _C	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₃₉	PAMSSEM I	P _{A1}	1	2	2	1	3	2	3	3	1
M ₄₀	PAMSSEM II	P _{A2}	1	2	2	1	3	2	3	3	2
M ₄₁	PRAGMA	P _G	1	2	2	0	0	0	0	3	1
M ₄₂	PROMETHEE I	P ₁	1	2	2	1	2	0	3	3	1
M ₄₃	PROMETHEE II	P ₂	1	2	2	1	2	0	3	3	2
M ₄₄	QUALIFLEX ¹	Q _F	1	1	1	0	0	0	0	3	1
M ₄₅	REGIME	R _G	1	1	1	0	0	0	0	3	1
M ₄₆	SAW	S _A	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₄₇	SMART	S _M	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₄₈	TACTIC	T _C	1	2	2	1	2	0	1	1	0
M ₄₉	TOPSIS	T _P	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₀	UTA	U _T	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₁	VIKOR	V _K	1	2	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₂	AHP + fuzzy TOPSIS	A _H + T _F	1	3	2	1	1	2	0	3	2
M ₅₃	Fuzzy AHP + TOPSIS	A _F + T _P	1	3	2	1	1	1	0	3	2
M ₅₄	AHP + VIKOR	A _H + V _K	1	3	2	0	0	0	0	3	2
M ₅₅	DEMATEL	D _M	1	3	3	0	0	0	0	3	2
M ₅₆	REMBRANDT	R _M	1	3	3	0	0	0	0	3	2

MIN_MAX¹ - Methods of extracting the minimum and maximum values of the attribute.

Tableau 65 : Synthèse des critères considérés pour le choix d'une méthode d'analyse multicritères dans notre cas d'étude

Critère	Configurations		
Type de problématique	Sélection	Classification	<u>Hiérarchisation</u>
<i>si hiérarchisation</i>	<u>Totale</u>	Partielle	
Pondération	<u>Oui</u>	Non	
Type d'agrégation	Complète	<u>Partielle</u>	Locale
Incertitudes du problème de décision	<u>Oui</u>	Non	
Outils disponibles	<u>Oui</u>	Non	

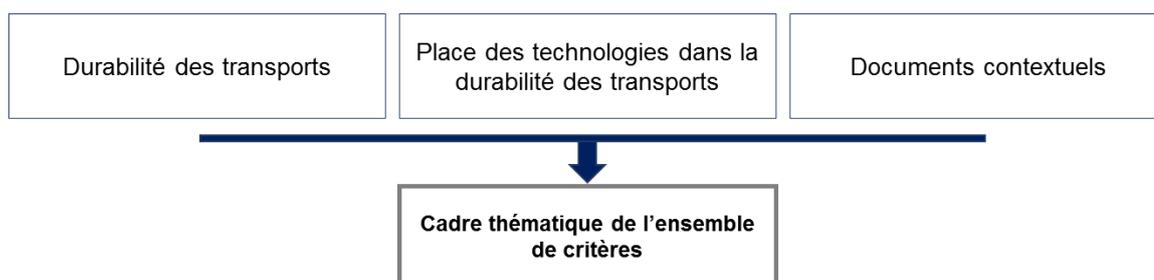
Cette méthode choisie, nous nous attachons à définir l'ensemble de critères et d'indicateurs à mobiliser dans notre cadre d'étude.

7.2.3. La détermination des critères d'évaluation, recours à des typologies existantes

Nous déterminons à présent l'ensemble des critères à mobiliser dans notre cas d'étude. Il est tout d'abord nécessaire de choisir une méthode de définition.

Au vu de l'incertitude entourant notre sujet d'étude, il paraît difficile d'adopter une méthode de détermination selon les liens de causalité, à partir de la description d'un « nuage de conséquences », ou selon les moyens d'influence (Schärlig, 1999). D'autre part, une démarche de définition procédurale est délicate à mettre en œuvre du fait de notre manque de proximité avec les parties prenantes. Ainsi, nous préférons mobiliser des typologies existantes. Une double logique a été adoptée, conformément aux principes de l'évaluation durable, *top down* d'une part, à travers la littérature sur les critères de durabilité des transports et la place des technologies dans ce paradigme, et *bottom up* d'autre part, grâce aux documents de planification et de description du territoire de la MRN listés précédemment.

Figure 26 : Sources utilisées pour le cadrage thématique de l'ensemble de critères



Nous constituons un large tableau récapitulatif des critères et indicateurs présents au sein de ces différentes sources, avant d'effectuer une sélection au sein de celui-ci. Nous précisons dans la troisième colonne le sens d'évolution souhaité.

En ce qui concerne la durabilité des transports, nous nous appuyons sur le recensement en quatre axes de la partie précédente, reprenant aspects environnementaux, économiques, sociaux et de performance du système de transport. Nous repérons en bleu les éléments les plus communément étudiés (Jeon et Amekudzi, 2005; Alonso et al., 2015 et Nadi et Murad,2017) :

- émissions de gaz à effet de serre
- émissions de polluants
- pollution sonore
- consommation d'espace des infrastructures de transport
- sécurité routière
- dépenses publiques dédiées aux transports, particulièrement aux transports publics
- prix pour l'utilisateur, dont l'accessibilité financière
- congestion routière

Tableau 66 : Critères mobilisés dans l'évaluation durable des transports urbains dans la littérature dédiée

Critère	Indicateurs	Sens d'évolution souhaité du critère
Environnementaux		
Emissions de polluants locaux	<ul style="list-style-type: none"> - CO - VOC - NOx - Particules - SO2 - Ozone 	Diminution
Emissions de gaz à effet de serre	<ul style="list-style-type: none"> - CO2 - CFC - CH4 	Diminution
Pollution sonore	- Part de la population exposée à des niveaux de bruit élevés dus au trafic automobile	Diminution
Pollution lumineuse		Diminution
Consommation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation de carburants fossiles - Consommation d'énergie par habitant 	Diminution
Consommation de ressources	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation de ressources renouvelables - Consommation de ressources non renouvelables 	Diminution
Recyclage		Augmentation
Consommation d'espace	- Espace occupé par les infrastructures de transport	Diminution
Etalement urbain	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'espace dédiée au logement - Consommation d'espace dédiée aux activités économiques 	Diminution
Santé des écosystèmes (habitat, faune et flore)	<ul style="list-style-type: none"> - Fragmentation des habitats naturels - Dégradation des zones humides - Dégradation des forêts 	Augmentation
Dégradation patrimoine bâti, paysage		Diminution
Résilience à des crises environnementales		Augmentation

Sociaux		
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de blessés - Nombre de tués - Nombre d'accidents - Nombre d'accidents impliquant des utilisateurs vulnérables de la route 	Augmentation
Equité d'accès aux services de transport	<ul style="list-style-type: none"> -Qualité d'accès pour les personnes vulnérables (non-conducteurs, personnes âgées, PMR) - Qualité d'accès en zones périurbaines et rurales 	Augmentation
Accessibilité financière	<ul style="list-style-type: none"> - Part du transport dans les dépenses des ménages pour les 20% des ménages les plus défavorisés - Part des ménages à faible revenu qui dépensent plus de 20% de leur budget au poste des transports - Accessibilité financière transports publics pour les plus défavorisés 	Augmentation
Accès à l'emploi	<ul style="list-style-type: none"> - Accessibilité spatiale aux emplois 	Augmentation
Accès aux biens, ressources et services	<ul style="list-style-type: none"> - Accessibilité spatiale aux services publics 	Augmentation
Qualité de l'environnement local	<ul style="list-style-type: none"> - Qualité des espaces publics - Mixité des fonctions urbaines - Marchabilité et cyclabilité 	Augmentation
Activité physique	<ul style="list-style-type: none"> - Part de la population marchant ou utilisant un vélo régulièrement 	Augmentation
Santé publique	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de décès dus à la pollution 	Augmentation
Exposition aux polluants	<ul style="list-style-type: none"> - Part de la population exposée à un niveau excessif de polluants atmosphériques 	Diminution
Equité environnementale	<ul style="list-style-type: none"> - Exposition aux polluants selon les caractéristiques individuelles - Exposition au bruit selon les caractéristiques individuelles 	Augmentation
Résilience à des crises sociales		Augmentation
Economiques		

Activité économique	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilité et flexibilité de la main d'œuvre - Compétitivité des entreprises locales 	Augmentation
Dépenses publiques	<ul style="list-style-type: none"> - Dépenses d'investissement et de fonctionnement dédiées aux infrastructures routières et à la gestion de la circulation - Dépenses liées aux zones de stationnement - Dépenses dédiées aux transports publics 	Diminution
Dépenses individuelles en transports	<ul style="list-style-type: none"> - Frais fixes - Frais variables - Evolution des prix réels des transports 	Diminution
Représentativité des prix	<ul style="list-style-type: none"> - Degré d'intégration de l'ensemble des coûts, sociaux et environnementaux, aux prix 	Augmentation
Emplois	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'emplois 	Augmentation
Système de transport		
Demande de transport	<ul style="list-style-type: none"> - Passager-kilomètres - Véhicule-kilomètres - Distance moyenne de transport 	Diminution
Temps de transport	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité du temps de transport - Congestion 	Diminution
Déplacements automobiles	<ul style="list-style-type: none"> - Part modale de l'automobile - Taux d'occupation des véhicules - Composition du parc (dont part des véhicules à faible émission) - Taux de motorisation 	Diminution
Déplacements grâce aux modes actifs	<ul style="list-style-type: none"> - Part modale de la marche à pied - Part modale du vélo - Nombre de services clés disponibles dans un rayon accessible à pied - Disponibilité de pistes cyclables - Disponibilité d'espaces piétons 	Augmentation
Déplacements grâce aux transports en commun	<ul style="list-style-type: none"> - Part modale des transports en commun - Densité des transports en commun - Qualité des transports en commun - Part de la population disposant d'un accès aux transports en commun dans un rayon de 500 mètres 	Augmentation

Intermodalité	- Part des déplacements comprenant deux modes ou plus - Intégration intermodale	Augmentation
----------------------	--	--------------

En deuxième lieu, nous reprenons les critères souvent mobilisés pour l'analyse des effets des technologies sur la durabilité des transports, tel que décrits dans le chapitre précédent. Le tableau ci-dessous reprend ainsi les critères significatifs des effets potentiellement positifs des technologies, résultats des mécanismes d'optimisation du système, d'amélioration de la sécurité, d'accès facilité à la mobilité, de partage des ressources et de dématérialisation des échanges, mais aussi de leurs effets rebond, mesurés par l'évolution du nombre de véhicule-kilomètres parcourus.

Tableau 67 : Critères couramment mobilisés pour la mesure de la contribution des technologies à la durabilité des transports

Critère	Indicateurs	Sens d'évolution souhaité
Environnementaux		
Consommation de ressources	- Consommation de ressources renouvelables - Consommation de ressources non renouvelables	Diminution
Consommation énergétique	- Performance énergétique des véhicules	Diminution
Emissions de polluants		Diminution
Emissions de gaz à effet de serre		Diminution
Sociaux		
Sécurité	- Nombre de blessés - Nombre de tués - Nombre d'accidents	Augmentation
Accès à la mobilité		Augmentation
Système de transport		

Demande de transport	- Véhicule-kilomètres	Diminution
-----------------------------	-----------------------	------------

Finalement, nous considérons les critères et indicateurs mis en avant dans les documents concernant la Métropole de Rouen Normandie précédemment listés. Ils correspondent aux principes mis en avant à l'étape de caractérisation de la conception de la durabilité adoptée.

Tableau 68 : Principaux critères de durabilité des transports mis en avant dans les documents stratégiques de la Métropole de Rouen

Critère	Indicateurs	Sens d'évolution souhaité
Environnementaux		
Emissions de polluants locaux	- VOC - NOx - Particules - Ozone	Diminution
Emissions de gaz à effet de serre	- CO2 - CH4	Diminution
Pollution sonore	- Part de la population exposée à des niveaux de bruit élevés dus au trafic automobile	Diminution
Consommation énergétique		Diminution
Sociaux		
Accessibilité financière	- Accessibilité financière aux transports publics pour les plus défavorisés	Augmentation
Equité d'accès	- Qualité d'accès pour les personnes à mobilité réduite (PMR) - Qualité d'accès en zones périurbaines et rurales	Augmentation
Sûreté	- Sûreté des femmes dans les transports en commun et les espaces publics	Augmentation
Qualité de l'espace public		Augmentation

Economiques		
Activité économique	- Attractivité économique - Compétitivité des entreprises locales	Augmentation
Emplois	- Création d'emplois	Augmentation
Système de transport		
Demande de transport	- Véhicules-kilomètres - Distance moyenne de déplacement	Diminution
Temps de transport	- Congestion	Diminution
Déplacements automobile	- Part modale de l'automobile - Taux d'occupation des véhicules (développement du covoiturage)	Diminution
Déplacements grâce aux modes actifs	- Sécurisation des espaces piétons - Disponibilité des pistes cyclables - Disponibilité du stationnement vélo - Voiries apaisées	Augmentation
Déplacements grâce aux transports en commun	- Fréquentation des transports en commun - Offre de transports en commun (accessibilité spatiale) - Qualité de l'offre de transport en commun (vitesse commerciale)	Augmentation
Intermodalité	- Aménagement de « zones intermodales »	Augmentation
Organisation spatiale		
Densification	- Densification du tissu urbain et rural	Augmentation
Consommation d'espace	- Espace dédié au stationnement dans le centre-ville - Répartition de l'occupation de l'espace entre les différents modes de transport	Diminution
Etalement urbain	- Consommation d'espace dédiée au logement	Diminution

	- Consommation d'espace dédiée aux activités économiques	
Cohérence développement urbain	- Cohérence entre développement des transports en commun et zones à construire	Augmentation
Qualité de l'espace public		Augmentation

Nous poursuivons notre sélection grâce aux principes méthodologiques de constitution d'un ensemble d'indicateurs pour l'analyse multicritères, présentés dans le chapitre précédent.

Nous souhaitons conserver tous les éléments nécessaires à la prise de décision tout en minimisant le nombre de critères. Les critères retenus sont sélectionnés s'ils figurent dans au moins deux des sources mentionnées précédemment, sont désignés comme centraux par la littérature portant sur la durabilité des transports ou sont spécifiques à notre cas d'étude.

Ensuite, nous effectuons les modifications suivantes en vue de réduire le nombre de critères. Les critères « Consommation énergétique » et « Consommation de ressources » sont éliminés, puisqu'ils sont pris en compte par les émissions de polluants et de gaz à effet de serre, leurs conséquences directes au niveau local. Ainsi, nous considérons la mesure des émissions comme un proxy de ces deux critères au niveau local. Bien évidemment, cela revient à négliger les émissions liées à l'énergie et aux ressources mobilisées en amont des déplacements locaux, qui ont des conséquences à des échelles géographiques plus larges. Dans la continuité et toujours par simplification, la demande de transport, mesurée par la quantité de véhicule-kilomètres parcourus, est considérée comme le principal contributeur à ces émissions. Nous ne la prenons donc pas en compte comme critère de décision, mais son estimation est toutefois indispensable à celle des effets environnementaux cités. Nous supprimons ensuite le critère de dépenses individuelles de transport. De fait, le coût des transports détermine en partie leur volume. Il s'agit donc d'un facteur explicatif. Nous conservons toutefois cette dimension à travers l'équité d'accès aux services de transports selon le revenu, plus centrale en matière de durabilité. Nous éloignons ensuite le critère d'intermodalité, qui est davantage un levier pour la réduction de la part modale de la voiture personnelle et du volume de véhicule-kilomètres, qu'un critère de décision. Finalement, notons que nous avons intégré les indicateurs de sûreté des femmes et d'accessibilité financière au critère d'équité d'accès.

Nous aboutissons ainsi à l'ensemble de d'indicateurs suivant :

Environnement

1. Pollution de l'air
2. Pollution sonore
3. Emissions de CO2

Social

4. Sécurité des déplacements
5. Equité d'accès à la mobilité selon l'âge
6. Equité d'accès à la mobilité selon le revenu
7. Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
8. Accès des personnes à mobilité réduite
9. Equité d'accès à la mobilité selon le genre

Economie

10. Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports
11. Emplois dans le transport local

Système de transport

12. Congestion routière
13. Utilisation des transports en commun
14. Pratique du vélo
15. Pratique de la marche à pied

Organisation spatiale

16. Réduction de l'espace de stationnement automobile
17. Consommation d'espace des logements
18. Consommation d'espace des activités économiques

Ces critères sont semblables à ceux présents dans les travaux d'évaluation du véhicule automatique précédemment réalisés. Les critères « Acceptation et utilisation » et « Perception de la qualité » ne sont toutefois pas utilisés dans notre étude. Relatives à l'appréciation de la technologie par les individus, elles tiennent le rôle de variables explicatives et non de critères d'évaluation dans notre travail. Par ailleurs, les sous-ensembles d'indicateurs se différencient au sein des catégories de critères « sociaux » et « économiques ». Dans le premier cas, les dissemblances portent sur la déclinaison du critère d'équité d'accès, que nous compartimentons davantage que dans les travaux précédents, qui se concentraient sur les indicateurs liés au revenu et au statut « PMR ». Dans le second cas, nous n'avons pas retenu les critères de productivité et de niveau de l'activité économique, du fait de la complexité des estimations qu'ils nécessiteraient. L'ensemble de critères défini se montrent donc en ligne avec les études déjà réalisées, tout en se distinguant par une attention particulière portée aux enjeux d'équité.

Nous confrontons à présent l'ensemble de critères déterminé aux scénarios produits à l'étape précédente. Notre objectif est de nous assurer que les informations nécessaires à l'estimation des indicateurs sont présentes dans les scénarios.

7.2.4. Une représentation synthétique du système de transports urbains comme cadre de confrontation informationnelle

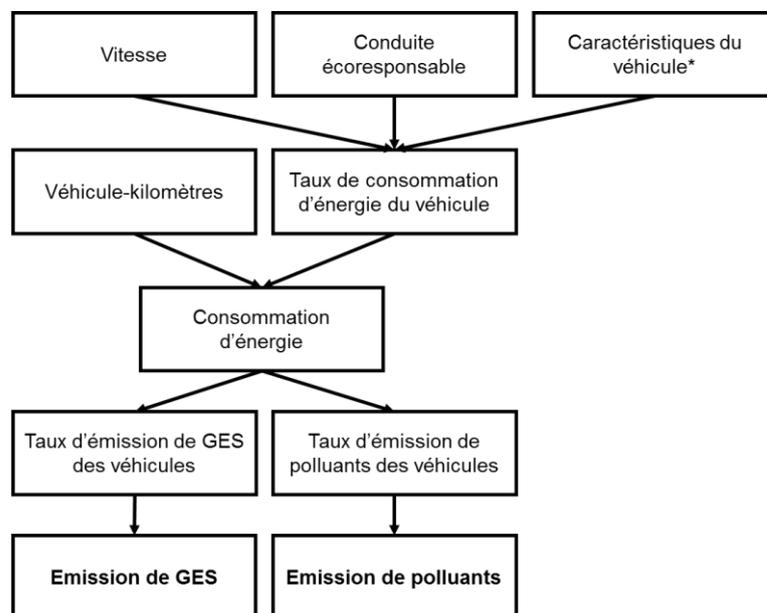
Afin de dégager un cadre de « confrontation » entre les scénarios initialement produits et le cadre de mesure, nous nous appuyons sur les travaux de Sterman (2000) et de Sioui (2014), portant sur les liens de cause à effet propres au système de transport. Les liens établis dans ces travaux se fondent sur un large corpus, que nous ne détaillons pas ici (Sioui, 2014, p 327-330). Lorsque les causalités recherchées ne figurent pas au sein d'une de ces deux références, nous nous appuyons sur des travaux dans le sous-domaine concerné.

Les déterminants des différents critères sont explicités selon leur ordre d'apparition dans le tableau précédent.

- Les émissions de polluants et de gaz à effet de serre

Les émissions de polluants, dont le bruit, et de GES dépendent de la vitesse, du style de conduite, du nombre de véhicule-kilomètres parcourus et des caractéristiques des véhicules. Les taux de consommation d'énergie des véhicules et taux d'émission des sources d'énergie utilisées sont ainsi d'importance. Le schéma ci-dessous reprend les causalités dans le cas des émissions de gaz à effet de serre et de polluants, dont le bruit.

Figure 27 : Facteurs déterminants des émissions de gaz à effet de serre et de polluants (adapté de Sioui, 2014)



* Efficacité du moteur et dispositif antipollution

Nous considérons la vitesse comme donnée par le type de zone géographique dans laquelle les kilomètres sont parcourus. Nous adoptons les classes suivantes, conformément aux prescriptions des principaux documents méthodologiques français de référence en matière d'évaluation des investissements publics : « Evaluation socioéconomique des investissements publics » (CGSP, 2013a), reprises plus récemment par le « Référentiel méthodologique pour l'évaluation des projets de transport » (DGITM, 2017) et les « Fiches outils du référentiel d'évaluation des projets de transport. » (Ministère de la Transition écologique, 2019).

Tableau 69 : Classes de densité utilisées pour le calcul socio-économique

	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette (hab/km²)	< 37	37-450	450-1500	1500-4500	> 4500

Tableau 70 : Vitesse en fonction du type de zone géographique

Zone	Vitesse
Très dense	30
Dense	40
Urbain	50
Urbain diffus	80/90
Interurbain	110

- L'équité d'accès à la mobilité

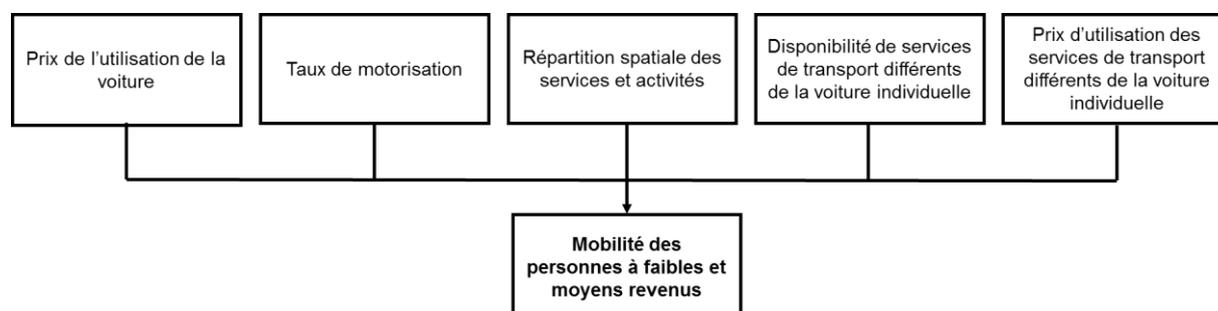
Pour les mesures d'équité, nous privilégions une approche se concentrant sur l'écart entre groupes favorisés et défavorisés.

- L'équité d'accès selon le revenu

Les inégalités d'accès à la mobilité se conçoivent essentiellement à travers les difficultés ou vulnérabilités financières des groupes de revenu faible et moyen à mettre en œuvre leur mobilité quotidienne. Dans ce cadre, l'évolution de l'accès à la mobilité de ces groupes par rapport au groupe de revenu élevé est d'intérêt.

Le revenu affecte la localisation résidentielle, en partie déterminante de l'accès à des services de transport différents de la voiture, la motorisation et l'usage de la voiture (Jouffe et al., 2015 ; Vallée et al., 2015). Par ailleurs, la répartition spatiale des services et des activités influence également les nécessités et possibilités de déplacements, les difficultés de mobilité (Nicolas et al., 2012).

Figure 28 : Facteurs déterminants de la mobilité des personnes à faible et moyen revenus



- L'équité selon la localisation

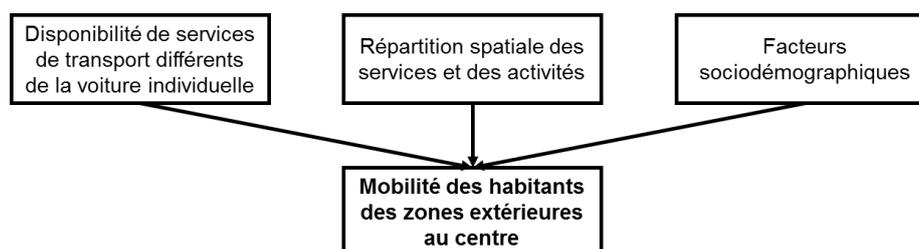
Dans le cas de l'équité d'accès à la mobilité selon la localisation, nous considérons que les groupes défavorisés sont les habitants des zones extérieures au centre, nommé « urbain très dense » dans le tableau ci-dessous.

Tableau 71 : Classes de densité utilisées pour le calcul socio-économique

	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette (hab/km²)	< 37	37-450	450-1500	1500-4500	> 4500

L'accès à la mobilité de ces habitants dépend tout particulièrement de la répartition spatiale des activités et de la disponibilité de services différents de la voiture individuelle (Fol et Gallez, 2017 ; Cuvelier et Uster, 2020).

Figure 29 : Facteurs déterminants de la mobilité des habitants des zones extérieures au centre



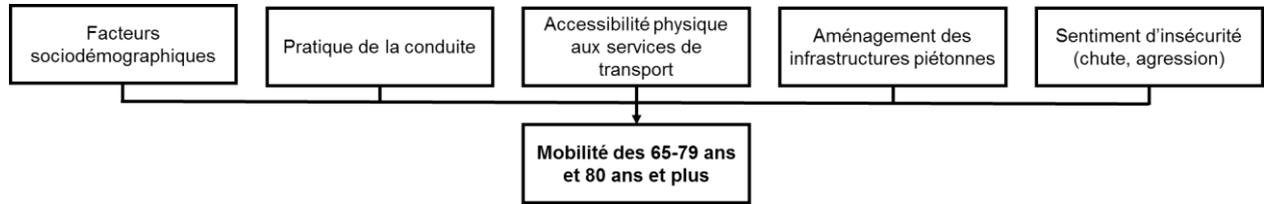
- L'équité selon l'âge

S'agissant de l'équité d'accès à la mobilité selon l'âge, nous considérons que les groupes d'âge les plus exposés à des difficultés de mobilité sont les 5-17 ans, les 18-24 ans ainsi que les personnes âgées (65-79 ans) et très âgées (80 ans et plus).

S'agissant des personnes âgées, nous résumons les facteurs déterminants de leur mobilité dans le schéma ci-dessous, établi à partir des contributions de Pochet (2003) et Dumas (2012). Leur mobilité est dépendante d'autres facteurs sociodémographiques (localisation, genre, revenu, capacité physique). Nous les désignons dans le schéma ci-dessous par le terme « Facteurs sociodémographiques ». Les facteurs spécifiques aux personnes âgées sont d'ordre psychosocial (pratique de la conduite, sentiment d'insécurité)

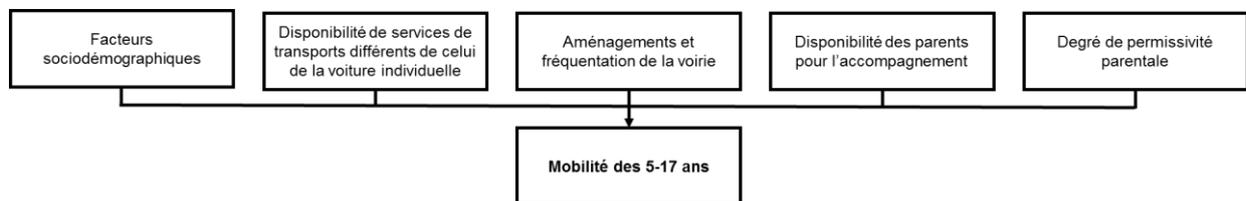
et physique (accessibilité aux transports en commun, aménagement des infrastructures piétonnes).

Figure 30 : Facteurs déterminants de la mobilité des personnes âgées



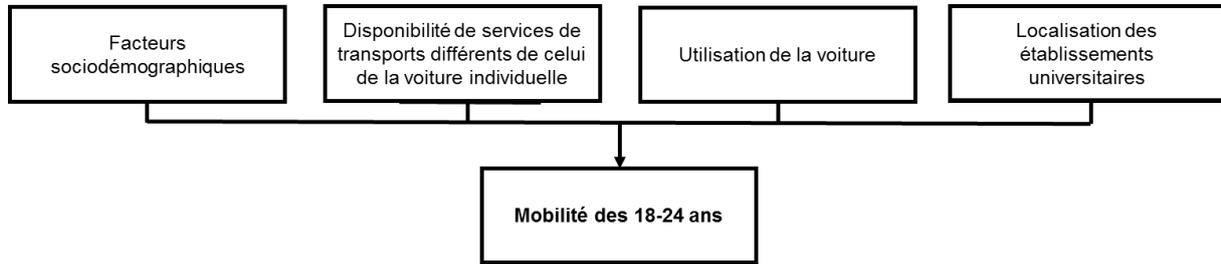
Les facteurs déterminants de la mobilité 5-17 ans sont sociodémographiques (localisation résidentielle, genre, revenu et forme du ménage), se référant notamment à ceux des parents (Blanchard, 2014 ; Huguenin-Richard, 2018 ; Vandermissen, 2008 ; Massot et Zaffran, 2007). En dehors de cela, la disponibilité des services de transport, l'aménagement/fréquentation de la voirie (densité et vitesse de circulation, aménagement des trottoirs), la disponibilité pour l'accompagnement et le degré de permissivité parentales sont influents (Huguenin-Richard, 2018 ; Vandermissen, 2008 ; Massot et Zaffran, 2007).

Figure 31 : Facteurs déterminants de la mobilité des enfants et adolescents (5-17 ans)



Dans le cas des 18-14 ans, les facteurs de genre, de localisation et de revenu sont déterminants. De nouveau, nous les résumons le terme « Facteurs sociodémographiques » dans le schéma suivant. Les autres facteurs d'influence sont la localisation des établissements universitaires, l'usage de la voiture et la disponibilité de services de transport. L'usage de la voiture est influencé dans ce groupe d'âge par les facteurs sociodémographiques. La possession du permis de conduire est un élément important. Le passage du permis est dépendant de son coût, du temps à investir et de la difficulté de son obtention d'une part, et de l'image de la voiture et des valeurs, attitudes et modes de vie au sein de ce groupe d'âge d'autre part (Vincent-Geslin et al., 2017 ; Rérat et Haldimann, 2020).

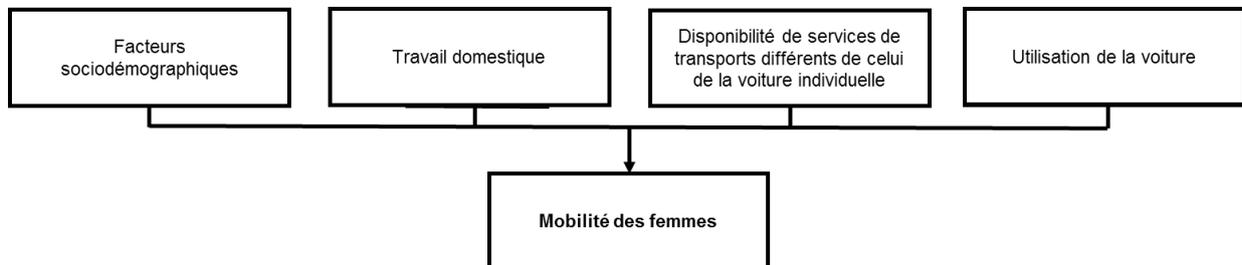
Figure 32 : Facteurs déterminants de la mobilité des jeunes (18-24 ans)



- L'équité selon le genre

La mobilité est une pratique genrée (Demoli, 2014 ; Kieffer, 2014). Les déplacements des femmes sont historiquement plus limités en nombre et en distance. Une forme de rattrapage s'est opérée depuis, amorcé en 1945 du fait de l'accès à l'automobile, puis renforcé dans les années 1970 avec la généralisation du travail des femmes. Une convergence qui se montre toutefois notamment liée à la réalisation des tâches domestiques et la gestion des enfants (Demoli, 2014 ; Kieffer, 2014). Nous les considérons donc comme un « groupe » défavorisé. Les facteurs sociodémographiques, de forme du ménage (présence et nombre d'enfants) et de statut professionnel sont déterminants de la mobilité des femmes.

Figure 33 : Facteurs déterminants de la mobilité des femmes

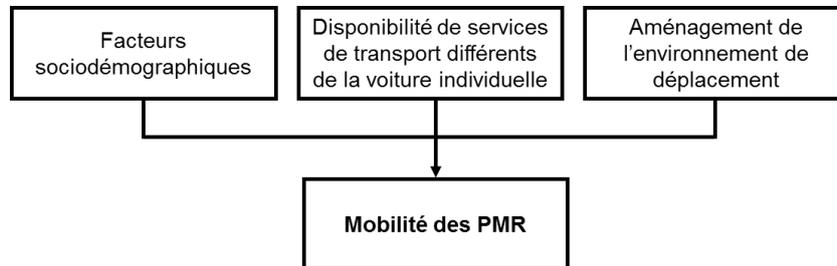


- L'équité selon les difficultés à se déplacer, l'accès des personnes à mobilité réduite

La dernière dimension de l'équité étudiée concerne les personnes dites « à mobilité réduite ». Il est entendu par ce terme, tel que le précise la directive 2001/85/CE, l'ensemble des personnes éprouvant des difficultés à se déplacer, de manière provisoire ou permanente. Il peut ainsi s'agir de personnes souffrant de handicaps physiques et/ou cognitifs, mais également de personnes transportant des bagages lourds ou accompagnant des enfants. Ces difficultés sont influencées, en plus des capacités de la personne, par d'autres caractéristiques sociodémographiques (âge, genre, revenu, niveau d'éducation, situation familiale, statut

d'activité, localisation résidentielle) et par l'aménagement de l'environnement de déplacement, notamment l'accessibilité le long de la chaîne de déplacements (Alauzet, 2017 ; Alauzet et Pochet, 2013).

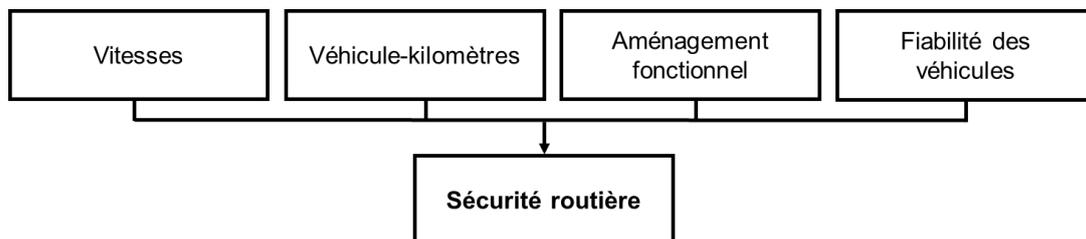
Figure 34 : Facteurs déterminants de la mobilité des PMR



- La sécurité routière

Les éléments déterminants de la sécurité routière sont la vitesse, les volumes et débits sur les liens routiers, l'aménagement fonctionnel (usure, sécurité, éclairage) et les caractéristiques des véhicules.

Figure 35 : Facteurs déterminants de la sécurité routière (adapté de Sioui, 2014)

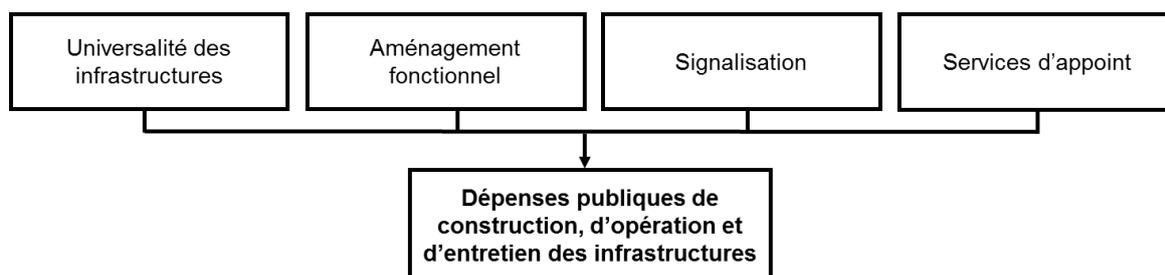


- Les dépenses publiques locales de transports

Les dépenses publiques locales de transport comprennent deux principales composantes : les infrastructures et les transports en commun.

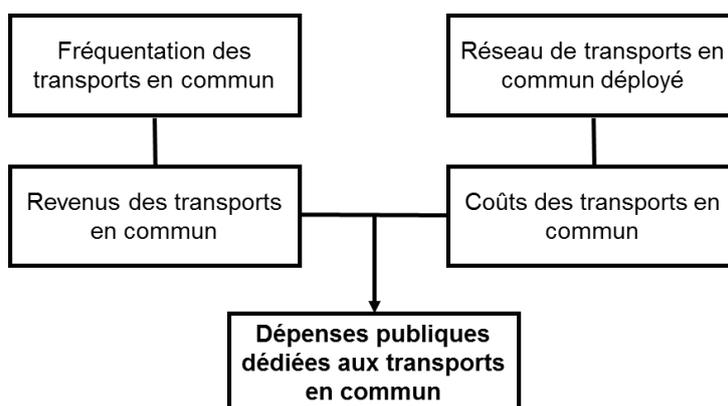
Les postes désignés dans le schéma ci-dessous engendrent des coûts d'investissement et de fonctionnement. L'universalité des infrastructures fait référence à leur adaptation aux personnes à mobilité réduite.

Figure 36 : Facteurs déterminants des dépenses publiques de transport dédiées aux infrastructures (adapté de Sioui, 2014)



Les dépenses publiques liées aux transports en commun dépendent naturellement des coûts et recettes, de l'équilibre financier du réseau. S'agissant des coûts, l'ampleur et la nature du réseau déployé les déterminent, le revenu l'est par la fréquentation.

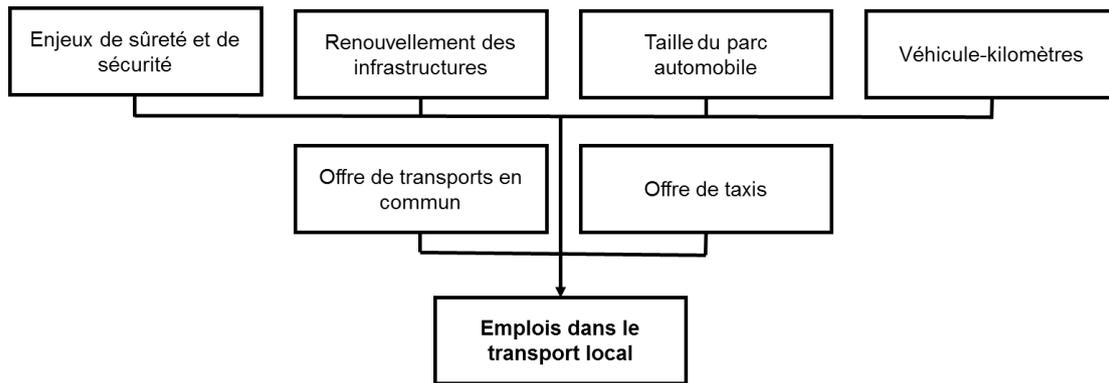
Figure 37 : Facteurs déterminants des dépenses publiques dédiées aux transports en commun (adapté de Sterman, 2000)



- Les emplois liés au transport local de personnes

L'évolution du nombre et de la nature des emplois dans le secteur des transports urbains, soient les emplois correspondant aux activités 42.1, 45.1, 45.2 et 49.3 de la Nomenclature d'activités française (INSEE, 2019), dépendent de l'évolution de la demande de transport et de sa répartition entre les différents modes. D'un côté, l'offre disponible en matière d'infrastructures et de services, particulièrement de transports collectifs et de taxis, compte pour les emplois de conduite. De l'autre, le taux de motorisation et la nature du parc, particulièrement la complexité du matériel, sont déterminants des activités de maintenance. Le taux d'utilisation des différents modes et des infrastructures conditionnent leur renouvellement. Par ailleurs, l'importance grandissante des enjeux de sûreté et de sécurité demande de nouveaux emplois (Kyu Associés, 2019).

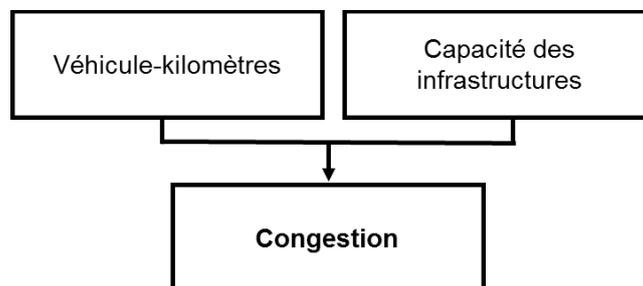
Figure 38 : Facteurs déterminants du nombre d'emplois dédiés au transport de personnes



- La congestion routière

La congestion, particulièrement dans le cas de la voiture particulière, découle du nombre total de véhicule-kilomètres, dont nous avons précédemment évoqué les principaux déterminants, et de la capacité des infrastructures.

Figure 39 : Facteurs déterminants du temps de transport (adapté de Sioui, 2014)

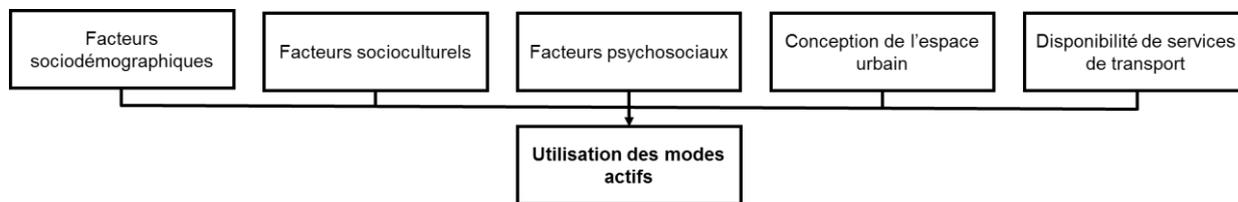


- L'utilisation des modes actifs

Les déterminants de l'utilisation des modes actifs peuvent être classés en deux catégories : individuels et contextuels (Convolte, 2018). Au sein des facteurs individuels, nous trouvons des facteurs sociodémographiques (âge, genre, situation familiale, revenu), socioculturels (préférences, valeurs) et psychosociaux (expérience, habitudes, compétences-connaissances). Au sein des facteurs contextuels, la conception de l'espace urbain (environnement bâti, espace public, mobilier urbain, cohabitation avec les autres modes), le contexte socio-économique et spatial (dynamique d'usage sur le territoire, densité, mixité des fonctions urbaines) et la disponibilité de services de transport et de services support en lien avec ces modes (performance des transports en commun, services dédiés aux mobilités

actives, système d'information) sont d'importance (Papon et de Solère, 2010 ; Convolte, 2018 ; Chrétien, 2019).

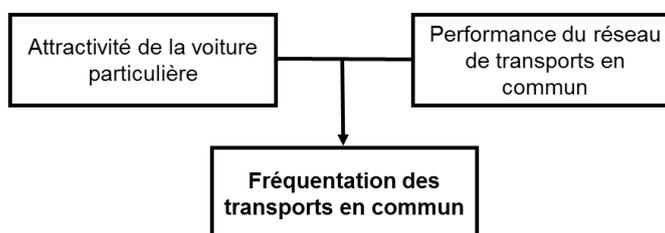
Figure 40 : Facteurs déterminants de l'utilisation des modes actifs



- L'utilisation des transports en commun

L'utilisation, ou fréquentation, des transports en commun, dépend du positionnement de ce mode par rapport aux autres pour les habitants du territoire. En ce sens, Sterman (2000) considère principalement la « concurrence » de la voiture particulière pour expliquer la fréquentation des transports en commun. L'attractivité de la voiture particulière dépend principalement du temps de transport et des coûts monétaires du mode comparativement aux transports en commun.

Figure 41 : Facteurs déterminants de la fréquentation des transports en commun (adapté de Sterman, 2000)

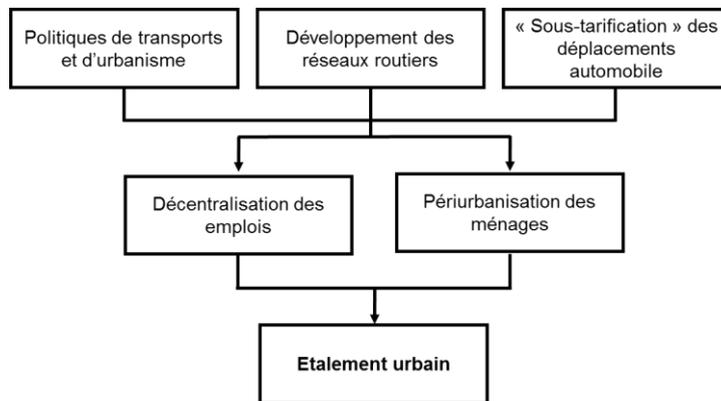


- L'étalement urbain

L'étalement urbain, entendu comme l'extension du tissu urbain, urbanisation de nouveaux espaces, est le résultat de dynamiques multiples. Ainsi, la croissance démographique, les aspirations des individus en matière de mode et de cadre de vie, l'offre de logements, les politiques d'accès à la propriété et les règles urbanistiques sont des facteurs déterminants de ce phénomène (Sainteny, 2008 ; Burchfield et al., 2006 ; Antoni, 2010). Deux principaux mouvements sont repérables : la décentralisation des emplois et la périurbanisation des ménages (Béchet et al., 2017 ; Burchfield et al., 2006). Dans ce spectre, nous nous concentrons sur la place des transports. La dispersion de la localisation des entreprises et des ménages peut s'expliquer par un manque de coordination entre les

politiques de transport et d'urbanisme et par le développement des réseaux routiers, à travers les gains d'accessibilité engendrés. Le lien de causalité n'est toutefois pas direct, la relation entre infrastructures et configuration spatiale tenant d'une adaptation réciproque et de la « sous-tarification » des déplacements routiers (Sainteny, 2008 ; Béchet et al., 2017).

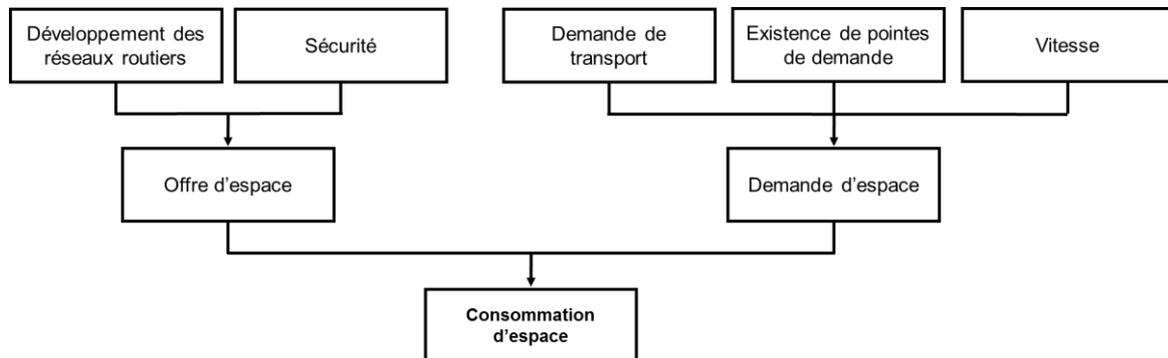
Figure 42 : Facteurs déterminants de l'étalement urbain relatifs au domaine des transports



- La consommation d'espace des infrastructures de transport

L'espace occupé par les infrastructures de transport correspond à l'espace de stationnement et de circulation. Pour mieux décrire la consommation d'espace, offre et demande sont à distinguer (Héran et Ravalet, 2008). L'offre est considérée comme très stable dans le temps, évoluant selon les investissements, agrandissements et réductions, résultats de décisions politiques de moyen et long terme (Héran et Ravalet, 2008). L'élargissement de l'espace dédié à un mode de transport est souvent motivé par un besoin de sécurité. La demande d'espace dépend quant à elle du nombre d'utilisateurs, assimilable à la demande de transport, de l'existence de pointes de demande et de la vitesse.

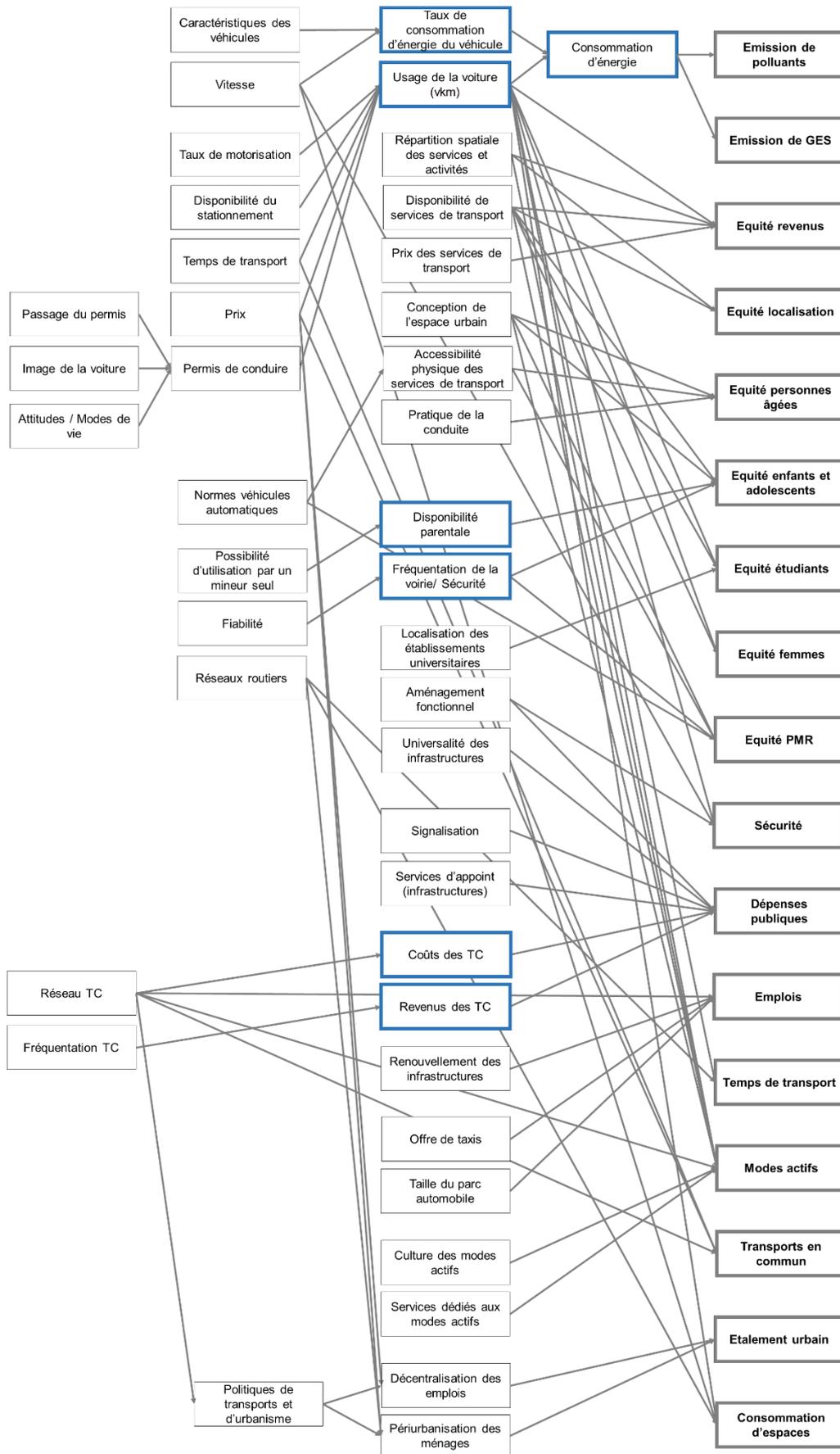
Figure 43 : Facteurs déterminants de la consommation d'espace des infrastructures de transport
(Héran et Ravalet, 2008)



A présent, afin de vérifier le contenu informationnel minimal des scénarios, afin qu'ils puissent être évalués au sens des indicateurs définis, nous réunissons les indicateurs et leurs variables explicatives au sein d'un même cadre. Notons que dans une démarche à la fois évaluative et prospective, nous souhaitons que ces scénarios soient suffisamment précis, mais laissent place à l'interprétation et à la discussion.

Pour réaliser cette analyse, nous proposons une représentation synthétique des liens décrits précédemment. Afin de garantir la lisibilité et de limiter la complexité du schéma en question, l'ensemble des liens n'est pas détaillé aussi précisément que précédemment. Nous représentons ainsi les indicateurs d'évaluation à droite (encadrés gris) et les différentes variables explicatives dans les autres colonnes. Certains phénomènes intermédiaires sont mentionnés pour faciliter la compréhension (encadrés bleus).

Figure 44 : Représentation schématique des facteurs déterminants des indicateurs d'évaluation



Nous déterminons, à partir des premiers scénarios dont nous disposons (cf. p 283-284), les variables qui doivent être traitées dans les scénarios et les variables considérées comme données par le contexte.

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre et de polluants, plusieurs évolutions en lien avec l'introduction du véhicule automatique doivent figurer ou pouvoir être déduites. Premièrement, nous supposons le taux de consommation d'énergie des véhicules, pour plus de simplicité et au vu des débats relatés dans la première partie de ce travail, comme similaire à un véhicule traditionnel. Cette hypothèse est à mentionner. Deuxièmement, s'agissant des véhicule-kilomètres parcourus, au vu de l'horizon d'étude, nous considérons le taux de motorisation et la disponibilité du stationnement comme stables, donnés par le contexte. En revanche, il semble nécessaire que les prix et temps de déplacement relatifs aux nouveaux modes automatiques étudiés figurent dans les scénarios. Comme nous l'avons précisé précédemment, la vitesse est considérée comme donnée par le type de zone géographique dans lequel les véhicule-kilomètres sont parcourus. Il sera donc nécessaire de spatialiser ces derniers dans les estimations.

Concernant l'équité d'accès à la mobilité, différents facteurs explicatifs mentionnés doivent être renseignés dans les scénarios.

Dans le cas du revenu, au sein des facteurs déterminants, nous considérons la localisation résidentielle et la localisation des services et activités comme contextuels au vu de l'horizon d'étude. A l'inverse, l'introduction du véhicule automatique engendre des évolutions des qualités de la voiture personnelle et des autres services de transport. Les scénarios doivent donc préciser les prix d'utilisation des véhicules automatiques et leur disponibilité spatiale dans le cas des services de transports.

Pour l'équité d'accès à la localisation, la disponibilité spatiale et temporelle des services de transport doivent figurer dans les scénarios.

Dans l'équité d'accès selon l'âge, nous distinguons, personnes âgées, 18-24 ans et 5-17 ans. Pour les premières, les scénarios considérés peuvent influencer la pratique de la conduite et l'accessibilité physique des services de transport. Les conditions d'utilisation du véhicule automatique doivent donc être précisées. Pour les 18-24 ans, les scénarios doivent permettre de décrire l'influence sur l'usage de la voiture et sur la disponibilité des autres services de transport, soient les prix et temps de transport affiliés. Pour les 5-17 ans, les scénarios doivent stipuler ou permettre de déduire l'influence des VA sur la « disponibilité parentale », c'est-à-dire les conditions d'utilisation du véhicule en tant qu'enfant ou adolescent

; sur la « fréquentation de la voirie », principalement la sécurité, correspondant à la fiabilité des véhicules, et sur la disponibilité de services de transport.

Enfin, dans le cas de l'accès à la mobilité pour les personnes à mobilité réduite, de nouveau, les scénarios doivent préciser les conditions d'utilisation des véhicules automatiques.

Pour l'étude de la sécurité routière, les scénarios doivent permettre, comme dans le cas d'autres critères, de déterminer l'évolution du nombre de véhicule-kilomètres parcourus (prix, temps) et préciser la fiabilité des véhicules. Au vu de l'horizon d'étude, les vitesses réglementaires ainsi que l'aménagement fonctionnel sont considérés comme donnés.

S'agissant des dépenses publiques locales en matière de transports, dans le cas des infrastructures, les véhicules automatiques sont susceptibles d'affecter les équipements nécessaires. Des hypothèses doivent donc être proposées sur ces nécessités infrastructurelles dans les scénarios. Pour les transports en commun, l'évolution du réseau de transports en commun découlant directement des scénarios doit figurer, au travers des variables, de prix, de temps et de disponibilité spatiale et temporelle, afin de discuter de l'évolution de la fréquentation.

Dans le cas de l'évolution du nombre d'emplois, les informations contenues dans les scénarios doivent permettre de supposer les implications sur l'évolution de l'offre de transports en commun et de l'offre d'autres services de transport. Les évolutions concernant les enjeux de sûreté et de sécurité, ainsi que le taux de renouvellement des infrastructures sont considérées comme donnés.

Pour le temps de transport, nous considérons la capacité des infrastructures comme donnée au vu de l'horizon d'étude. L'évolution de la congestion, dépendra donc principalement de l'évolution du nombre de véhicule-kilomètres parcourus, de l'utilisation de la voiture, dont les déterminants ont été évoqués dans le cas des critères précédents.

En ce qui concerne l'usage des modes actifs, nous considérons que l'introduction des véhicules automatiques est susceptible de modifier les services disponibles à travers l'évolution des transports en commun ou d'autres services de mobilité. Ces éléments doivent être donnés dans les scénarios ou déductibles.

S'agissant de l'utilisation des transports en commun, la performance du réseau est un élément explicatif fondamental, la desserte spatiale, le temps de transport et le prix en sont les principales caractéristiques. L'évolution de ces facteurs doit figurer dans les scénarios.

Concernant l'étalement urbain, l'intégration des véhicules automatiques routiers est susceptible de modifier le prix des déplacements automobiles et les caractéristiques des transports en commun. Les scénarios doivent donc fournir des informations sur ces sujets.

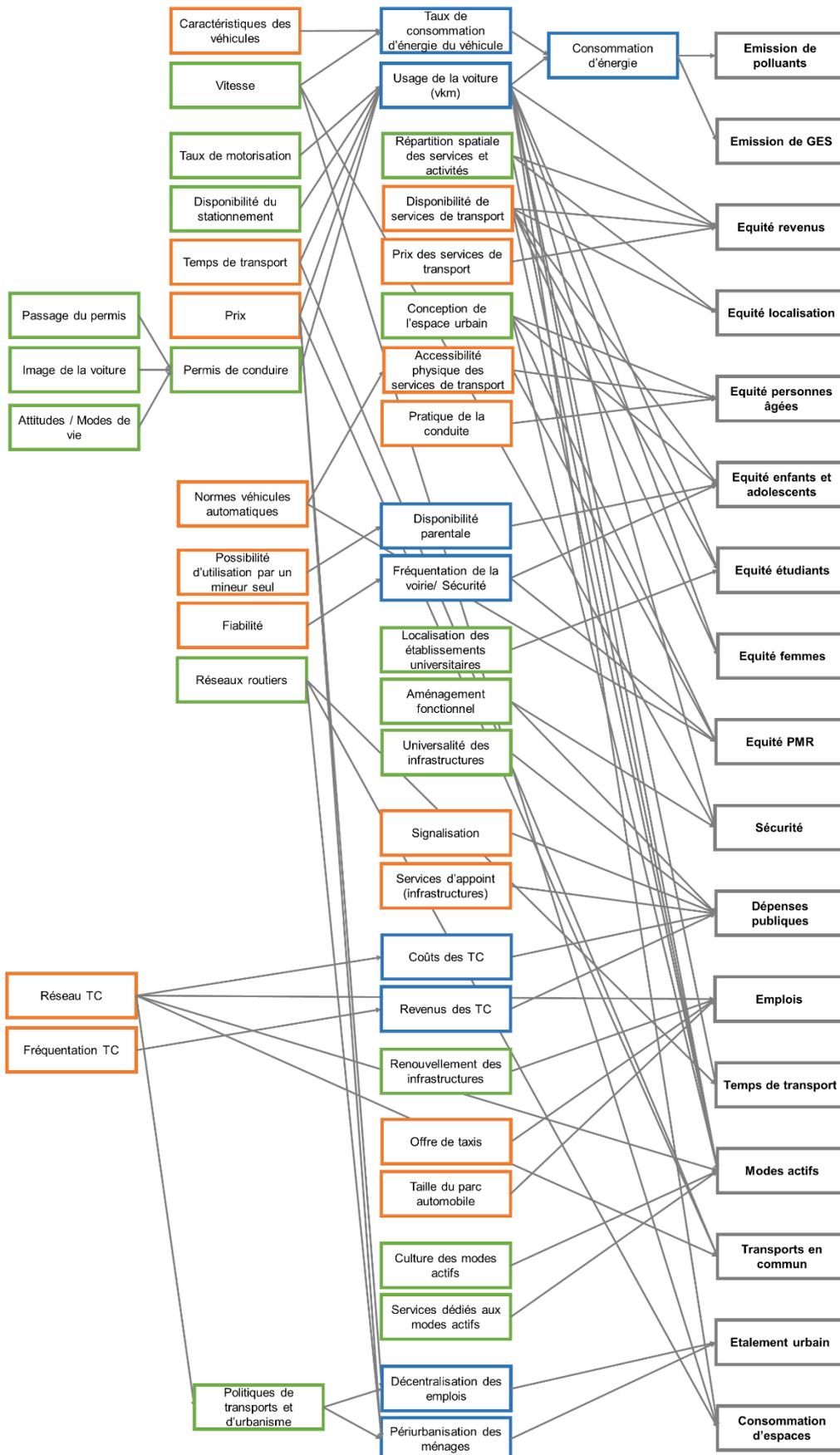
Nous considérons les politiques de transport et d'urbanisme et le développement des réseaux routiers comme contextuels.

Enfin, s'agissant de la consommation d'espace des infrastructures de transport, l'offre d'espace dédié aux transports étant considérée comme relativement stable, l'intégration des véhicules automatiques est essentiellement susceptible d'affecter la demande d'espace de circulation et de stationnement à travers la demande de transport. Une fois de plus, les informations qui semblent essentielles pour permettre de raisonner sur les conséquences de l'introduction du véhicule automatique sont les caractéristiques tarifaires et temporelles des services étudiés.

Ainsi, nous distinguons dans le schéma les variables contextuelles (encadrés verts), des variables qui doivent être figurées ou pouvoir être déduites des scénarios (encadrés orange).

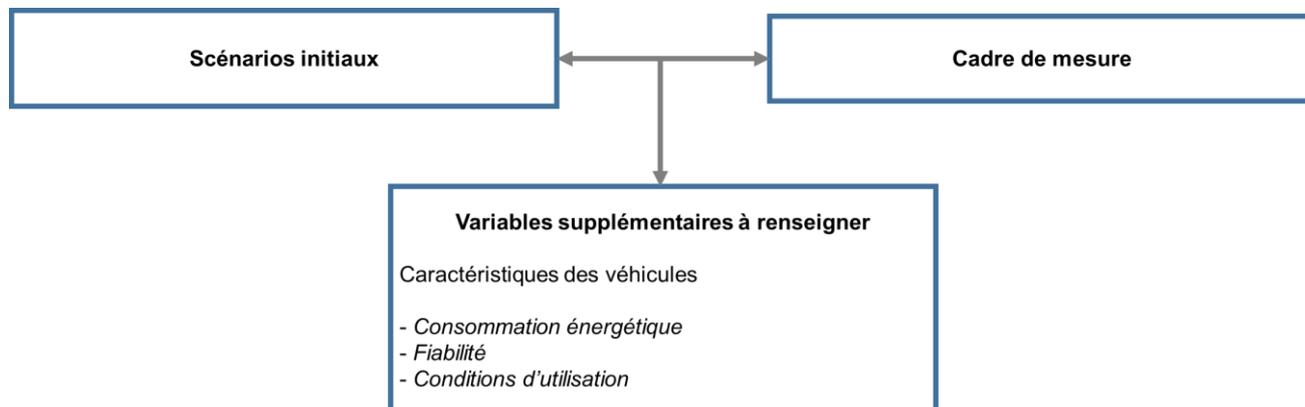
Nous n'excluons pas que l'introduction des véhicules automatiques puisse avoir des effets sur les facteurs contextuels, psychosociaux et socioculturels en lien avec les pratiques de mobilité. Toutefois, l'évaluation n'interroge traditionnellement pas ces évolutions. Pour les exposer et les discuter, l'intérêt d'une démarche prospective et participative est ainsi de nouveau apparent, car elles permettent de ne pas considérer uniquement des éléments de choix rationnels des modes de transport. En effet, la littérature sur le choix modal a montré que les facteurs rationnels (coût, temps de transport, etc.) ne sont pas les seuls en cause, les habitudes et normes sociales étant également importantes (Byrne, 2011 ; De Witte et al., 2013 ; Dal Fiore et al., 2014).

Figure 45 : Représentation schématique et catégorisation des facteurs déterminants des critères d'évaluation



Grâce à l'étude des variables déterminantes des critères d'évaluation choisis, et considérant les premiers scénarios décrits, nous avons pu établir les variables, notamment supplémentaires, à renseigner. Elles concernent les caractéristiques des véhicules.

Figure 46 : Représentation du résultat de la confrontation entre les scénarios initiaux et les indicateurs du cadre de mesure



Nous complétons les textes de description des scénarios conformément à l'analyse menée. La confrontation des scénarios « initiaux » au cadre de mesure nous a amené à compléter la description technique et les conditions d'utilisation des véhicules automatiques, communes aux trois scénarios, de la manière suivante :

« Nous sommes en 2025. Les véhicules automatiques routiers sont désormais aboutis techniquement et suffisamment fiables. Les changements nécessaires en matière de législation, de réglementation, d'homologation et d'infrastructures ont été réalisés.

Les véhicules automatiques sont intégrés au système de transports de la Métropole de Rouen de trois manières.

Dans tous les scénarios :

- *les véhicules automatiques respectent l'ensemble des règles de circulation et de sécurité;*
- *les véhicules automatiques sont connectés ;*
- *la consommation énergétique d'un véhicule automatique, qu'il soit thermique ou électrique, est similaire à un véhicule traditionnel ;*
- *les véhicules automatiques sont accessibles aux personnes ne disposant pas du permis de conduire ou ne pouvant conduire pour d'autres raisons ;*
- *les véhicules automatiques peuvent se déplacer sans passager ;*
- *les véhicules automatiques peuvent transporter jusqu'à quatre personnes.*

Scénario 1 – Le véhicule automatique personnel

Le véhicule automatique personnel est maintenant disponible. Il est capable de se déplacer sur l'ensemble du territoire à tout moment. Le conducteur peut entreprendre d'autres activités en se déplaçant : travail, lecture, utilisation d'appareils électroniques, etc.

Le coût d'acquisition d'un véhicule automatique est supérieur de 7000 euros à un véhicule traditionnel. Au kilomètre, le coût s'élève à 0,45 euros, semblablement à un véhicule traditionnel, des économies en matière d'assurance et d'entretien étant réalisées.

Scénario 2 – Le taxi automatique

Un service de taxis automatiques est maintenant disponible. Il est accessible sur l'ensemble du territoire, 24h/24 et 7j/7. La réservation se fait grâce à une application mobile ou par téléphone. Une fois la réservation émise, le temps d'attente est en moyenne de 15 minutes.

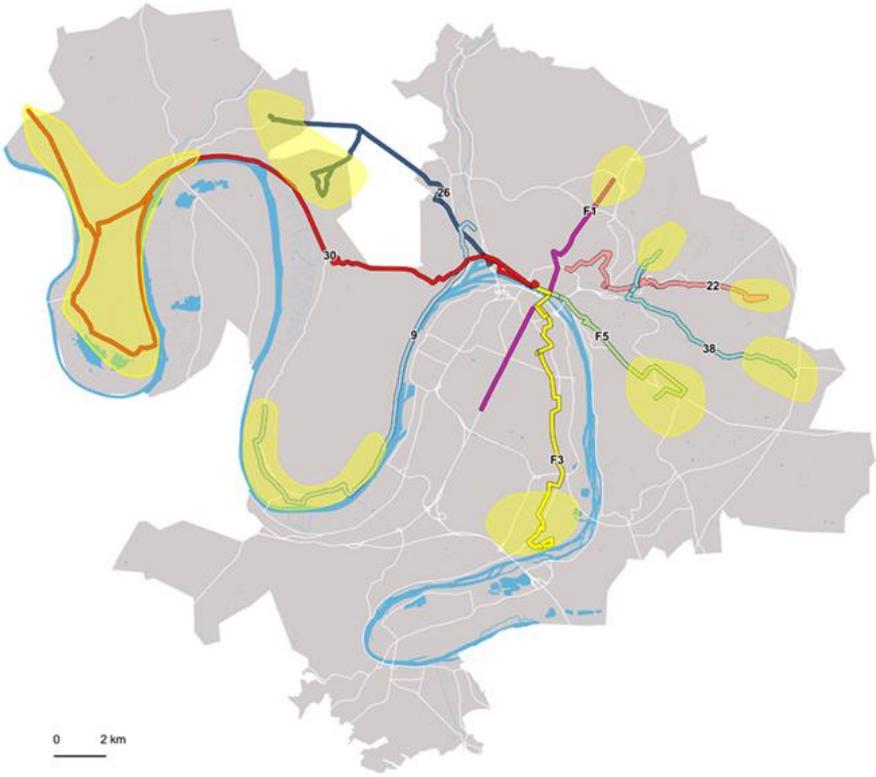
Le prix d'utilisation de ce service est de 0,30 euros par kilomètre. Les trajets peuvent être partagés, réduisant proportionnellement le prix pour chacun des utilisateurs. »

Scénario 3 – Le véhicule automatique intégré au réseau de transports en commun

Des véhicules automatiques complètent à présent les transports en commun en assurant le rabattement sur des lignes régulières en zones périurbaines. Ils opèrent depuis ou jusqu'à une station et desservent les adresses selon les demandes. Le temps d'attente est en moyenne de 5 minutes. Le prix de ce service est intégré à l'abonnement et au ticket unitaire.

Le plan ci-dessous représente les zones de desserte et les lignes sur lesquelles s'effectuent les rabattements.

Carte 4 : Zones de desserte du service de rabattement dans la Métropole de Rouen (réalisation personnelle, QGIS)



L'étape de définition du cadre de mesure sert à fixer le référentiel d'évaluation. Deux spécificités propres à la méthodologie proposée encadrent *a priori* son exécution : le recours à l'analyse multicritères et la confrontation de l'ensemble de critères aux scénarios définis à l'étape de cadrage. Elle est composée de quatre sous-étapes : caractérisation de la conception de la durabilité adoptée, choix d'une méthode d'analyse multicritères, détermination de l'ensemble de critères et d'indicateurs et confrontation informationnelle entre les scénarios initiaux et le cadre de mesure défini. En synthèse, dans notre cas d'étude, les résultats de chacune des sous-étapes sont les suivants :

- conception de la durabilité des transports centrée sur les transports et « tripolaire », avec un large panel d'objectifs parallèlement poursuivis
- choix de la méthode d'analyse multicritères « de surclassement » PROMETHEE II
- ensemble de dix-huit indicateurs d'évaluation représentant les enjeux économiques, sociaux, environnementaux, spatiaux et de transport significatifs de la durabilité des transports dans la Métropole de Rouen Normandie
- compléments des scénarios initiaux par des hypothèses sur les caractéristiques techniques générales des véhicules automatiques : consommation énergétique, fiabilité et conditions d'utilisation, suite à la confrontation informationnelle avec le cadre de mesure.

L'intérêt d'une méthodologie intégrée scénarios-évaluation peut être constaté. Les scénarios initiaux constituent un premier cadrage qui aide à la définition du cadre de mesure. Puis, leur confrontation à celui-ci permet de les compléter ou de les modifier, s'assurant ainsi de leur bon contenu informationnel.

L'étape suivante consiste au recueil des données nécessaires à l'évaluation considérant le référentiel d'évaluation établie. Le cadre méthodologique défini prescrit la mise en œuvre d'une démarche participative. La section suivante décrit la mise en œuvre de cette étape dans notre cas d'étude.

7.3. La démarche participative mise en œuvre pour le recueil de données nécessaires à l'évaluation

Dans le cadre de la méthodologie d'évaluation définie, deux types de données sont à recueillir :

- les données nécessaires à l'appréciation des effets des scénarios sur les indicateurs définis par le cadre de mesure de l'évaluation
- les discours des parties prenantes sur le véhicule automatique, sa place et sa signification dans les différents scénarios d'introduction présentés, dans l'objectif d'une analyse « herméneutique » et plus généralement d'une démarche prospective.

Le cadre méthodologique général proposé n'est pas prescriptif en matière de méthodes d'estimation, mais le recueil de données doit comprendre une démarche participative, comme nous l'avons spécifié précédemment. Notre proposition méthodologique pour l'évaluation de l'introduction du véhicule automatique se place en effet dans le double cadre de l'évaluation durable et de l'évaluation prospective, qui, l'une comme l'autre, pour des raisons distinctes, s'accordent sur l'intérêt d'une évaluation intégrant les parties prenantes.

Dans notre cas d'étude, nous avons opté pour une estimation des effets des scénarios sur les indicateurs d'évaluation qualitative et participative, basée sur la consultation des parties prenantes rouennaises du système de transport local à l'étape d'analyse des options, sur le modèle de la consultation d'experts. Les dispositifs d'estimation et de participation sont ainsi intégrés. Nous situons tout d'abord la nature de la démarche participative adoptée grâce au canevas décrit au chapitre précédent. Nous décrivons ensuite le repérage et la sélection des parties prenantes. En dernier lieu, nous présentons le dispositif de consultation utilisé.

7.3.1. Caractérisation selon le degré de participation et l'implication des parties prenantes

La définition des termes de la démarche participative dépend à la fois des contraintes propres au contexte d'étude et des objectifs de recueil de données.

Concernant le contexte d'étude, la production et la mise en œuvre du cadre d'évaluation que nous proposons ne font pas l'objet d'un mandat de la part des potentiels utilisateurs de l'évaluation que seraient les autorités publiques locales. Nous ne bénéficions ainsi pas d'une légitimité ou d'un appui particulier pour la sollicitation des parties prenantes.

Rappelons que ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE), liant le Groupe *Renault* et le Laboratoire Aménagement Economie Transports (LAET). Une affiliation qu'il nous a paru adéquat d'afficher lors de nos requêtes auprès des personnes identifiées. Ainsi, la participation de l'entreprise *Renault* à l'expérimentation *Rouen Normandy Autonomous Lab*, précédemment détaillée, et plus généralement sa présence sur le territoire ont pu susciter plus facilement l'intérêt des personnes contactées.

Ce positionnement, les moyens disponibles et la nature du sujet d'étude, encore spéculatif et éloigné des préoccupations actuelles en matière de mobilité, ainsi que le souhait de dépasser le groupe d'acteurs à l'origine de l'expérimentation *RNAL* pour tendre vers une participation des parties prenantes actuelles du système de transport rouennais, amènent à tenter de minimiser l'implication nécessaire des potentiels participants et participantes, afin de les convaincre plus facilement. Nous avons donc souhaité un dispositif de participation court et n'impliquant qu'une session. La participation des parties prenantes a ainsi été sollicitée uniquement lors de l'étape d'analyse des options, pour l'estimation des effets des scénarios. Rappelons toutefois que l'étape de définition de l'objet d'étude, démarche prospective visant à l'identification de scénarios d'introduction du véhicule automatique, a fait auparavant appel à des entretiens semi-directifs auprès des représentants et représentantes des organisations à l'origine de l'expérimentation *RNAL*. Les informations alors recueillies ont servi de données d'entrée à l'analyse structurelle et à l'analyse morphologique.

De la même manière, ce contexte ne permettait pas la mise en œuvre d'un dispositif de participation tenant du pouvoir « délégué » au sens d'Arnstein. Nous avons donc opté pour une participation consultative, entrant dans la catégorie du « pouvoir symbolique ». Notons à cet égard l'ouverture prochaine à Rouen d'un « *Living Lab* » ayant notamment pour objectif la participation citoyenne dans le cadre de la mise en œuvre du projet métropolitain « Rouen Normandie Mobilités Intelligentes pour tous », retenu par le programme de financement national Territoire d'Innovation de Grande Ambition (TIGA) en septembre 2019. Un lieu susceptible d'accueillir des dispositifs d'évaluation participatifs plus avancés, tenant de la concertation, voire du pouvoir délégué. La date de réalisation de ce travail de recherche ne correspondait cependant pas à ce déploiement, mais ce type d'initiatives montre l'intérêt des responsables publics locaux d'engager des analyses sur des objets technologiques en cours de développement.

Tableau 72 : Caractéristiques de la participation dans la démarche d'évaluation mise en place

Degré de participation	Implication des parties prenantes
<p align="center">Echelle de participation d'Arnstein</p> <ul style="list-style-type: none"> - non-participation - <u>pouvoir symbolique</u> - pouvoir délégué 	<p align="center">Etape(s) au(x)quelle(s) la participation est intégrée</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition de l'objet d'étude - identification des options - <u>analyse des options</u> - formulation des objectifs et stratégies publics

L'extension à la consultation des parties prenantes qui ne sont actuellement pas directement impliquées dans le déploiement du véhicule automatique constitue une nouveauté par rapport aux études évaluatives déjà menées. De plus, l'ancrage dans un territoire, en l'occurrence celui de la Métropole rouennaise, est également inédit, alors que les travaux d'évaluation multicritères réalisés jusqu'à présent étaient aterritoriaux. En effet, les consultations d'experts y ont été effectuées sur la base de territoires fictifs, décrits selon quelques variables. Notons enfin que les résultats de l'étude auraient pu faire l'objet d'un atelier de discussion regroupant l'ensemble des participants et participantes, pour permettre la formulation des objectifs et stratégies publics, dernière étape de l'évaluation, une entreprise rendue toutefois difficile par les moyens mobilisables et le contexte sanitaire.

Après cette description de la démarche participative, détaillons à présent l'identification des parties prenantes.

7.3.2. Identification des parties prenantes du système de transport rouennais

Comme nous l'avons exposé, certains principes peuvent aider au repérage des parties prenantes en lien avec l'objet d'étude. Pour repérer celle du système de transport rouennais, au sens de celui de la Métropole Rouen Normandie, nous considérons donc les critères de participation des acteurs critiques, dans notre cas les représentants des pouvoirs publics locaux, de diversité, afin de garantir la variété des points de vue, et la notion d'intérêt, qui nous amène à ne pas nous tourner vers des citoyens isolément. Nous nous appuyons également sur la typologie générique suivante :

- décideurs, concepteurs et gestionnaires publics
- responsables de la mise en œuvre
- tiers directement et indirectement affectés par l'objet d'étude

S'agissant des décideurs, concepteurs et gestionnaires publics, nous identifions les « organisations » attachées au système de transports sur le territoire, et ciblons les services en charge.

Tableau 73 : Parties prenantes repérées de la catégorie « Décideurs, concepteurs et gestionnaires publics »

Décideurs, concepteurs et gestionnaires publics	<ul style="list-style-type: none"> - Métropole de Rouen Normandie (MRN) - Communes constitutives de la Métropole de Rouen Normandie - Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Normandie (DREAL) - Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Seine-Maritime (DDTM)
--	--

Au sein de la catégorie des décideurs publics, nous trouvons naturellement la Métropole de Rouen Normandie, échelle géographique de réalisation de l'étude. Conformément aux compétences qui lui sont conférées par son statut métropolitain, cette entité est en effet en charge de l'aménagement de l'espace métropolitain, notamment de l'organisation des transports collectifs ; de la création, de l'aménagement et de l'entretien de la voirie ; de la signalisation ; du stationnement et du plan de déplacements urbains, mais également de domaines annexes en lien avec le système de transport, comme l'habitat, la protection et la mise en valeur de l'environnement et le cadre de vie. Toutefois, comme nous l'avons décrit à l'étape de définition de l'objet d'étude, il s'agit d'un territoire étendu (664 km²), formé de 71 communes. Il paraît donc approprié, dans une logique de diversité des points de vue, d'impliquer des responsables à l'échelle communale. Nous avons ainsi contacté les services concernés de communes au profil et à la position géographique variés au sein de la Métropole. Nous les avons sélectionnés dans l'optique de consulter une commune de chacun des cinq « pôles de vie » définis par la MRN⁷⁹ (cart.5) : Rouen, Seine-Sud, Val-de-Seine, Austreberthe-Cailly et Plateaux de Robec.

⁷⁹ A noter que ce découpage peut être différent selon les documents consultés (cf. découpage disponible dans le Schéma de Cohérence Territorial (MRN, 2015a)

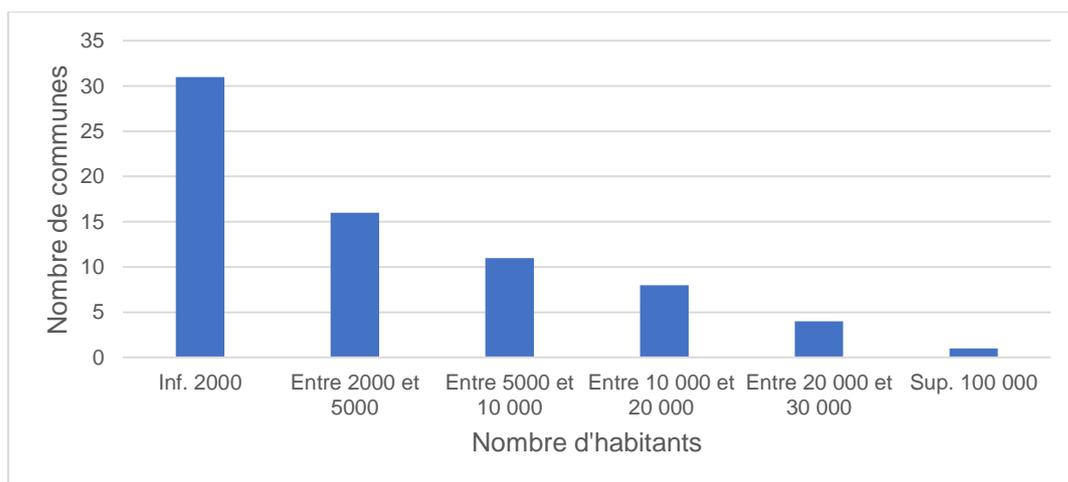
Carte 5 : Découpage territorial défini par la Métropole de Rouen



Source : [Site de la Métropole de Rouen Normandie](#)

De nombreuses communes sont de petite taille, 44% d'entre elles comprennent moins de 2000 habitants.

Figure 47 : Nombre de communes selon le nombre d'habitants dans la Métropole de Rouen (Données : INSEE, 2017)



Celles-ci ne disposent pas, en dehors du conseil municipal, de services à dimension stratégique. Nous avons donc ciblé uniquement les communes de plus de 2000 habitants, qui disposent au moins d'une « direction générale des services », en charge de diriger l'ensemble

des services de la commune et d'en coordonner l'organisation, et avons privilégié celles de plus 9 000 habitants⁸⁰. Dans le cas de l'existence d'un service dédié aux transports et à l'aménagement, nous l'avons privilégié sur la direction générale des services. Nous avons ainsi tenté d'entrer en contact avec les personnes en charge dans les communes suivantes, par ordre de priorité, fixé selon le nombre d'habitants :

Tableau 74 : Communes de la MRN ciblées pour la sollicitation des participant-e-s

Pôle de vie selon le découpage de la MRN	Commune(s)
Rouen	Rouen
Seine-Sud	Sotheville-lès-Rouen Saint-Etienne-du-Rouvray Petit Quevilly Oissel
Val-de-Seine	Grand Quevilly Elbeuf Caudebec Grand-Couronne
Austreberthe-Cailly	Mont-Saint-Aignan Canteleu Maromme Déville lès Rouen
Plateaux de Robec	Bois-Guillaume Darnétal

Les deux autres organisations publiques visées sont la DREAL Normandie et la DDTM Seine-Maritime. La première est un service déconcentré de l'Etat au niveau régional en charge de la « mise en œuvre et la coordination des politiques publiques des Ministères de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités »⁸¹. Son « Service Mobilités et Infrastructures (SMI) » est responsable du « portage de politiques publiques et de conduite de projets dans le champ de la mobilité et des infrastructures de transport »⁸². Le SMI est constitué de quatre entités : « Mission expertise », « Division multimodalités », « Division maîtrise d'ouvrage des projets routiers » et « Pôle gestion financières, procédures, méthodes »⁸³. Au vu de la description de ces différentes divisions, nous avons privilégié la « Division multimodalités ». La seconde, relais de la DREAL

⁸⁰ Annexe 5

⁸¹ [Services déconcentrés du ministère – Site du Ministère de la transition écologique](#)

⁸² [Site de la DREAL Normandie](#)

⁸³ [Organigramme de la DREAL Normandie](#)

au niveau départemental, est également un service déconcentré interministériel de l'Etat et s'organise en différents services, par missions d'une part, et par territoires d'autre part. Nous avons déterminé que le service concerné par notre problématique était le « Service connaissance, aménagement et urbanisme »⁸⁴.

Concernant les potentiels futurs opérateurs des véhicules automatiques et considérant les trois scénarios étudiés, nous identifions les organisations suivantes :

Tableau 75 : Parties prenantes repérées de la catégorie « Responsables de la mise en œuvre »

<p>Responsables de la mise en œuvre</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transports en commun de l'agglomération rouennaise (TCAR) - <i>Renault</i> - Les taxis blancs - Taxis jaunes
--	---

TCAR est le principal exploitant du réseau de transports en commun de la Métropole de Rouen, réseau « Astuce ». Il s'agit d'une filiale du groupe *Transdev*. L'exploitation est réalisée pour le compte de la MRN, dans le cadre d'un contrat de délégation de service public. « La TCAR a pour mission d'assurer la maintenance et l'exploitation du réseau, la commercialisation des titres de transport et d'apporter son expertise pour les améliorations et le développement du réseau. »⁸⁵. A noter que ce réseau intègre d'autres exploitants, dont particulièrement les Transport de l'Agglomération d'Elbeuf, régie publique chargée de l'exploitation des transports en commun de l'ancienne « Agglo d'Elbeuf », dont la MRN est à présent l'autorité organisatrice de référence (OMMeR, 2019). Les constructeurs automobiles seraient également de potentiels vendeurs et opérateurs de véhicules automatiques, notamment privés. *Renault* ne serait pas le seul à commercialiser ce type de véhicules. Toutefois, comme nous l'avons présenté, son implication récente au sein du territoire sur ce thème d'une part, et notre proximité avec celui-ci d'autre part, nous ont poussés à nous concentrer sur celui-ci, à titre d'exemple. Les organisations « Taxis jaunes » et « Les taxis blancs » sont les deux principales compagnies de taxis sur le territoire. Les « Taxis jaunes » comprennent une centaine de véhicules et « Les taxis blancs » une vingtaine de véhicules.

S'agissant des tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude, le repérage se montre logiquement plus difficile. Nous nous sommes appuyés sur les critères précédemment dégagés, à savoir l'existence de revendications potentielles et de capacités

⁸⁴ [Organigramme de la DDTM Seine-Maritime](#)

⁸⁵ [Site internet dédié au réseau « Astuce »](#)

d'agir. Ces recherches nous ont amené à déterminer trois types de parties prenantes dans cette catégorie : les « bureaux d'études », les « acteurs économiques » et les « associations ».

Tableau 76 : Parties prenantes repérées de la catégorie « Tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude »

Tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude	Bureaux d'études
	<ul style="list-style-type: none"> - CEREMA Normandie-Centre - Agence d'Urbanisme de Rouen et des Boucles de Seine et Eure (AURBSE) - ADEME Normandie - Agence Normande Biodiversité Développement Durable (ANBDD)
	Acteurs économiques
	Associations
	Transports en commun
	<ul style="list-style-type: none"> - Comité Pour les Transports en Commun (CPTC)
	Vélo
	<ul style="list-style-type: none"> - Société Amicale pour la Bicyclette en Normandie et dans la Métropole de Rouen (Sabine) - Plein air, à pied, à vélo
	Marche à pied et espace public
	<ul style="list-style-type: none"> - Rue de l'Avenir
	Mobilité solidaire
	<ul style="list-style-type: none"> - Plateforme de mobilité solidaire Rouen Métropole : S(avoir) V(ouloir) P(ouvoir) (SVP) - Solidarauto
	Environnement
	<ul style="list-style-type: none"> - France Nature Environnement Normandie - « Effet de serre toi-même ! »

Les parties prenantes que nous avons classées dans la catégorie « bureaux d'études » sont des organisations qui agissent sur le territoire de la MRN au travers de la production de connaissances et de l'animation de réseaux d'acteurs. Nous trouvons ainsi le CEREMA

Normandie-Centre. Il s'agit d'une des huit directions territoriales du CEREMA, établissement public à caractère administratif sous la tutelle des ministères de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités, créée en 2014. Elle a pour mission d'appuyer techniquement des acteurs publics du territoire, notamment dans le domaine des mobilités⁸⁶. Le CEREMA Normandie-Centre est composé de cinq départements : « Aménagement durable des territoires », « Infrastructures de transport multimodales », « Expérimentation, Recherche, Développement et Innovation », « Laboratoire régional de Rouen » et « Laboratoire régional de Blois ». Le service qui paraît traiter les sujets les plus proches de notre problématique est celui nommé « Territoire, planification, mobilité » au sein du premier de ces départements, c'est donc celui-ci que nous visons en priorité⁸⁷. L'AURBSE est l'agence d'urbanisme de la Métropole de Rouen. Il s'agit d'un organisme d'étude à statut associatif dont le rôle est d'assister les collectivités territoriales dans la définition de leurs politiques d'aménagement et dans l'élaboration de leurs documents d'urbanisme. Le Conseil d'Administration de l'AURBSE se compose d'une soixantaine de membres, représentants des « services de l'Etat, des collectivités ainsi que des institutions publiques et chambres consulaires du Grand territoire »⁸⁸. Les EPCI adhérentes, en plus de la MRN, sont la CA Seine-Eure, la CC Roumois Seine, la CC Lyons Andelle, la CC Inter-Caux-Vexin et la CC Caux-Austreberthe⁸⁸. La taille de l'organisation est relativement réduite, avec huit chargés d'étude. L'ADEME Normandie est quant à elle une des directions régionales de l'ADEME, agence de l'Etat pour la transition écologique. Elle se divise en trois pôles : « Territoires durables et approche transversale », « Economie circulaire » et « Transition énergétique ». Le service « Mobilité et transport » de ce premier pôle nous paraît le plus adéquat pour une prise de contact⁸⁹. Finalement, l'ANBDD est un groupe d'intérêt public régional regroupant des acteurs publics et privés désireux d'être accompagnés dans des actions promouvant « la reconquête de la biodiversité, la transition économique, écologique, sociale et climatique »⁹⁰. Elle est intégrée depuis mars 2020 l'Agence Région de l'Environnement Normandie, une organisation pertinente pour une prise de contact considérant notre problématique.

Nous avons ensuite repéré dans cette catégorie deux entités parties prenantes du système de transport rouennais qualifiables d' « acteurs économiques » : l'entreprise *ENGIE* et le pôle de compétitivité *Move'o*. *ENGIE* est un groupe industriel énergétique français issu de la fusion de *Gaz de France* et de *Suez* en 2010. Elle dispose de plusieurs filiales en

⁸⁶ Espace public et voirie urbaine ; connaissance, modélisation et évaluation de la mobilité ; politiques et services de mobilité ; systèmes de transports intelligents, trafics et régulation et sécurité routière et des déplacements (<https://www.cerema.fr/fr/activites/mobilites>)

⁸⁷ [Organigramme du Cerema Normandie-Centre](#)

⁸⁸ [Site de l'AURBSE](#)

⁸⁹ [Organigramme de la direction régionale Normandie de l'ADEME](#)

⁹⁰ [Site de l'ANBDD](#)

Normandie et dans la Métropole de Rouen. Les activités d'ENGIE dans le domaine de la mobilité se concentrent sur le déploiement de systèmes de distribution de carburants alternatifs pour les véhicules, gaz naturel et hydrogène, et de systèmes de communication pour l'optimisation de la circulation des véhicules, particulièrement de transports en commun⁹¹. Dans le cas de la Normandie, les actions se concentrent sur cette première dimension⁹². Nous nous sommes orientés vers la Délégation Régionale de l'entreprise. Implanté en Normandie et en Ile-de-France depuis 2006, *Move'o*, devenu fin 2019 *NextMove*⁹³, est un pôle de compétitivité dédié à la Recherche & Développement dans les domaines de l'automobile et de la mobilité. Du côté normand, il regroupe des institutions publiques et collectivités territoriales (CCI Normandie, *Rouen Normandy Invest*, Métropole de Rouen Normandie), de grandes entreprises (*Bouygues Energies et Services*, *EDF*, *ENGIE*, etc.) des PME (*Elocycle*, *Overspeed SARL*, *SGA mobility*, etc.), ainsi que des centres de recherche (Université Rouen Normandie, *Esigelec*)⁹⁴. Sa mission consiste principalement en l'aide au développement des entreprises à travers la mise en relation et l'appui pour la mise en oeuvre de nouveaux projets⁹⁴.

Dans la catégorie des associations, nous repérons plusieurs domaines de spécialité en lien avec le système de transport local, à savoir : transports en commun, vélo, marche à pied et espace public, mobilité solidaire et environnement. LE CPTC est une association visant à « défendre les intérêts des usagers des transports en commun et à formuler des propositions pour développer les mobilités durables ». Créée à Rouen en 1994, elle fait partie de la fédération nationale des associations d'usagers des transports en commun. Dans la métropole rouennaise, les demandes de la CPTC ont principalement porté sur la mise en place de services de bus à haut niveau de service, et plus généralement de TCSP, et sur l'augmentation des fréquences de passage⁹⁵. Dans le domaine du vélo, nous repérons deux principales associations dédiées à sa pratique urbaine : Sabine et « Plein air, à pied, à vélo »⁹⁶. Sabine est une association de promotion de l'usage du vélo comme moyen de transport quotidien créée en 1994 à Rouen⁹⁷. « Plein air, à pied, à vélo », créé en 2008, agit également en faveur des déplacements à vélo et à pied et soutient la sécurisation des infrastructures et l'éducation des jeunes publics. Son action se concentre sur la commune du Mesnil-Esnard et les

⁹¹ [Site officiel d'ENGIE](#)

⁹² [Lettre d'engagement de l'entreprise dans « l'accord de Rouen pour le Climat »](#)

⁹³ issu de la fusion de *Move'o*, de l'association régionale des industries de l'automobile en Ile-de-France et de l'association régionale de l'industrie automobile Normandie

⁹⁴ [Site de NextMove](#)

⁹⁵ [Site du CPTC](#)

⁹⁶ A travers cette définition de « pratique du vélo en zone urbaine », nous excluons les associations dédiées à la pratique sportive du vélo ([VTT Rouen](#)), à l'apprentissage du vélo ([Avélo](#)), à la réparation vélo ([Guidoline](#)) ou encore à la livraison en vélo ([Toutenvélo](#)).

⁹⁷ [Site de l'association Sabine](#)

communes voisines⁹⁸. Dans la catégorie des associations de « mobilité solidaire », nous trouvons deux principales organisations : la plateforme SVP et le garage Solidarauto. La première, créée en 2017, se veut un « centre de conseil » avec pour objectif d'accompagner les personnes en difficulté de mobilité, particulièrement en recherche d'emploi. Elle est ainsi susceptible de faire appel aux différents acteurs de la mobilité solidaire sur le territoire pour faciliter l'accès à la mobilité. Solidarauto est l'un d'eux, ouvert en 2006, il s'agit d'un garage solidaire proposant vente, location et réparation de véhicules d'occasion à tarifs préférentiels. L'une comme l'autre s'adressent à des personnes « prescrites » par des services sociaux ou à très faible revenu. S'agissant de l'espace public et de la marche à pied, nous repérons la correspondance locale de Rue de l'Avenir à Rouen, créée en 2015. Elle agit en faveur d'un partage plus équilibré de l'espace public, soit principalement d'une diminution de l'emprise spatiale des voitures, d'une modération de la circulation et de la sécurisation des usagers de l'espace public. Les objectifs poursuivis sont ainsi plus globalement la sécurité des déplacements, l'appropriation de l'espace public par les habitants et la qualité de vie. Finalement, la dernière sous-catégorie d'associations, les associations environnementales, comprend deux entités : la FNE Normandie et « Effet de serre toi-même ! ». La FNE Normandie est l'antenne locale de la FNE, fédération française des associations de protection de la nature et de l'environnement. Créée en 2000, elle regroupe une cinquantaine d'associations à l'échelle normande, dont une vingtaine en Seine-Maritime. Outre l'animation et le soutien du réseau d'associations, la FNE Normandie, a pour objectif de participer et d'influencer la décision publique et de sensibiliser le grand public aux questions environnementales. Enfin, « Effet de serre toi-même ! », créé en 2005, est une association locale engagée dans la protection environnementale sur le territoire de la MRN. Elle est membre de la FNE Normandie.

Dans l'ensemble de ces catégories, la recherche des personnes à contacter a consisté en des recherches sur Internet, en particulier la consultation des pages ou sites officiels des organisations visées. L'« Annuaire des acteurs normands de la mobilité durable », publié en 2017 par l'Agence Régionale de l'Environnement de Normandie, s'est avérée d'une grande aide. Plus généralement, la personne en charge de l'évaluation peut s'appuyer sur les instances consultatives existantes sur le terrain d'étude. Dans le cas français, la mise en place d'un Conseil de développement et d'une Commission consultative des Services Publics Locaux est obligatoire pour les EPCI à fiscalité propre de plus de 50 000 habitants. Celles-ci peuvent être un moyen de repérer les parties prenantes du système de transport local. Par ailleurs, les initiatives locales tenant de l'évaluation ou de la prospective portant sur l'objet d'étude doivent être considérées. Dans le cas de la Métropole de Rouen, nos recherches nous

⁹⁸ [Page Facebook de l'association « Plein air, à pied, à vélo »](#)

ont menés aux podcasts « #2050 », résultat d'un partenariat entre la MRN et la journaliste Rebecca Armstrong dans le cadre de la COP 21 locale. Nous avons ensuite contacté ces organisations par courrier électronique ou par téléphone, aux adresses disponibles publiquement ou à partir des coordonnées recueillies au fur à mesure des rencontres.

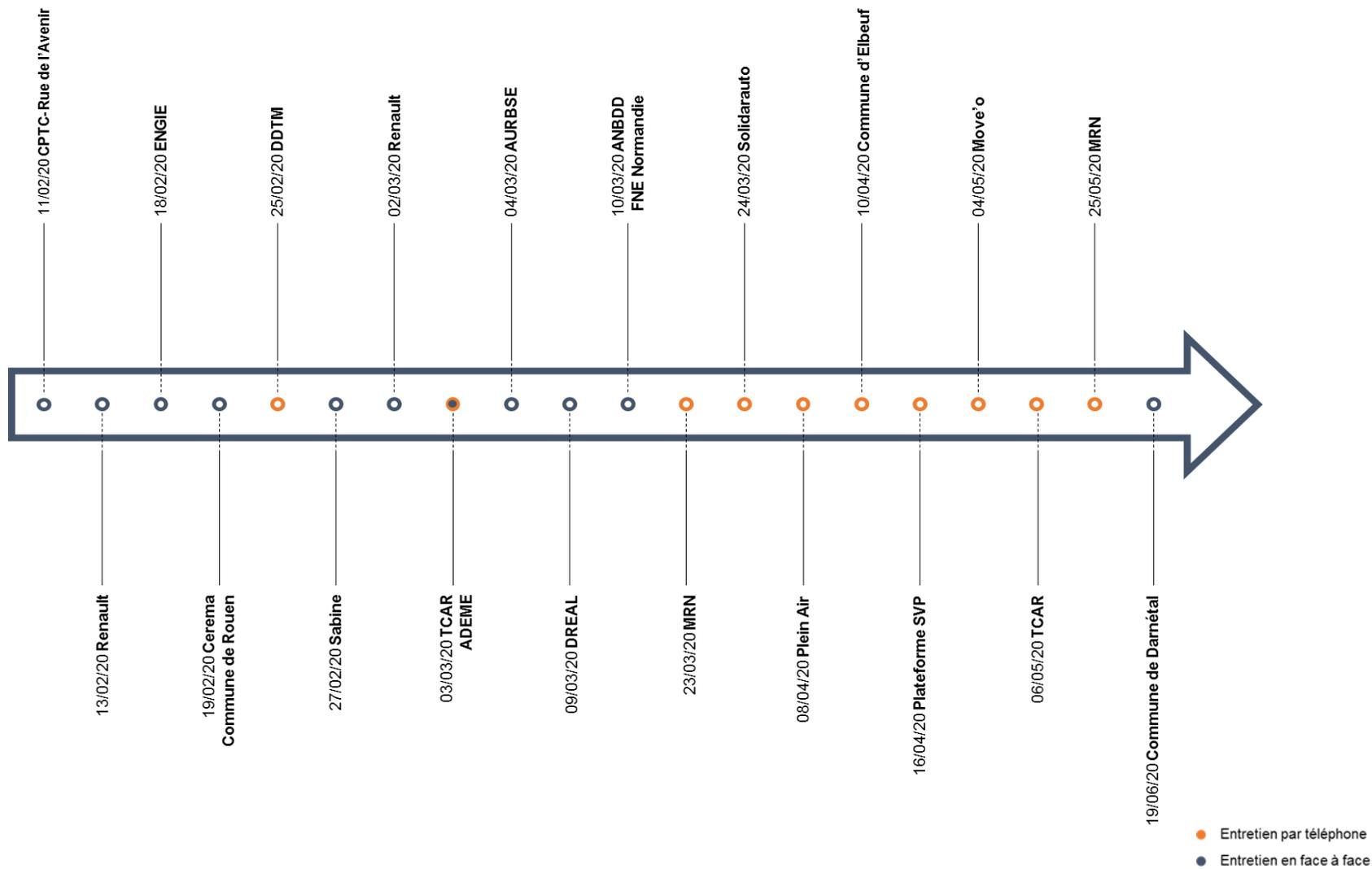
Comme nous l'avons décrit précédemment, la réalisation de l'entretien sollicité doit permettre de relever à la fois les données nécessaires à l'estimation qualitative des indicateurs définis par le cadre de mesure de l'évaluation et les éléments de discours destinés à l'analyse herméneutique et prospective. Nous détaillons la conception du support utilisé dans la section suivante. L'enregistrement audio des entretiens s'est donc avéré nécessaire. La personne interrogée justifie ainsi oralement de ses réponses et développe éventuellement le sujet discuté. Par ailleurs, comme évoqué précédemment, nous avons tenté de limiter les contraintes liées à l'entretien, particulièrement en matière de durée, afin que cette dernière ne constitue pas une barrière pour les parties prenantes qui s'envisagent comme éloignées du sujet d'étude.

Nous avons privilégié des rencontres en face à face. Toutefois, sur vingt-trois entretiens réalisés, dix l'ont été par téléphone. Dans deux cas, il s'agissait du souhait des personnes. Puis, entre mars 2020 et mai 2020, ce mode de fonctionnement a été rendu systématique par la situation sanitaire. Le tableau et la frise chronologique ci-dessous présentent les entités auprès desquelles un entretien a été obtenu et les dates de réalisation de ceux-ci. La section suivante est dédiée à la présentation du support de participation utilisé.

Tableau 77 : Organisations auprès desquelles un ou plusieurs entretiens ont pu être réalisés

<p>Décideurs, concepteurs et gestionnaires publics</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Métropole de Rouen Normandie - Commune de Rouen - Commune d'Elbeuf - Commune de Darnétal - DDTM - DREAL
<p>Responsables de la mise en œuvre</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Renault - TCAR
<p>Représentants de tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude</p>	<p>Bureaux d'études</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cerema Normandie - ADEME - Agence d'Urbanisme de Rouen et des Boucles de Seine et Eure - Agence Normande Biodiversité Développement Durable
	<p>Acteurs économiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ENGIE - Pôle Move'o
	<p>Associations</p>	<ul style="list-style-type: none"> - CPTC - Sabine - Rue de l'Avenir - Plateforme SVP - Solidarauto - FNE Normandie - Plein air, à pied, à vélo

Figure 48 : Chronologie des entretiens réalisés



7.3.3. Conception du support de consultation

Le support d'entretien utilisé comporte trois principales parties : des questions préalables, la présentation des trois scénarios et l'analyse des scénarios (Annexe 6 : Support de recueil de données).

- 1- Questions préalables
 - Présentation de l'enquête
 - Profil sociodémographique du répondant-e
 - Connaissance et avis sur le véhicule automatique
 - Pondération et enrichissement des critères d'évaluation
- 2- Présentation des scénarios d'introduction du véhicule automatique
- 3- Analyse des scénarios (estimation qualitative des indicateurs)

1- Questions préalables

- Présentation de l'enquête

Le questionnaire débute par un rappel des objectifs de l'étude et des institutions de rattachement. Etant donné que des données personnelles sont relevées dans la partie « Profil sociodémographique du répondant », et que la voix des répondant-e-s est enregistrée, le règlement général sur la protection des données personnelles s'applique. Nous appliquons donc les règles utilisées par notre organisme d'accueil, l'entreprise *Renault*. Un formulaire de consentement est donc à remplir et à signer par les participant-e-s et une notice d'information sur la conservation et la consultation de leurs données leur est également communiquée (Annexe 7 : Formulaire de consentement et notice d'information sur la protection des données personnelles utilisés).

- Profil sociodémographique du répondant

S'agissant des données sociodémographiques caractérisant les répondant-e-s, nous relevons les suivantes :

- âge
- genre
- niveau de scolarisation
- discipline étudiée
- commune de résidence

- nombre d'années de résidence dans la région de Rouen
- mode de transport quotidien principal

Pour appréhender la légitimité du répondant-e au sein de l'organisation, sa fonction et le nombre d'années d'exercice de celle-ci sont également renseignées.

- Connaissance et avis sur le véhicule automatique

Six questions sont ensuite dédiées aux connaissances et à l'avis du participant-e sur le véhicule automatique. Elles permettent notamment d'informer sur son intérêt et son implication locale, ils sont notamment interrogés sur leurs connaissances et leur participation à l'expérimentation *Rouen Normandy Autonomous Lab*. Les réponses apportées sont une source de données qualitatives pour l'analyse herméneutique et prospective. Plus précisément, les questions portent sur la technologie d'automatisation en général, le projet *RNAL*, les risques que pourraient comporter cette technologie et les barrières à son introduction.

- Pondération et enrichissement des critères d'évaluation

Les participant-e-s sont ensuite invité-e-s à pondérer et enrichir les critères d'évaluation. Cette seconde démarche fait partie intégrante de la démarche d'évaluation. La question est ainsi posée :

« Quelle importance relative accordez-vous aux enjeux ci-dessous dans l'optique d'un système de transport plus durable dans la Métropole de Rouen ? Veuillez utiliser une échelle d'importance allant de 0 à 4. »

Il est, si nécessaire, précisé aux répondant-e-s que ces indicateurs sont généraux, dissociés de la question de l'introduction du véhicule automatique. A travers cela, nous souhaitons signifier la dimension normative de l'évaluation durable.

Les dix-huit indicateurs d'évaluation définis précédemment sont ainsi listés en cinq catégories : environnement, économie, social, mobilité et organisation spatiale. Ils doivent être notés sur une échelle à cinq échelons allant de 0 à 4. Pour chaque catégorie, une section « Autres » est proposée afin que les participant-e-s puissent proposer des critères supplémentaires, selon leur conception de la durabilité du système de transport de la Métropole de Rouen Normandie.

Pour rappel, la liste des indicateurs est la suivante :

Environnement

- 19. Pollution de l'air
- 20. Pollution sonore
- 21. Emissions de CO2

Economie

- 22. Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports
- 23. Emplois dans le transport local

Social

- 24. Sécurité des déplacements
- 25. Equité d'accès à la mobilité selon l'âge
- 26. Equité d'accès à la mobilité selon le revenu
- 27. Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
- 28. Accès des personnes à mobilité réduite
- 29. Equité d'accès à la mobilité selon le genre

Mobilité

- 30. Congestion routière
- 31. Utilisation des transports en commun
- 32. Pratique du vélo
- 33. Pratique de la marche à pied

Organisation spatiale

- 34. Réduction de l'espace de stationnement automobile
- 35. Consommation d'espace des logements
- 36. Consommation d'espace des activités économiques

2- Présentation des scénarios d'introduction du véhicule automatique

Après ce premier ensemble de questions, les trois scénarios d'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen sont présentés aux participant-e-s sous forme de textes courts. Le scénario d'introduction dans le système de transport en commun est accompagné d'une carte des zones de desserte. A noter, dans le support de consultation, le terme de véhicule autonome est préféré à celui de véhicule automatique. Son utilisation est en effet alors majoritaire dans les médias et les travaux de la Métropole. Par ailleurs, dans le cas du taxi automatique, nous avons souhaité présenter les tarifs pour deux trajets au sein de l'agglomération rouennaise, afin d'incarner davantage le scénario décrit :

- l'un central, Gare de Rouen – CHU

- l'autre à destination de la périphérie proche, Gare de Rouen – Plaine de la Ronce.

3- Analyse des scénarios (estimation qualitative des indicateurs)

Après la présentation des scénarios, une série de dix-sept questions portant sur les effets des scénarios est proposée, divisée en quatre catégories : mobilité, social, économie et organisation spatiale, conformément aux catégories des indicateurs. L'objectif est d'estimer qualitativement l'évolution des indicateurs. Pour toutes les questions, il est demandé aux parties prenantes d'utiliser une échelle à cinq gradations décrivant l'évolution du phénomène interrogé, allant de -2 à +2.



Les indicateurs sont estimés soit directement, soit quasi directement, à partir d'opération simples sur les données récoltées, soit indirectement en faisant appel à un traitement complémentaire. Le moyen d'estimation, direct ou indirect, dépend de la possibilité de formuler une question compréhensible aux participant-e-s.

Les indicateurs soumis de manière directe à l'estimation des parties prenantes sont les suivants :

Tableau 78 : Indicateurs estimés directement par les participant-e-s et questions correspondantes dans le dispositif de consultation

Indicateur	Question posée	Numéro de la question
5. Emplois dans le transport local	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient le nombre d'emplois dédiés à la mobilité locale des personnes (emplois de conduite, de réparation, etc.) ?	20
6. Sécurité des déplacements	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la sécurité des déplacements (pour les usagers de tous les modes) ?	13
10. Accès des personnes à mobilité réduite	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des personnes à mobilité réduite (PMR) ?	17
13. Utilisation des transports en commun	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la fréquentation des transports en commun (Astuce) ?	12
14. Pratique du vélo	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'utilisation du vélo ?	12
15. Pratique de la marche à pied	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la pratique de la marche à pied ?	12

Dans ce cas, la valeur de l'indicateur s'établit donc entre -2 et +2.

Les indicateurs estimés quasi-directement sont les suivants :

- 4. Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports
- 7. Equité d'accès à la mobilité selon l'âge
- 8. Equité d'accès à la mobilité selon le revenu
- 9. Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
- 11. Equité d'accès à la mobilité selon le genre
- 12. Congestion routière
- 16. Réduction de l'espace de stationnement automobile
- 17. Densification des logements (Consommation d'espace des logements)

18. Densification des emplois (Consommation d'espace des activités économiques)

Concernant la stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports, étant donné que la question 19 interroge les répondants sur les dépenses de la Métropole, l'estimation de l'indicateur est obtenue en inversant le chiffre relevé.

Formule 1: Formule de calcul de l'indicateur de stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports

$$\Delta^{\circ}[\text{Stabilité du budget de la Métropole}] = -([\Delta^{\circ} \text{ dépenses de la Métropole}])$$

Pour les mesures d'équité (questions 7 à 9), nous prenons en compte l'écart entre le ou les groupes défavorisés et le ou les groupes favorisés, ou plus généralement de référence.

Ainsi, dans le cas de l'équité d'accès selon l'âge, nous considérons que les groupes susceptibles d'éprouver des difficultés d'accès à la mobilité sont les suivants :

- les enfants et adolescents (5-17 ans)
- les jeunes (18-24 ans)
- les personnes âgées (65-79 ans et 80 ans et plus)

Nous calculons donc la différence entre la moyenne de l'évolution de l'accès à la mobilité de ces quatre groupes et celle de l'évolution de l'accès à la mobilité des autres groupes (25-49 ans et 50-64 ans).

Formule 2 : Formule de calcul de l'indicateur d'équité d'accès à la mobilité selon l'âge

$$\begin{aligned} \Delta^{\circ} [\text{Equité d'accès à la mobilité selon l'âge}] \\ = ([\Delta^{\circ} 5 - 17\text{ans}] + [\Delta^{\circ} 18 - 24\text{ans}] + [\Delta^{\circ} 65 - 79\text{ans}] + [\Delta^{\circ} 80 \text{ans et +}]) - ([\Delta^{\circ} 25 \\ - 49\text{ans}] + [\Delta^{\circ} 50 - 64\text{ans}]) \end{aligned}$$

Pour l'équité selon le revenu, nous considérons que le groupe « revenu élevé » est le groupe favorisé. Nous proposons donc le calcul de la différence entre l'évolution de l'accès à la mobilité de ce groupe et celle des groupes à faible et moyen revenu.

Formule 3: Formule de calcul de l'indicateur d'équité d'accès à la mobilité selon le revenu

$$\begin{aligned} \Delta^{\circ}[\text{Equité d'accès à la mobilité selon le revenu}] \\ = ([\Delta^{\circ} \text{ groupe revenu faible}] + [\Delta^{\circ} \text{ groupe revenu moyen}]) \\ - [\Delta^{\circ} \text{ groupe revenu élevé}] \end{aligned}$$

Pour l'équité d'accès selon la localisation, les habitants de l'urbain très dense sont considérés comme le groupe de référence. L'évolution de la situation des habitants des autres zones est donc comparée à la leur.

Formule 4: Formule de calcul de l'indicateur d'équité d'accès à la mobilité selon la localisation

$$\begin{aligned} \Delta^{\circ}[\text{Equité d'accès à la mobilité selon la localisation}] &= \\ &= [\Delta^{\circ} \text{ groupe urbain dense}] + [\Delta^{\circ} \text{ groupe urbain diffus}] + [\Delta^{\circ} \text{ groupe périurbain}] \\ &- [\Delta^{\circ} \text{ groupe urbain très dense}] \end{aligned}$$

Finalement, s'agissant de l'équité selon le genre, le groupe « hommes » est considéré comme le groupe de référence. L'évolution de l'accès à la mobilité du groupe « femmes » est donc comparée à l'évolution de l'accès à la mobilité de celui-ci.

Formule 5: Formule de calcul de l'indicateur d'équité d'accès à la mobilité selon le genre

$$\Delta^{\circ}[\text{Equité d'accès à la mobilité selon le genre}] = [\Delta^{\circ} \text{ groupe femmes}] - [\Delta^{\circ} \text{ groupe hommes}]$$

La question 11 porte sur l'évolution de la circulation automobile dans les différentes zones de la Métropole de Rouen. Nous considérons que l'évolution de la circulation dans les différentes zones a le même impact sur la congestion. Nous sommes donc ces évolutions pour obtenir un indicateur de l'évolution de la congestion routière. Une carte représentant ces zones dite « Carte 1 » fait partie du support de consultation.

Formule 6 : Formule de calcul de l'indicateur de congestion routière

$$\begin{aligned} \Delta^{\circ}[\text{Congestion routière}] &= \\ &= [\Delta^{\circ} \text{ circulation urbain très dense}] + [\Delta^{\circ} \text{ circulation urbain dense}] \\ &+ [\Delta^{\circ} \text{ circulation urbain diffus}] + [\Delta^{\circ} \text{ circulation zones périurbaines}] \end{aligned}$$

Concernant la diminution de l'espace de stationnement automobile, nous utilisons les réponses obtenues à la question 23. Celle-ci porte sur l'évolution de la demande de stationnement sur voirie en zones urbaines très denses et denses. Nous inversons donc le chiffre relevé pour obtenir l'indicateur mobilisé dans l'évaluation.

Formule 7 : Formule de calcul de l'indicateur de réduction de l'espace de stationnement

$$\Delta^{\circ}[\text{Réduction espace de stationnement automobile}] = -[\Delta^{\circ} \text{ demande de stationnement}]$$

Dans le cas de la densification des logements, l'évolution des préférences de localisation des habitants est relevée. L'indicateur d'évaluation étant celui de la densification,

nous calculons donc la différence entre l'évolution de la préférence pour les zones très denses et denses agrégées, et celle pour les zones urbaines et périurbaines, également agrégées.

Formule 8 : Formule de calcul de l'indicateur de densification des logements

$$\Delta^{\circ}[\text{Densification des logements}] = ([\Delta^{\circ} \text{urbain très dense}] + [\Delta^{\circ} \text{urbain dense}]) - ([\Delta^{\circ} \text{urbain}] + [\Delta^{\circ} \text{zones périurbaines}])$$

Pour la densification des emplois, l'évolution de la préférence d'implantation des entreprises est relevée selon un découpage en quatre zones, établi selon le nombre d'emplois par commune en 2016 (INSEE). Ces zones sont déterminées à partir de l'« algorithme de Jenks », intégré au logiciel QGIS, qui minimise la variance intra-classe et maximise la variance interclasse. Les bornes sont ainsi les suivantes :

Tableau 79 : Critères de découpage des zones d'emplois utilisés dans le dispositif d'évaluation

Nombre d'emplois au lieu de travail	Nom donné à la zone
14890-83280	Rouen
6358-14890	Zones d'emplois primaires
1434-6358	Zones d'emplois secondaires
31-1434	Reste de la Métropole

De nouveau, nous calculons les différences entre l'évolution de la préférence pour Rouen et les zones d'emplois principales agrégées, groupe de référence, et celle pour les zones d'emplois secondaires et le reste de la Métropole.

Formule 9 : Formule de calcul de l'indicateur de densification des emplois

$$\Delta^{\circ}[\text{Densification des emplois}] = ([\Delta^{\circ} \text{Rouen}] + [\Delta^{\circ} \text{zones d'emplois principales}]) - ([\Delta^{\circ} \text{zones d'emplois secondaires}] + [\Delta^{\circ} \text{reste de la Métropole}])$$

Le tableau ci-dessous résume les opérations réalisées pour l'estimation des critères estimés quasi directement et les questions correspondantes dans le dispositif de consultation :

Tableau 80 : Indicateurs estimés quasi directement, questions correspondantes dans le dispositif de consultation et opérations réalisées

Indicateur	Question posée	Opération(s)	Numéro de la question
4. Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient les dépenses de la Métropole de Rouen dédié à la mobilité des personnes (transports publics, gestion des infrastructures, etc.) ?	$= - ([\Delta^\circ \text{ dépenses de la Métropole}])$	19
7. Equité d'accès à la mobilité selon l'âge	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des groupes d'âge suivants ? (5-17,18-24,25-49,50-64,65-79, 80 et +)	$= ([\Delta^\circ 5 - 17\text{ans}] + [\Delta^\circ 18 - 24\text{ans}] + [\Delta^\circ 65 - 79\text{ans}] + [\Delta^\circ 80 \text{ans et +}]) - ([\Delta^\circ 25 - 49\text{ans}] + [\Delta^\circ 50 - 64\text{ans}])$	14
8. Equité d'accès à la mobilité selon le revenu	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des groupes de revenus suivants ? (revenu faible, revenu moyen, revenu élevé)	$= ([\Delta^\circ \text{ groupe revenus faibles}] + [\Delta^\circ \text{ groupe revenus moyens}]) - [\Delta^\circ \text{ groupe revenus élevés}]$	15
9. Equité d'accès à la mobilité selon la localisation	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des habitants selon leur zone d'habitation (Carte 1) ? (urbain très dense, urbain dense, urbain, périurbain)	$= [\Delta^\circ \text{ groupe urbain dense}] + [\Delta^\circ \text{ groupe urbain diffus}] + [\Delta^\circ \text{ groupe périurbain}] - [\Delta^\circ \text{ groupe urbain très dense}]$	15
11. Equité d'accès à la mobilité selon le genre	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité selon le genre ? (hommes, femmes)	$= [\Delta^\circ \text{ groupe femmes}] - [\Delta^\circ \text{ groupe hommes}]$	18

12. Congestion routière	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la circulation automobile dans les différentes zones de la Métropole (Carte 1) ? (urbain très dense, urbain dense, urbain, périurbain)	$= [\Delta^{\circ} \text{circulation urbain très dense}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{circulation urbain dense}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{circulation urbain diffus}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{circulation zones périurbaines}]$	11
16. Réduction de l'espace de stationnement automobile	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la demande de stationnement sur voirie en zones urbaines denses et très denses (Carte 1) ?	$= -[\Delta^{\circ} \text{demande de stationnement}]$	23
17. Densification des logements (Consommation d'espace des logements)	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient les préférences de localisation des habitants au sein de la Métropole (Carte 1) ? (urbain très dense, urbain dense, urbain, périurbain)	$= [\Delta^{\circ} \text{circulation urbain très dense}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{circulation urbain dense}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{circulation urbain diffus}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{circulation zones périurbaines}]$	21
18. Densification des emplois (Consommation d'espace des activités économiques)	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient les préférences d'implantation des entreprises au sein de la Métropole (Carte 2) ? (Rouen, zones d'emplois principales, zones d'emplois secondaires, reste de la Métropole)	$= ([\Delta^{\circ} \text{Rouen}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{zones d'emplois principales}])$ $- ([\Delta^{\circ} \text{zones d'emplois secondaires}]$ $+ [\Delta^{\circ} \text{reste de la Métropole}])$	22

Quinze des dix-huit indicateurs définis sont donc estimés par les parties prenantes de manière directe ou quasi directe. Les indicateurs suivants font quant à eux appel à un traitement complémentaire :

1. Pollution de l'air
2. Pollution sonore
3. Emissions de CO2

Pour l'estimation de ces trois indicateurs, nous nous basons sur les réponses obtenues à la question 11. Nous considérons ainsi que les effets environnementaux locaux du véhicule automatique dépendent principalement de son influence sur l'évolution de la circulation automobile.

Comme évoqué précédemment, le découpage de la Métropole de Rouen en zones de densité d'habitation (nombre d'habitants par km² à l'échelle de la commune), auquel se réfèrent les questions 11, 16, 21 et 23, a été fixé considérant les seuils prescrits dans les documents méthodologiques français de référence en matière d'évaluation des investissements. Dans notre travail, les communes à la densité inférieure à 1500 habitants/km² sont désignées par le terme de périurbain. Pour rappel :

Tableau 81 : Critères de découpage des zones d'habitation utilisés dans le dispositif d'évaluation

Zone d'habitation	hab/km²
Urbain très dense	> 4500
Urbain dense	4 500 - 1 500
Urbain	1500 - 450
Urbain diffus	450 - 37
Interurbain	< 37
Périurbain	< 450

Cette catégorisation est utile puisque les nuisances environnementales sont dépendantes de la vitesse de circulation, attachée à la densité, et de la zone d'émission, la densité constituant un étalon du nombre de personnes touchées.

Par ailleurs, nous considérons les projections figurant dans « Estimation à l'échelle de la Métropole de Rouen Normandie des émissions du transport routier en 2010 et en 2025 dans le cadre de la révision du PDU », s'agissant de la structure du parc automobile rouennais en 2025, à savoir : 65% de véhicules diesel, 28% de véhicules essence et 6% de véhicules électriques ou hybrides (Air Normand, 2016). Elles nous permettent de déterminer les différents facteurs appliqués à chaque zone dans le cadre du calcul de ces trois indicateurs.

Pour la pollution de l'air, nous utilisons les valorisations monétaires différenciées selon la zone d'émission et la nature du parc automobile rouennais à partir des valeurs tutélaires figurant au « Référentiel méthodologique pour l'évaluation des projets de transport » (DGITM, 2017). Nous les complétons par les informations sur les véhicules électriques figurant dans « Analyse coûts bénéfiques des véhicules électriques » (CGDD, 2017). Ainsi :

Tableau 82 : Facteurs de valorisation de la pollution de l'air dans le cas du parc rouennais à l'horizon 2025

€2025/v.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Périurbain
VP diesel	0,247	0,067	0,027	0,019
VP essence	0,054	0,016	0,007	0,006
VP électrique	0	0	0	0
Parc automobile rouennais (i_{zn}^1)	0,1756	0,04903	0,0195	0,0146

*n correspond aux différentes zones de densité : n=1, urbain très dense ; n=2, urbain dense, n=3, urbain et n=4, périurbain

Ainsi l'indicateur de pollution de l'air correspond à :

Formule 10 : Formule de calcul de l'indicateur de pollution de l'air

$$\Delta^{\circ}[\text{Pollution de l'air}] = \sum_{n=1}^{n=4} [\Delta^{\circ}\text{circulation}_{zn}] * i_{zn}^1$$

S'agissant de la pollution sonore, nous considérons, comme c'est le cas dans les documents méthodologiques de référence, une valorisation différente des nuisances sonores selon la zone d'émission. Nous nous basons de nouveau sur les valeurs tutélaires prescrites par la DGITM (2017) et le CGDD (2017). Dans chaque type de zone, les valeurs sont établies par type de route. Dans notre travail, nous prenons en compte les valeurs tutélaires appliquées aux routes communales, qui sont celles où l'autorité de la Métropole Rouen Normandie s'applique. Selon la synthèse proposée dans « Analyse coûts bénéfiques des véhicules électriques », le coût de la pollution sonore est nul en urbain très dense, deux fois moins important que pour les véhicules thermiques dans l'urbain dense et l'urbain, et huit fois moins important dans le périurbain. La valorisation des nuisances sonores comprend les effets sanitaires et de gêne des personnes exposées.

Tableau 83 : Facteurs de valorisation de la pollution sonore dans le cas du parc rouennais à l'horizon 2025

€2025/v.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Périurbain
VP thermique	80,2	70,7	58,6	42,4
VP électrique	0	35,4	29,3	5,3
Parc automobile rouennais (i_{zn}^2)	74,6	67,9	56,5	39,8

Ainsi, le calcul de l'indicateur de pollution sonore est le suivant :

Formule 11 : Formule de calcul de l'indicateur de pollution sonore

$$\Delta^\circ[\text{Pollution sonore}] = \sum_{n=1}^{n=4} [\Delta^\circ \text{circulation}_{zn}] * i_{zn}^2$$

Concernant les émissions de CO₂, il n'existe pas de valorisation selon la zone d'émission puisque le dioxyde de carbone a avant tout un effet au niveau global. Les émissions, liées aux consommations de carburant, sont toutefois différentes selon la zone de circulation. De nouveau, nous déduisons les facteurs d'émission selon la zone pour les cas rouennais à partir des sources citées précédemment.

Tableau 84 : Emissions de CO₂ par v.km selon la zone de circulation (DGITM, 2017 ; CGDD, 2017)

g.CO2/v.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Périurbain
Véhicule diesel	113	96	84	78
Véhicule essence	123	105	91	85
Véhicule électrique	10	10	10	13

Considérant la forme du parc rouennais:

Tableau 85 : Emissions de CO₂ par v.km selon la zone de circulation dans le cas rouennais

g.CO2/v.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Périurbain
Parc automobile rouennais (i_{zn}^3)	109	92	81	75

Finalement, l'indicateur est ainsi calculé :

Formule 12 : Formule de calcul de l'indicateur d'émissions de CO₂

$$\Delta^\circ[\text{Emissions CO}_2] = \sum_{n=1}^{n=4} [\Delta^\circ \text{circulation}_{zn}] * i_{zn}^3$$

Tableau 86 : Indicateurs estimés grâce à des informations complémentaires, questions correspondantes dans le dispositif de consultation et opérations réalisées

Indicateur	Question posée	Opération(s)	Numéro de la question
1. Pollution de l'air	Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la circulation automobile dans les différentes zones de la Métropole (Carte 1) ?	$= \sum_{n=1}^{n=4} [\Delta^{\circ} \text{circulation}_{zn}] * i_{zn}^1$	11
2. Pollution sonore	Idem	$= \sum_{n=1}^{n=4} [\Delta^{\circ} \text{circulation}_{zn}] * i_{zn}^2$	11
3. Emissions de CO2	Idem	$= \sum_{n=1}^{n=4} [\Delta^{\circ} \text{circulation}_{zn}] * i_{zn}^3$	11

Au vu du contexte de réalisation de notre étude, à savoir des moyens à notre disposition et de notre faible proximité avec les parties prenantes, nous avons opté pour une démarche de participation tenant de la consultation, du pouvoir symbolique, et intervenant essentiellement à l'étape d'analyse des options. La sélection des parties prenantes a été réalisée à partir des critères mis en avant par la littérature : diversité, participation des acteurs critiques et présence simultanée de revendications potentielles et de capacités d'agir. Nous avons ainsi distingué trois types de parties prenantes : décideurs, concepteurs et gestionnaires publics, responsables de la mise en œuvre et parties prenantes représentant des tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude. Au sein de ces dernières, nous repérons les « bureaux d'étude », « acteurs économiques » et « associations ». Ce repérage a donné lieu à vingt-trois entretiens individuels réalisés entre février 2020 et juin 2020. Le support de consultation utilisé, dont nous avons détaillé la conception, a ainsi permis de recueillir les appréciations quantifiées des parties prenantes sur les effets des différents scénarios d'introduction du véhicule automatique et les discours correspondants.

L'étape suivante consiste au traitement des données récoltées. Elle comprend deux parties, l'une centrée sur les données quantitatives, l'estimation des indicateurs, et l'autre sur les données qualitatives, extraites de la retranscription des entretiens réalisés sur la base du dispositif de consultation.

7.4. Le traitement des données récoltées

Au vu de la méthodologie proposée, le traitement des données comprend à la fois un pan quantitatif, tenant de l'évaluation des scénarios à proprement parler, et un pan qualitatif, qui vise à exploiter le contenu prospectif des discours des parties prenantes, ainsi que les suggestions émises en matière d'action publique.

Pour l'analyse quantitative, nous décrivons tout d'abord le profil sociodémographique des participant-e-s, ainsi que leur niveau d'intérêt pour l'objet d'étude. Puis, nous réalisons une analyse descriptive des estimations réalisées. Les pondérations des indicateurs recueillies sont détaillées et une classification selon leur importance moyenne relative est établie. Nous complétons cette typologie d'une discussion sur les indicateurs dont la pondération est la plus discutée, à partir d'extraits d'entretiens. Nous détaillons ensuite les estimations obtenues des effets des scénarios sur les différents indicateurs, à partir notamment d'une représentation en radar. De nouveau, les résultats les plus saillants sont commentés grâce aux données qualitatives relevées. Après ce travail descriptif, une analyse multicritères de type PROMETHEE II est réalisée à l'aide du logiciel VISUAL PROMETHEE. Elle permet de proposer un classement des scénarios selon leur « performance » sur les indicateurs utilisés et la pondération de ceux-ci. Nous questionnons la stabilité de cette hiérarchie selon la pondération des indicateurs grâce au module « Intervalles de stabilité » intégré au logiciel.

Nous poursuivons l'exploitation des données grâce à une approche qualitative. Elle consiste en une analyse de type « herméneutique », au sens qui lui est donné dans le cadre de l'évaluation des technologies, et en deux analyses de contenu thématiques. Ces dernières portent sur les actions publiques applicables aux véhicules automatiques, que nous comparons à celles déjà évoquées dans la littérature, précédemment synthétisées, et sur les autres applications possibles du véhicule automatique, en dehors des scénarios proposés.

Nous synthétisons finalement l'ensemble de ces résultats selon les différentes étapes d'analyse.

7.4.1. Les résultats de l'analyse multicritères, un classement des scénarios

Description des données quantitatives

Profil des participants et intérêt pour le véhicule automatique

Présentons tout d'abord les profils sociodémographiques des participant-e-s à l'évaluation. Ils ont au nombre de vingt-trois. Les particularités de l'échantillon tiennent à sa majorité masculine (65%), à la répartition des âges, avec une forte majorité de plus de 40 ans (74%) et à la proportion de diplômé du supérieur (83% ont un diplôme équivalent ou supérieur à Bac+5). Les disciplines de spécialisation majoritaires sont l'ingénierie (22%) et la géographique et aménagement (26%). Ces proportions s'expliquent probablement par la part des répondant-e-s engagé-e-s professionnellement dans le secteur des transports (74%). La commune d'habitation la plus représentée est Rouen (26%). Les communes limitrophes urbaines sont également largement présentes (30%)⁹⁹. De plus, un ancrage plutôt ancien des participant-e-s dans le territoire peut être constaté puisque 65% vit dans la Métropole de Rouen depuis plus de 10 ans. S'agissant du mode de transport principal, la voiture est majoritaire (43%), mais les transports en commun (26%) et le vélo (17%) sont également bien représentés.

Considérant l'intérêt pour le sujet d'étude, l'ensemble des participant-e-s en ont déjà entendu parler et 74% déclare être intéressé par ce sujet. Par ailleurs, 26% a pris part à l'organisation de l'expérimentation *RNAL*.

Les personnes interrogées apparaissent donc globalement fortement diplômées, plutôt urbaines, ancrées dans le territoire et investies professionnellement dans le secteur des transports.

Pondération des critères d'évaluation

Nous nous intéressons à présent à la pondération des différents critères du cadre de mesure. La septième question du support de consultation consistait en effet à attribuer à chacun des critères sélectionnés une note allant de 0 à 4. Nous considérons les poids relatifs, soient les poids attribués à chaque critère par rapport à la somme des poids donnés sur l'ensemble des critères par un individu. Cette relativisation a pour but de limiter le biais que pourrait créer l'interprétation de l'échelle par la personne interrogée. Nous proposons ensuite

⁹⁹ Saint-Etienne-du-Rouvray, Sotteville-lès-Rouen, Bois Guillaume, Mont Saint-Aignan, Mesnil-Esnard

un classement des critères selon l'importance moyenne qui leur est accordée. Nous considérons également l'écart-type de la pondération relative pour chaque critère, soit la variabilité de la notation attribuée par les participant-e-s. Cela nous permet de repérer les pondérations les moins et les plus discutées. Afin de renseigner ces constatations, nous faisons appel aux éléments discursifs, extraits d'entretien, correspondants. Notons que seuls quelques liens entre ensemble de pondérations et type de parties prenantes ont pu être identifiés. La catégorisation des parties prenantes utilisée présente pourtant un potentiel explicatif en matière de discrimination des positionnements, mais l'échantillon de personnes interrogées semble trop restreint.

Les données recueillies sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 87 : Moyenne et écart type des pondérations relatives pour chaque indicateur

	Pollution de l'air	Pollution sonore	Emissions de CO2	Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports	Emplois dans le transport local	Sécurité des déplacements	Equité d'accès à la mobilité selon l'âge	Equité d'accès à la mobilité selon le revenu	Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
Pondération relative moyenne	0,0729	0,0570	0,0713	0,0408	0,0441	0,0610	0,0502	0,0608	0,0677
Ecart-type	0,0158	0,0205	0,0206	0,0231	0,0191	0,0188	0,0174	0,0186	0,0177

	Accès des personnes à mobilité réduite	Equité d'accès à la mobilité selon le genre	Congestion routière	Utilisation des transports en commun	Pratique du vélo	Pratique de la marche à pied	Réduction de l'espace de stationnement automobile	Densification des logements	Densification des emplois
Pondération relative moyenne	0,0547	0,0356	0,0569	0,0649	0,0640	0,0578	0,0617	0,0514	0,0466
Ecart-type	0,0153	0,0258	0,0257	0,0161	0,0146	0,0164	0,0229	0,0194	0,02068

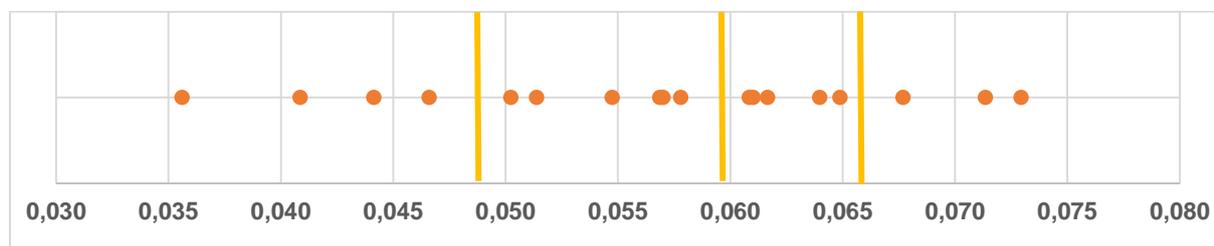
Considérant la moyenne relative de la pondération de chaque critère, nous établissons le classement hiérarchique suivant :

Tableau 88 : Classement des indicateurs par ordre d'importance

Place dans le classement	Indicateurs
1	Pollution de l'air
2	Emissions de CO2
3	Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
4	Utilisation des transports en commun
5	Pratique du vélo
6	Réduction de l'espace de stationnement automobile
7	Sécurité des déplacements
8	Equité d'accès à la mobilité selon le revenu
9	Pratique de la marche à pied
10	Pollution sonore
11	Congestion routière
12	Accès des personnes à mobilité réduite
13	Densification des logements
14	Equité d'accès à la mobilité selon l'âge
15	Densification des emplois
16	Emplois dans le transport local
17	Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports
18	Equité d'accès à la mobilité selon le genre

L'ensemble de ces pondérations relatives nous permet de distinguer quatre classes d'indicateurs, dont les bornes sont représentées sur la figure ci-dessous.

Figure 49 : Représentation des indicateurs selon leur pondération moyenne relative



Afin de nous assurer du bon placement des bornes, déduites de la représentation graphique, nous analysons la variance intraclasse selon différentes hypothèses d'association pour les points dont l'appartenance à une des classes n'est pas évidente. Les indicateurs dont l'affectation est équivoque sont ceux dont la pondération est comprise entre 0,060 et 0,054, et

entre 0,049 et 0,043. La variance intraclasse se montre moins importante lorsque ces sous-groupes sont respectivement attribués à la classe inférieure. La discrétisation retenue correspond à celle dont les bornes sont signifiées en gras dans le tableau ci-dessous.

Tableau 89 : Critères de découpage des classes d'indicateurs selon leur importance relative

Bornes de classe	Variance intraclasse	Effectif de la classe
[0,073-0,067]	0,0000072704	3
[0,067-0,060]	0,0000033743	5
[0,060-0,049]	0,0000101089	6
[0,049-0,035]	0,0000225713	4
[0,067-0,054]	0,0000119064	
[0,060-0,043]	0,0000262205	

Les quatre groupes d'indicateurs ainsi définis peuvent être regroupés selon leur importance : essentiels, de premier ordre, de second ordre et de troisième ordre.

Tableau 90 : Catégorisation des critères selon leur importance relative

Groupe de critères	Critères
Essentiels	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution de l'air - Emissions de CO2 - Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
Premier ordre	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des transports en commun - Pratique du vélo - Réduction de l'espace de stationnement automobile - Sécurité des déplacements - Equité d'accès à la mobilité selon le revenu
Second ordre	<ul style="list-style-type: none"> - Pratique de la marche à pied - Pollution sonore - Congestion routière - Accès des personnes à mobilité réduite - Densification des logements - Equité d'accès à la mobilité selon l'âge
Troisième ordre	<ul style="list-style-type: none"> - Densification des emplois - Emplois dans le transport local - Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports - Equité d'accès à la mobilité selon le genre

Voyons tout d'abord les éléments mis en avant s'agissant des critères considérés comme les plus importants. Débutons par les critères de pollution de l'air et d'émissions de CO₂. Selon les dires des personnes interrogées, leur importance s'inscrit dans un contexte où le territoire apparaît à la fois « pollué » et dans une démarche active de protection environnementale¹⁰⁰. A ce titre, la signature des Accords de Rouen pour le climat en avril 2017 est notamment mentionnée¹⁰¹. Par ailleurs, s'agissant de la pollution de l'air, la vivacité des préoccupations est reliée à l'« accident Lubrizol » de septembre 2019 et plus généralement aux activités industrielles historiquement implantées au sein de l'agglomération¹⁰². La topographie, le caractère encaissé du territoire, est également citée comme un des facteurs faisant de la pollution de l'air un enjeu de premier plan¹⁰³.

Le troisième critère désigné comme le plus important est l'équité d'accès selon la localisation. L'idéal d'accès équitable au transport sur le territoire semble revêtir une dimension particulière dans l'agglomération rouennaise du fait des disparités présentes dans la Métropole, entre un centre urbain dense et une périphérie parfois qualifiée de « rurale »¹⁰⁴.

¹⁰⁰ « Alors bien sûr, la pollution de l'air c'est un souci de santé permanent, dans les pollutions de l'air c'est les fameuses PM 2,5, PM10, particules fines [...] CO₂, bien sûr, c'est le principal gaz à effet de serre, donc 4. Tout en sachant, qu'il y a d'autres polluants atmosphériques que le CO₂, le méthane en fait partie. Le CO₂ étant le principal. », Rue de l'Avenir / « Ah beh là, l'environnement, la pollution, la pollution sonore et les émissions de CO₂, je mets 4 partout. » Plein air, à pied, à vélo / « Donc, moi je dirais oui effectivement la pollution de l'air, oui c'est un enjeu important, je dirais 4. [...] [Emissions de CO₂] Même si on a fait des progrès, je pense que quand même, je pense qu'il y a des choses perfectibles, donc je dirais 4 aussi. », CEREMA Normandie / « Pollution de l'air, je pense qu'il y a un vrai sujet là-dessus. [...] Emissions de CO₂ aussi 4, parce que le transport c'est énormément émetteur de CO₂. », ANBDD / « Pollution de l'air, je mettrais 4, parce que Rouen est quand même très très très pollué. », Sabine
¹⁰¹ « Donc l'environnement c'est quelque chose d'important, donc vous savez que la Métropole a fait les Accords de Rouen. », Commune d'Elbeuf

¹⁰² « [...] surtout à Rouen, surtout après l'épisode de Lubrizol il y a pas très longtemps donc j'ai envie de dire, [...] je pense que c'est la question j'ai envie de dire, limite centrale, l'enjeu numéro 1, je pense, d'après ce que j'ai pu lire, en termes de politiques publiques. [...] Ca a marqué profondément les rouennais, et puis même avant ça, ça reste une Métropole qui est très industrialisée. [...] Et cette question de la pollution revient toujours, même si c'est pas l'agglomération la plus polluée de France, loin de là. Mais c'est toujours une question qui revient sur le devant de la scène, c'est quelque chose qui préoccupe pas mal de rouennais. [...] [Emissions de CO₂] Je mettrais 4 parce qu'on est dans un contexte où on doit faire des efforts conséquents en termes de réduction des émissions de CO₂. », AURBSE / « Sur la question de la pollution de l'air, c'est vrai que ça dépend à quel horizon on se place, car avec l'évènement de Lubrizol, c'est vraiment devenu central [...] », ADEME

¹⁰³ « Pollution de l'air, 4, ça me paraît important. [...] en centre-ville les problématiques des particules fines, des aérosols [...] c'est plus prégnant notamment près des axes routiers, ça on le sait et c'est dû aussi à la configuration de la ville qui est encaissée, et donc aussi à l'aménagement qui a été fait en termes de desserte viaire. [...] c'est important de voir que la pollution de l'air peut être très différente d'un lieu à l'autre. [...] Emissions de CO₂, oui, bien sûr on ne peut qu'être d'accord. », FNE Normandie

¹⁰⁴ « La localisation, c'est important, mais c'est extrêmement complexe parce qu'on peut pas proposer une équité d'accès selon qu'on habite à 30 km dans la campagne ou dans le centre-ville de Rouen [...] pour la collectivité ça n'a pas de sens [...] », TCAR

« [...] sur la Métropole, entre les communes très rurales et le centre-ville, forcément on a pas les mêmes accès au transport urbain. », ANBDD

« [...] essayer d'avoir un maillage vraiment le plus complet, que pareil au niveau de la Métropole c'est quelque chose que l'on peut ressentir aussi, notamment avec son caractère très urbain en cœur de métropole et très rural en bordure de Métropole. [...] on essaie de faire en sorte qu'il y est un maillage aussi sur l'ensemble du territoire d'une offre de mobilité, une équité territoriale. », DREAL

Cet enjeu est également rattaché à l'obligation réglementaire de desserte qui incombe à la Métropole¹⁰⁵.

Les indicateurs dont la pondération est la moins discutée sont, dans l'ordre :

- pratique du vélo
- accès à la mobilité des personnes à mobilité réduite
- pollution de l'air
- utilisation des transports publics
- pratique de la marche à pied.

La pollution de l'air fait partie du groupe des indicateurs essentiels. Il existe donc également un consensus parmi les participant-e-s sur l'importance de cet indicateur. De même, l'utilisation des transports publics et la pratique du vélo sont bien placées dans le classement d'importance. La bonne performance d'un scénario sur ces points est donc fondamentale pour son acceptation. L'accès à la mobilité des personnes à mobilité réduite et la pratique de la marche à pied sont uniformément considérés comme relevant d'enjeux moins vifs que ceux précédemment cités.

A contrario, les critères qui montrent les pondérations les plus variables sont dans l'ordre :

- équité d'accès à la mobilité selon le genre
- congestion
- stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports
- réduction de l'espace de stationnement.

Les deux premiers font partie du groupe des critères de troisième ordre : équité d'accès à la mobilité selon le genre et stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports.

Dans le cas de l'équité d'accès à la mobilité selon le genre, d'un côté les réactions tiennent de l'étonnement¹⁰⁶, considérant qu'aucune inégalité d'accès n'existe en la matière ;

¹⁰⁵ « Alors, équité d'accès selon la localisation, ça c'est 4, c'est l'enjeu de toutes les métropoles. », TCAR / « [...] donc voilà la question du maillage territorial est pour moi primordial [...] », AURBSE / « [...] le PTU oblige à desservir ces gens [...] », Rue de l'Avenir

¹⁰⁶ « Équité d'accès à la mobilité selon le genre, mais c'est quoi cette question ? », ENGIE / « Alors pour le genre, je suis un peu étonnée par la question. », Renault / « [...] équité d'accès à la mobilité selon le genre, je suis étonné qu'on pose la question. », Move'o

de l'autre, les mentions aux problèmes de sécurité prédominent¹⁰⁷. Par ailleurs, plusieurs répondants mentionnent des « actions déjà menées », citant notamment une campagne de communication concernant le harcèlement sexiste et sexuel dans les transports en commun¹⁰⁸.

Deux visions se distinguent s'agissant de l'importance du critère de stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports. L'une, minoritaire dans notre échantillon, l'envisage comme une contrainte centrale, le budget en la matière étant perçu comme conséquent¹⁰⁹. Même si le type de parties prenantes n'est pas globalement explicatif, nous remarquons une tendance des « responsables de la mise en œuvre » et des « bureaux d'études » à adopter cette position. L'autre met en avant la nécessité de poursuivre et d'entreprendre une politique ambitieuse, notamment transformative, et la dimension avant tout politique de ces dépenses, comme le rappelle un des participants en notant la part notable du financement des transports en commun assurée par la Métropole¹¹⁰. Deux réactions s'ajoutent à cette conception duale, l'une mettant en avant la dépendance à l'activité économique¹¹¹ à travers le versement transport¹¹², l'autre considérant que le budget tous modes confondus est peu connu, et devrait donner lieu à une analyse comptable dédiée¹¹³.

¹⁰⁷ « [...] je sais qu'il y a des difficultés pour les femmes notamment pour se déplacer la nuit, etc. [...] Marcher le soir, on sait que pour une femme c'est quand même compliqué, dans la mesure où il y a de l'insécurité. La même chose pour les bus [...] Donc je sais qu'il y a des choses qui sont faites. », CEREMA Normandie / « Disons que c'est difficile à certaines heures pour les femmes d'emprunter les transports en commun, parce que, comme je vous l'ai dit tout à l'heure, il y a pas d'agents de sécurité [...] », FNE Normandie

¹⁰⁸ « Équité d'accès à la mobilité selon le genre, ils font aussi beaucoup de choses [...] », ANBDD / « On n'a pas eu comme dans certaines banlieues difficiles la nécessité de mettre en place l'arrêt à la demande [...] Pour l'instant, bon il y a eu une campagne sur le harcèlement sexuel par affiche, qui rappelle que c'est passible d'une amende. », Rue de l'Avenir

¹⁰⁹ « [...] je pense que la Métropole elle a les moyens de mettre en place des choses [...] », ANBDD / « Je pense que la Métropole fait déjà beaucoup d'efforts [...]. C'est un enjeu important la question de la mobilité, [...], est-ce que ça implique qu'il faut obligatoirement démultiplier les financements et le budget, moi je dirais non, il faut essayer d'optimiser ça. », CEREMA Normandie / « Beh stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports, 4, parce que nous c'est notre contrainte de tous les jours [...] », TCAR / « [...] puisqu'on est aujourd'hui dans des obligations budgétaires, le gouvernement demande aux collectivités de faire des efforts sur leur budget de fonctionnement [...] l'enjeu est de réussir à proposer une alternative crédible à l'automobile tout en faisant qu'on peut réduire le coût du TC [...] », MRN

¹¹⁰ « Non, moi je trouve que c'est un volet qui mérite plus d'argent en tout cas. », Commune de Darnétal / « A l'heure actuelle je pense qu'on peut injecter un peu plus d'argent, [...], je parle surtout en report modal de la voiture vers les transports publics, vers le vélo ou vers la marche. », AURBSE / « [...] je pense qu'il faudrait en fait l'augmenter. », Plein air, à pied, à vélo / « [...] si on veut avoir une politique ambitieuse en termes de transports, la stabilité n'est pas importante en tant que telle. », Sabine / « Il y aura des dépenses, parce qu'il faut toujours avancer. On en parlait tout à l'heure, il faudra des nouvelles lignes, il faudra des nouveaux véhicules, donc il faut dépenser. », Rue de l'Avenir / « Sur le budget de la Métropole ce n'est pas un problème car aujourd'hui la Métropole compense 75% des titres de transport, c'est un choix territorial. », ADEME

¹¹¹ « [...] ça dépend de la crise actuelle économique, avec les conséquences de suppression d'emplois, de fermeture d'entreprises, le budget de la Métropole va être réduit. », Solidarauto

¹¹² Renommé Versement Mobilité par la LOM

¹¹³ « Faut-il encore connaître quelle est la globalité du budget de la Métropole dédié aux transports : infrastructures et tout, parce qu'il y a pas vraiment de compte analytique sur ce sujet. On a la régie transport, sur la partie transports publics, on sait à peu près ce que ça coûte, mais si on fait l'amalgame de toutes les réfections de voirie, les infrastructures qu'on va construire et tout ça. Si on fait ça, même les éléments induits, par exemple si on fait une infrastructure comme le contournement Est [...] », FNE Normandie

La congestion et la réduction de l'espace de stationnement sont respectivement classées parmi les critères de second et de premier ordre.

S'agissant de la congestion, deux visions s'opposent, d'un côté, elle est perçue comme faible, sa réduction ne constituant pas un objectif en soi¹¹⁴, et de l'autre comme importante, même si les participant-e-s soutenant cette seconde position la détaillent peu¹¹⁵, hormis des mentions à la traversée des ponts sur la Seine¹¹⁶. Nous constatons que l'ensemble des personnes interrogées appartenant à la catégorie « Responsables de la mise en œuvre » attribuent la pondération maximale à ce critère. En effet, pour ceux déjà présents sur le territoire, il s'agit d'une contrainte dans la réalisation de leurs activités¹¹⁷. Les personnes interrogées se rejoignent ainsi sur le constat de la concentration des ralentissements dans le centre de l'agglomération¹¹⁸.

La réduction de l'espace de stationnement en zone centrale est en moyenne considérée comme un enjeu de premier ordre, notamment dans l'idée d'une réattribution de cet espace aux autres modes de transport¹¹⁹. Les parties prenantes de type « associations » et « bureaux d'étude » sont bien représentées dans les répondant-e-s attribuant une pondération élevée à ce critère. Deux éléments viennent cependant nuancer cette position chez les participant-e-s minimisant l'importance de ce critère : la nécessité de l'accompagnement des automobilistes vers d'autres modes de transport¹²⁰ et les limites du

¹¹⁴ « [...] c'est la disparition de la circulation automobile qui résoudrait le problème de congestion, donc c'est-à-dire que ce n'est pas en fluidifiant le trafic que ce sera mieux. Je veux dire, résoudre la congestion c'est pas un objectif en soi. », Plein air, à pied, à vélo / « [...] la congestion routière, non pas que ce ne soit pas un enjeu, mais [...], quoi qu'on fasse, de la congestion, il y en a, et donc, des fois, créer de la congestion pendant un temps va la faire réduire sur le long terme parce qu'il y aura des changements de mode, ou inversement si on développe la voirie routière, pendant un certain temps on va perdre en congestion, et puis ça va revenir [...] », DREAL / « Donc les voitures vont au-delà [de 18 km/h], donc on peut considérer que globalement elles roulent bien. », FNE Normandie / « Oui, c'est pas un problème, à part aux heures de pointe. », Rue de l'Avenir

¹¹⁵ « Oui, 4 », CEREMA Normandie / « [Congestion routière] Ah oui, ça c'est très important, 4. », Commune de Darnétal / « Congestion routière alors là, ouais, c'est un souci, je mettrais 4. », ANBDD

¹¹⁶ « Congestion routière me paraît le plus important. Les entreprises dans la zone d'activité où on est s'arrêtent vers 17h30, c'est un vrai bazar pour que les gens rentrent chez eux en voiture ou par les transports en commun. Ils sont bloqués à l'arrivée des ponts sur Rouen. », Solidarauto

¹¹⁷ « Euh, je mettrais 4 pour la congestion routière, même si on est exploitant de transports en commun, par effet ricochet ça rejaillit sur nous [...] », TCAR

¹¹⁸ « Il y a pas vraiment de bouchons à Rouen le matin. Enfin si, il y a des endroits qui sont un peu compliqués. Le problème c'est qu'il y a un fleuve à traverser [...] », ENGIE / « La congestion, il n'y a pas de problèmes particuliers, on est la 12e Métropole française. [...], la congestion elle est plutôt centrale, métropolitaine. », MRN

¹¹⁹ « Baisse de l'espace dédié à l'automobile, je mettrais 4, et que ça aille de pair avec une plus forte utilisation des TC, et une forte pratique du vélo et de la marche à pied. Mais à côté, il faut justement ce genre de solutions et qu'il y est des alternatives à l'utilisation de la voiture, parce qu'on peut pas dire aux gens beh non vous pouvez pas vous déplacer dans le centre en voiture, mais s'il y a pas d'alternatives, ça va être compliqué. », AURBSE / « [...] la réduction de l'espace de stationnement automobile, là c'est un vrai sujet, et qui a beaucoup d'importance aussi, dans toutes les politiques qui sont menées à chaque fois c'est un point sensible, les questions de stationnement. », DREAL / « Réduction de l'espace dédié à la voiture, alors oui évidemment [...] Jupé, qui a inscrit 50% aux véhicules, à savoir zone roulante, stationnement, 50% bus, vélo, marche. C'est ce qui été prévu au PDU de Bordeaux. Il a fait beaucoup de choses très très bien dans ce domaine. », Rue de l'Avenir

¹²⁰ « Moi, pour moi je suis contre une réduction drastique. », Commune de Darnétal

report en périphérie du stationnement, à travers des P+R, considérant les coûts d'aménagement et la consommation d'espace¹²¹ de ces derniers.

Au vu de l'importance de ces critères, les discussions les concernant apparaissent importantes. Les impacts des différents scénarios d'introduction du véhicule automatique sur ces points doivent donc être particulièrement considérés car ils pourraient constituer des éléments autour desquels des oppositions se construisent.

En dernier lieu, précisons que la typologie des parties prenantes utilisée ne se retrouve pas dans les profils des pondérations obtenus, analysés grâce à une analyse en composantes principales (Annexe 8). Deux formes d'opposition sont tout de même repérables. La première dimension de l'ACP est construite à partir d'une divergence entre d'un côté une tendance à la pondération importante de l'indicateur de congestion et de l'autre des pondérations importantes de la pratique du vélo, la pratique de la marche à pied, l'utilisation des transports en commun et la réduction de l'espace de stationnement. Ce motif d'opposition correspond à deux orientations, l'une tournée vers les conditions de circulation, le bon fonctionnement du système automobile, et l'autre vers la multimodalité et une réduction de la place de la voiture. La seconde dimension de l'ACP montre quant à elle deux colorations du principe de durabilité, l'une plutôt sociale, avec la pondération importante des indicateurs d'équité (selon l'âge, le revenu, le genre, d'accès des PMR), l'autre plutôt environnementale, où l'accent est mis sur l'indicateurs d'« émissions de CO2 ».

Après cette présentation des discussions entourant la pondération des critères, nous répertorions dans le paragraphe suivant les critères supplémentaires proposés par les participant-e-s, à considérer selon eux dans l'optique d'un système de transport durable dans la Métropole de Rouen. Ils sont au nombre de dix-neuf, répartis dans les cinq catégories préalablement définies.

Au volet environnemental, les critères proposés concernent les domaines de l'énergie (consommation énergétique, « renouvelabilité » des énergies¹²², résilience face à l'augmentation du prix des énergies), de la protection des ressources (artificialisation des sols, biodiversité¹²³) internes et externes au territoire, et la préservation du cadre de vie

¹²¹ « Là je suis partagé, je suis très partagé, je pense que effectivement il faut supprimer la voiture dans le centre de l'agglomération, dans la ville, mais est-ce qu'il faut reporter ces véhicules sur l'extérieur de la ville, notamment dans les P+R ? Ces parkings relais c'est quand même, en aménagement, 2500 euros la place. Donc c'est quand même relativement coûteux, mais c'est surtout consommateur d'espace [...] Réduction de l'espace de stationnement automobile, oui, mais à condition que ce soit accompagné. », FNE Normandie

¹²² « Oui, c'est le problème de la renouvelabilité des énergies. Alors, évidemment, on pense gaz et pétrole, mais pour moi le nucléaire n'est pas renouvelable. En ce sens que, on a besoin d'uranium, que les sources d'uranium sont dans des pays politiquement instables, et que la France pourrait très bien à un moment donné être privée de ces sources, sans parler bien sûr du devenir des déchets radioactifs. » (Rue)

¹²³ « [...] on est bien sur la superficie utilisée pour la voiture et du coup les déplacements, mais du coup en lien avec les questions de biodiversité. », DREAL

(préservation des paysages, préservation des forêts périurbaines¹²⁴). Au volet économique, les critères mentionnés concernent l'activité économique (attractivité territoriale¹²⁵, tourisme, développement du commerce de proximité). Au volet social, les critères cités concernent l'accès à la mobilité des habitants des quartiers populaires, l'accès à l'emploi et le budget des ménages, selon le principe de précarité énergétique. Concernant la mobilité, il est fait référence au covoiturage, aux services dédiés à la mobilité (système d'information et système billettique) et à la gestion de la livraison de marchandises¹²⁶. Enfin, dans la section de l'organisation spatiale, les suggestions portent, au niveau macroscopique, sur l'organisation multipolaire de l'agglomération rouennaise¹²⁷ et au niveau microscopique, s'agissant de l'espace public, sur la réduction de l'espace de voirie dédiée à la voiture¹²⁸, étendant le critère d'espace dédié au stationnement.

En synthèse, les critères de pollution de l'air, d'émissions de CO2 et d'équité d'accès à la mobilité selon la localisation sont considérés par les participant-e-s comme centraux s'agissant de la durabilité du système de transport de la Métropole Rouen Normandie. La pollution de l'air fait particulièrement consensus. Cette préoccupation est notamment liée au caractère industriel de l'agglomération et à sa topographie. Les participant-e-s s'accordent également sur l'importance de l'utilisation des transports en commun et de la pratique du vélo. Ces préférences semblent s'inscrire dans une volonté de tendre vers un système moins centré sur l'automobile, même si les discussions autour de la diminution de l'espace de stationnement et de la nécessité de fluidifier le trafic font débat. La conception de la durabilité du système de transport retranscrite à travers la pondération relative moyenne des critères dans notre échantillon montre donc une coloration environnementale et une volonté d'encourager les modes de transports alternatifs à la voiture particulière.

Estimations qualitatives des indicateurs

Après la pondération des critères, nous nous intéressons aux effets des trois scénarios analysés sur ces critères. L'estimation de ceux-ci est qualitative, effectuée par les participant-e-s. Nous présentons tout d'abord dans le tableau ci-dessous la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation, mesure de dispersion relative, obtenus pour chaque indicateur dans

¹²⁴ « [...] même au niveau des forêts, de l'usage que font les gens, qui est un service gratuit [...] aujourd'hui on va courir, on va faire du vélo [...] C'est des petites considérations, mais qui sont à prendre en compte, donc c'est important comme évaluation. », FNE Normandie

¹²⁵ « L'attractivité, pour qu'une entreprise choisisse l'emplacement de son siège social, [...] le choix des sièges sociaux. », Rue de l'Avenir

¹²⁶ « [...] l'accès au centre pour les livraisons, avec l'évolution de comment se déplacent et consomment les gens, qui ont plus tendance à se faire livrer la moindre chose. [...] », DREAL

¹²⁷ « [...] il faut pas que penser les centres villes, il faut aussi penser les centre bourgs [...] », Rue de l'avenir

¹²⁸ « [...] j'ajouterais bien, [...] la place de la voirie accordée à l'automobile, pas uniquement sur le stationnement [...], la majorité de tout le bitume, même de tout l'espace en ville est dévolue à la voiture, et il y a un vrai enjeu là-dessus [...] », DREAL

chaque scénario. Puis, grâce à un passage à l'échelle, nous les présentons sous forme de radar. A partir de ces synthèses, nous commentons ces résultats grâce à des extraits d'entretiens. Nous nous attachons plus particulièrement à renseigner les estimations variant notablement selon le scénario et montrant un écart type faible, qui font donc consensus, et les estimations montrant une performance systématiquement négative ou systématiquement positive sur un indicateur quel que soit le scénario.

Tableau 91 : Estimations de l'effet des trois scénarios analysés sur les différents indicateurs

	Pollution de l'air	Pollution sonore	Emissions de CO2	Stabilité du budget de la Métropole dédié aux transports	Emplois dans le transport local	Sécurité des déplacements	Equité d'accès à la mobilité selon l'âge	Equité d'accès à la mobilité selon le revenu	Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
Sens souhaité	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »									
Moyenne	0,1367	105,1524	152,2857	-1,0000	-0,1429	0,4348	0,2045	-1,8043	0,2029
Ecart type	0,2033	155,3618	228,2081	1,0000	0,5732	1,4086	0,7222	1,0307	0,6008
C. de variation	1,4872	1,4775	1,4986	1,0000	4,0112	3,2397	3,5315	0,5712	2,9611
Scénario 2 : « Le taxi autonome »									
Moyenne	0,0605	65,6091	101,1364	-1,0000	-0,3333	0,6522	0,2841	-0,0870	0,2029
Ecart type	0,2644	208,4686	309,8774	1,1882	1,2780	1,1123	0,6999	0,9846	0,7768
C. de variation	4,3702	3,1774	3,0640	1,1882	3,8344	1,7055	2,4636	11,3172	3,8285
Scénario 3 : « Le véhicule autonome intégré au réseau de transports en commun »									
Moyenne	-0,0408	-19,0545	-31,0455	0,5789	0,1905	0,6522	0,3750	0,8913	0,8261
Ecart type	0,1402	139,5398	215,7687	1,4266	1,0779	1,0273	0,5275	0,8112	0,5012
C. de variation	3,4362	7,3232	6,9501	2,4643	5,6583	1,5751	1,4067	0,9101	0,6067

	Accès des personnes à mobilité réduite	Equité d'accès à la mobilité selon le genre	Congestion routière	Utilisation des transports en commun	Pratique du vélo	Pratique de la marche à pied	Réduction de l'espace de stationnement automobile	Densification des logements	Densification des emplois
Sens souhaité	+	+	-	+	+	+	-	+	+
Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »									
Moyenne	0,7391	-0,1818	1,6190	-0,4348	-0,3478	-0,2174	0,3636	-0,5476	-0,1905
Ecart type	0,9154	0,5885	2,4794	0,7878	0,6473	0,7952	0,9535	0,8201	0,5356
C. de variation	1,2385	3,2371	1,5314	1,8119	1,8611	3,6578	2,6224	1,4976	2,8115
Scénario 2 : « Le taxi autonome »									
Moyenne	0,8696	0,0455	1,1818	-0,3478	-0,2174	-0,1739	-0,5000	-0,3810	-0,0250
Ecart type	0,8689	0,7854	3,4176	1,2288	0,9023	1,0292	0,8591	0,9341	0,8347
C. de variation	0,9992	17,2615	2,8919	3,5331	4,1504	5,9183	1,7182	2,4517	33,3880
Scénario 3 : « Le véhicule autonome intégré au réseau de transports en commun »									
Moyenne	0,8261	0,0909	-0,3182	1,4783	-0,2391	0,0652	-0,9091	-0,6190	-0,3250
Ecart type	0,8869	0,6838	2,5891	0,6653	0,8774	0,8830	0,9211	0,9070	0,6340
C. de variation	1,0736	7,5226	8,1367	0,4500	3,6696	13,5429	1,0132	1,4653	1,9508

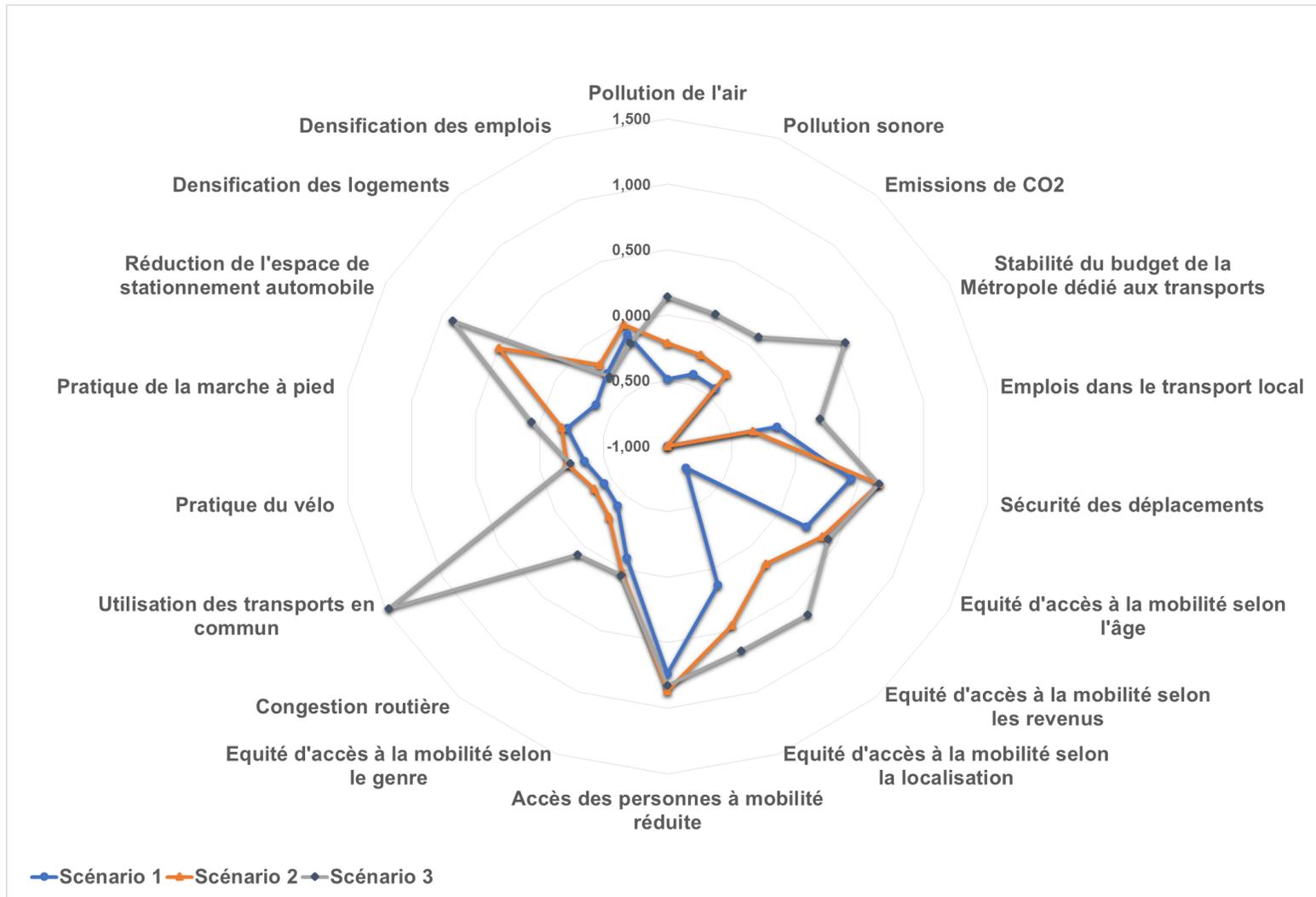
Pour faciliter la lecture des résultats et le repérage de motifs particuliers nous les présentons sous la forme d'un radar. Afin de pouvoir représenter l'ensemble des données sur une même figure, nous opérons un passage à l'échelle, qui permet de conserver la proportionnalité de la différence entre les performances des scénarios sur un indicateur, tout en n'écrasant pas visuellement les résultats sur les autres indicateurs. Pour cela, nous réalisons une mise à l'échelle sur l'intervalle [-2 ; 2], qui est l'intervalle d'expression majoritaire des indicateurs de notre cadre de mesure, selon la formule suivante :

Formule 13: *Formule de mise à l'échelle des estimations pour leur représentation sur un même graphique*

$$x = \frac{(max_{souhaité} - min_{souhaité})}{max_{variable} - min_{variable}} (valeur_{variable} - min_{variable}) + min_{souhaité}$$

De plus, toujours dans l'objectif d'une meilleure visualisation, lorsque c'est nécessaire, nous inversons le signe portant sur l'indicateur. Ainsi, une « contribution » positive à la durabilité au sens de ce dernier apparaît en positif sur le radar.

Figure 50 : Représentation en radar des performances des trois scénarios étudiés sur les indicateurs d'évaluation



Les estimations qualitatives obtenues montrent une différence notable et consensuelle de la performance des scénarios sur quatre indicateurs : la congestion routière, l'équité d'accès à la mobilité selon le revenu, l'équité d'accès à la mobilité selon la localisation et la fréquentation des transports en commun.

Ainsi, l'introduction du véhicule automatique personnel augmenterait la circulation automobile, et donc la congestion routière. L'automatisation est en effet perçue comme une facilitation des déplacements en voiture, dans un contexte où il s'agit du mode de transport dominant¹²⁹ (1). Le phénomène décrit correspond à un effet « rebond » de l'amélioration du confort de déplacement. A noter, les estimations des effets du premier scénario sont plus homogènes que celles des second et troisième scénarios. Les parties prenantes s'accordent donc globalement sur ses conséquences sur les différents indicateurs d'évaluation.

Ensuite, l'introduction du véhicule automatique au sein du réseau de transports en commun permettrait une meilleure équité d'accès à la mobilité selon le revenu (2) et selon la localisation (3), et engendrerait une meilleure fréquentation des transports en commun (4). Dans le cas de l'équité d'accès selon le revenu, la tarification proposée est le principal facteur d'explication mis en avant¹³⁰. Pour l'équité d'accès selon la localisation, au-delà de l'intérêt que peut comporter le scénario en question pour la desserte des zones extérieures au centre, les répondant-e-s notent que ce dernier est déjà largement desservi, et n'est donc pas susceptible de bénéficier notablement de ces nouveaux modes de transport¹³¹. Au contraire, son accès pourrait être rendu difficile par l'introduction de véhicules automatiques personnels ou de taxis automatiques du fait d'un encombrement accru¹³². Enfin, concernant la fréquentation des transports en commun, des « effets de rabattement » sont espérés, notamment de report modal depuis la voiture individuelle¹³³.

¹²⁹ « [Scénario 1] *Je pense que les gens qui n'aiment pas trop conduire en ville, ils seraient incités, donc ça peut peut-être faire plus de flux de voitures en urbain dense et très dense. [...]* », Commune de Darnétal / « [Scénario 1] *[...] si on ajoute ça et qu'on fait rien pour le report modal de la voiture, ça va sûrement rajouter de la congestion routière [...]* », AURBSE / « *Je mettrais +2 sur le scénario 1. Et j'aurais tendance à penser, peut-être de façon candide, que les autres c'est une offre alternative.* », CEREMA Normandie

¹³⁰ « *[...] les revenus faibles auront plus facilement accès aux transports collectifs, qui sont quand même nettement moins onéreux que le transport individuel.* », DREAL

¹³¹ « *Je mettrais 0 y a déjà une pour les trois scénarios pour l'urbain très dense, il y a déjà une facilité suffisante, une bonne desserte.* », DREAL / « *Alors dans les zones denses, je vois pas ce que ça apporte. Il y a d'autres choses disponibles, la marche, etc.* », Rue de l'Avenir / « *Pour l'urbain très dense, on a déjà une offre de transports en commun forte. Donc je ne sais pas où se situerait la complémentarité. L'urbain dense aussi.* », Commune d'Elbeuf / « *Les gens quand ils sont dans le centre de Rouen, ils vont continuer à utiliser les transports en commun ; le vélo, il se fait aussi en centre de Rouen, donc ça va pas influencer les choses, même chose pour la marche à pied.* », Solidarauto

¹³² « [Scénario 2] *Et du coup, sur l'urbain dense ou très dense, ça pourrait être négatif parce que du coup tu te mets dans les bouchons [...]* », CEREMA Normandie / « [Scénario 1] *En urbain dense, le scénario 1, peut-être -1, parce que si il y a plus de voitures, il y a plus de voitures.* », TCAR

¹³³ « *[...] à partir du moment où les gens sont pas obligés de prendre leur véhicule pour aller jusqu'à leur travail parce qu'on a pu mettre en place le rabattement [...]* et que ça se fasse dans des conditions que vous avez évoqué dans les hypothèses de votre scénario, je pense que ça peut avoir un effet non négligeable [...] », Move'o / « *Le*

Ensuite, des différences moyennes notables entre scénarios sont visibles, même si elles font l'objet d'un consensus moins important, s'agissant de : la réduction de l'espace de stationnement, la stabilité du budget de la Métropole, l'emploi dans le transport local et les indicateurs environnementaux de pollution de l'air, de pollution sonore et d'émissions de CO2.

S'agissant de l'évolution de la demande de stationnement et de l'espace dédié à celui-ci, les prédictions récoltées se différencient nettement selon le scénario. Dans le cas de la voiture automatique personnelle, un accès facilité au centre impliquerait une augmentation de la demande de stationnement et donc de l'espace dédié nécessaire¹³⁴. Pour le taxi autonome, la possibilité du report du stationnement en périphérie¹³⁵ et du partage des véhicules, au sens de covoiturage¹³⁶, sont les deux facteurs cités pour justifier de la diminution de l'espace de stationnement. Pour le troisième scénario, le plus favorable en moyenne à une diminution de l'espace de stationnement, ce sont les effets de rabattement, le report des habitants des zones périurbaines de la voiture individuelle vers les transports en commun pour leurs trajets vers le centre-ville, qui forment les principales explications¹³⁷.

Les personnes interviewées estiment une augmentation du budget de la Métropole dédié aux transports dans les deux premiers scénarios, mais une diminution dans le troisième. Cette dernière serait le résultat du remplacement des services de Transport à la Demande (TAD), particulièrement onéreux considérant le nombre de passagers transportés¹³⁸, et d'une

scénario 3, oui, oui, si il y a des bons effets de rabattement, les gens vont utiliser davantage les transports en commun [...] », Solidarauto

¹³⁴ [Scénario 1] « *Beh oui finalement il faut de la place pour garer les bagnoles autonomes, ça change pas grand-chose.* », Commune de Darnétal / « *Et pas d'incidence sur le scénario 1, étant donné que les véhicules sont personnels, qu'ils soient autonomes ou pas, il risque d'avoir la même utilisation, donc pas d'incidences particulières sur le stationnement.* », Commune de Rouen / « *Scénario 1, on peut imaginer que ça donne accès à d'autres personnes qui auraient pas le permis, donc potentiellement un peu plus de monde sur la route, en même temps c'est pas une volonté d'augmenter le nombre de places de stationnement en ville [...]* », Plateforme SVP / « *Alors là oui, si on ajoute un mode automobile, ça veut donc dire plus de places de stationnement, je mettrai +1, parce que je pense que quand même ça va rester modéré [...]* », Plein air, à pied, à vélo

¹³⁵ [Scénario 2] « *[...] comme le véhicule pourra se garer tout seul, on créera, on pourra créer d'énormes parking en périphérie, qui nous font de la place là où on en a besoin.* », DREAL

¹³⁶ « *Une baisse dans le scénario 2 et le scénario 3. Et encore, la question du partage, parce qu'on aura plus de chance, là, l'enjeu, il sera pas nécessairement sur l'autonomisation, mais sur le partage. Je pense qu'il y a deux phénomènes qui vont se conjuguer [...]* », ENGIE

¹³⁷ « *Clairement, scénario 3 : -2. Logiquement, c'est justement des périurbains qui vont se rabattre, le véhicule autonome va leur permettre, au lieu de réaliser le trajet entièrement en voiture jusqu'au centre urbain, justement, de se rabattre sur les lignes de transports en commun.* », AURBSE / « [Scénario 3] [...] s'il permet un rabattement vers les transports, et du coup moins de personnes qui iront de la périphérie au centre en voiture. » (DREAL) / « *Le scénario 3, oui, oui si il y a des bons effets de rabattement, les gens vont utiliser davantage les transports en commun donc ça peut réduire sensiblement le gens qui viennent en voiture.* », Solidarauto / « *On va mettre -1 sur le taxi autonome, parce que du fait du covoiturage on limite le nombre de voitures qui cherchent des places. [...]* Dans le scénario 1, il y aurait peut-être besoin de plus de places. Dans le scénario 3, on le réduit encore plus que dans le 2. », Renault

¹³⁸ « *D'un autre côté, il y a le transport à la demande qui je crois est très couteux donc je pense que ce système serait moins couteux que le transport à la demande [...]* », ANBDD / « *Du coup je dirais -1. Parce que sur les questions de transports collectifs, on gagnera en développement du service, par exemple par rapport au transport à la demande qui coute très cher, qu'au final on arrivera à développer des services pour moins cher que maintenant ou alors pour le même prix mais avec des meilleurs services.* », DREAL / « *Donc ça remplacerait le Filor, donc on peut imaginer que ça va réduire le budget.* », Renault

amélioration de la fréquentation des transports en commun, soit d'une rentabilisation du réseau¹³⁹. A noter toutefois une remarque formulée à deux reprises : le gain potentiel comparativement au TAD dépend de l'ampleur du service de rabattement automatique proposé, considérant en particulier son déploiement géographique et ses performances en matière de temps d'attente¹⁴⁰. Par ailleurs, la question du financement des infrastructures et de l'aménagement de la voirie traverse les réflexions dans le cas des trois scénarios¹⁴¹. De nouveau, le troisième scénario montre un avantage en la matière puisqu'il n'entraînerait pas la nécessité d'équiper l'ensemble du réseau routier de la Métropole¹⁴². Dans les autres cas, l'ampleur de l'effet financier apparaît comme un sujet d'inquiétude et interroge la répartition de ce financement entre acteurs, notamment publics. Nous reviendrons sur ce thème dans l'analyse du contenu qualitatif à venir, puisque celui-ci se trouve en dehors du cadre fixé par l'évaluation et constitue un sujet de prospective. De plus, les deux premiers scénarios auraient des désavantages supplémentaires en matière budgétaire. Le premier scénario induirait, du fait d'une augmentation des kilomètres parcourus, des dépenses d'entretien supplémentaires¹⁴³, et le second scénario une baisse du revenu des transports en commun et du stationnement¹⁴⁴. Plus généralement, dans le second scénario, la dépendance au mode de gestion est mise en avant¹⁴⁵. Nous préciserons les termes de ce débat dans la prochaine sous-partie.

¹³⁹ « On va dire qu'il va influencer en positif, parce qu'il va inciter les gens à prendre plus de transport, donc à rentabiliser le réseau. », Renault

¹⁴⁰ « Alors, pour les transports en commun, là ça dépend de l'importance qu'on leur donne, ça coûtera sûrement moins cher que Fillo'r. Si on en met partout, parce que dans vos prévisions, 5 minutes, etc. Ça veut dire qu'il y a pas mal de stations, puis il faut les acquérir, donc là aussi je dirais selon l'importance, les flottes prévues, l'ampleur. », Rue de l'Avenir / « [...] si on a un budget qui reste constant, le VA nous permettra de produire plus de kilomètres de service de transport [...]. A un moment donné, il y aura une limite. Admettons qu'on enlève le conducteur et que ça nous coûte trois fois moins cher de faire circuler un véhicule de TC, [...] si on veut faire des fréquences de X minutes, il faut rajouter des véhicules et du coup on se retrouve face à une limite économique. Il y aura de toute façon une limite que le VA ne nous permettra pas de dépasser. », MRN

¹⁴¹ « [...] sur les taxis autonomes, +1, parce que je pense qu'il y aurait encore besoin de développer un certain nombre de services et d'aménagements supplémentaires, emplacements, etc. », CEREMA Normandie

¹⁴² « Ouais parce qu'il y a quand même pas mal de choses à mettre en place, le véhicule autonome personnel ça doit être conséquent pour le coup, parce que là ça concerne tout le territoire, le taxi autonome aussi pour le coup parce qu'il se déplace partout, après c'est le scénario 3 pour le coup qui aurait moins de coûts. », Plateforme SVP / « Dans le cas du véhicule autonome et du taxi autonome, les infrastructures vont être implantées pareil pour les deux, et ça va coûter des sous je pense. », Plein Air, à pied, à vélo / « Alors, je dirais +2 pour les deux premiers scénarios, et +1 pour le troisième. Tout simplement parce que les transports en commun vont pas être sur toutes les voiries donc de fait, il y a moins d'infrastructures à modifier. Ça permettra d'équiper seulement certaines zones et de prioriser les secteurs, ce qu'on peut pas faire si on dit aux gens, 'Achetez votre voiture autonome, mais vous aurez le droit que de rouler dans quatre rues, c'est un peu compliqué.' », TCAR

¹⁴³ « [...] je vois vraiment l'utilisation du véhicule autonome personnel comme une explosion des kilomètres faits en voiture, donc forcément adapter les infrastructures pour, les entretenir davantage. », DREAL

¹⁴⁴ « Le 2, du coup, si tu mets les redevances de parking dans ton budget, forcément le scénario 2 va diminuer le budget. Mais quels pourraient être les gains ? Oui, ça diminuerait les recettes puisque tu mets moins de monde dans les transports en commun [...]. Parce que la Métropole va payer le même prix pour faire rouler son service, elle aura juste moins de clients, qui vont monter dans une voiture, qui en plus va prendre une place de parking au lieu de quatre. », Renault

¹⁴⁵ « Le scénario 2, ça dépend si c'est public ou privé, si c'est privé c'est 0, si c'est public, je mettrais +1. [...] », AURBSE / « Alors le taxi autonome, on a déjà ce qu'on appelle des lignes taxi, t53, etc. C'est des artisans taxis qui sont rémunérés par la Métropole et on valide comme dans un bus, donc le taxi autonome, ça dépend de sa

Concernant le nombre d'emplois dans le transport local, le troisième scénario apparaît comme le plus favorable. En effet, d'après les répondant-e-s, aucun recul quantitatif de l'emploi n'est susceptible de se produire, car les emplois ayant trait à ce nouveau service seraient largement minoritaires à l'échelle du réseau¹⁴⁶. De plus, des dispositifs de reconversion sont susceptibles d'être mis en place¹⁴⁷ et de nouveaux emplois de surveillance et de contrôle créés¹⁴⁸. La question principale se reporte dès lors sur le niveau de qualification plutôt que sur le nombre d'emplois. Notons que cette estimation est discutée, le coefficient de variation associé étant élevé. Néanmoins, les personnes interrogées représentantes de l'opérateur de transports publics TCAR, concerné au premier chef, pronostiquent une augmentation du nombre d'emplois. Une baisse est davantage pressentie dans le deuxième scénario, entraînée par la disparition des conducteurs de taxi, malgré une création de nouveaux emplois dédiés à l'opération et l'entretien¹⁴⁹. Dans ce scénario, le nombre total de véhicules, leur niveau d'utilisation et la complexité des nouvelles tâches d'opération sont déterminants pour estimer le nombre d'emplois global. Plus généralement, la majorité des commentaires tenus se placent dans une logique de « destruction créatrice », où la disparition d'emplois n'est pas source d'inquiétude¹⁵⁰.

Enfin, nous notons que seul le troisième scénario est favorable en matière environnementale, considérant les critères retenus dans l'évaluation que sont la pollution de l'air, la pollution sonore et les émissions de CO₂. Ces derniers sont dépendants de l'évolution de la circulation automobile dans les différentes zones de la Métropole. En effet, dans le troisième scénario, une diminution de la circulation automobile moyenne est anticipée en zone très dense et périurbaine. Elle serait le résultat des effets de rabattement précédemment évoqués d'un côté et du désengorgement du centre de l'autre, indifféremment point de départ

gestion, est-ce que ce sera une DSP ? Est-ce que ce sera en régie, etc. ? Donc là l'effet sur les finances de la Métropole, ça dépend du mode de gestion. Là je peux pas répondre. », Rue de l'Avenir

¹⁴⁶ « Et là, pour le véhicule sur les transports en commun, il y aura une baisse aussi mais je pense pas très importante du coup, étant donné que c'est pas ces véhicules-là qui vont représenter la majorité des véhicules de transport publics [...] », DREAL / « [Scénario 3] [...] il y a plus de conducteurs, mais il y a des régulateurs, je vois au PCC des gens derrière un ordinateur, qui voient ce qui se passe quand même dans les véhicules, etc.[...] Donc là c'est difficile d'évaluer, est-ce que met autant de véhicules autonomes que de véhicules Fillor, est-ce qu'on en met plus, est-ce qu'on en met moins ? Là aussi c'est selon le service proposé. Mais de toute façon il faudra des régulateurs, faudra des gars qui surveillent, donc ça peut être un changement de métier, passer de conducteur à régulateur. Donc c'est difficile à dire. », Rue de l'Avenir / « [...] Scénario 3, je dirais quand même +1, parce que c'est d'autres métiers qui se créent, d'autre technos. », TCAR

¹⁴⁷ « Le transport en commun, y aura possibilité de reconversion du personnel actuel affecté aux transports en commun, donc ça va pas non plus casser tous les emplois actuels. », Solidarauto

¹⁴⁸ « [Scénario 3] il y aurait une augmentation de l'emploi car il y aurait des emplois de gestion de flotte, d'entretien, pas de conduite certes, mais d'autres emplois. », DDTM

¹⁴⁹ « Le taxi autonome je dirais qu'il peut y avoir une perte d'emplois, du coup on a plus de chauffeurs de taxi, après c'est vrai qu'il va falloir entretenir la flotte et tout ça, donc ça va créer des emplois, donc -1. », ANBDD

¹⁵⁰ « On va être dans un processus de destruction créatrice. », ADEME

« Non, ça se déplace. Il y aura peut-être un problème de qualifications, mais il y aura pas un problème de suppression. On aura besoin d'autant de monde, mais peut être plus qualifié. Nous on l'a vécu dans l'énergie avec l'arrêt des relevés de compteurs. Un métier qui ne demande pas forcément beaucoup de qualifications. Maintenant que c'est la relève à distance, on a besoin d'ingénieurs qui traitent de la data, et c'est pas les mêmes personnes. Donc, le fossé il se fait là, il se fait pas sur le nombre, je pense qu'il se fera sur la qualification. », ENGIE

et d'arrivée des déplacements auxquels ce mode s'adresse¹⁵¹. Notons que ces estimations d'évolution de la circulation automobile sont discutées, particulièrement dans le cas des zones périurbaines. De nouveau, la typologie des parties prenantes établie ne correspond pas à la structure des réponses données de manière significative, seule une tendance des décideurs publics (71%) à estimer l'absence d'effet de rabattement est repérable. A contrario, une augmentation de la circulation automobile est prédite dans les deux autres scénarios. Elle n'est cependant pas de même ampleur ni de même nature. Dans le cas des véhicules automatiques personnels, une augmentation de la circulation en zones urbaines très denses et denses est pronostiquée du fait d'une diminution des contraintes propres à la conduite dans ces espaces. Pour le deuxième scénario, l'augmentation du trafic prévue est d'une part moins importante, d'autre part davantage localisée en périphérie, où les kilomètres parcourus supplémentaires sont considérés comme moins générateurs de nuisances¹⁵².

Tableau 92 : Evolution de la circulation moyenne estimée (sur une échelle de -2 à +2)

	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Périurbain
Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »	0,57	0,57	0,29	0,19
Scénario 2 : « Le taxi autonome »	0,23	0,14	0,41	0,41
Scénario 3 : « Le véhicule autonome intégré au réseau de transports en commun »	-0,23	0,00	0,09	-0,18

Nous présentons finalement les discussions sur les critères sur lesquels l'ensemble des scénarios montrent une contribution moyenne négative d'une part, et positive, d'autre part. Dans le premier cas, il s'agit de la sécurité des déplacements et de l'équité d'accès à la

¹⁵¹ « [...] en zone périphérique je mettais bien un moins parce que si il y a ces transports autonomes en transport en commun, beh il va y avoir moins d'utilisation de la voiture individuelle. », Solidarauto / « [...] et pour les zones périurbaines, véhicules autonomes pour les transports en commun, zones périurbaines, ça peut permettre à des personnes le rabattement sur des lignes de transports en commun, donc je mettrais -1. », AURBSE / « Scénario 3, je pense que oui, forcément, il va y avoir moins de circulation, plutôt dans les zones périurbaines. », ANBDD / « [...] il y aurait davantage d'utilisation de ces navettes là un peu collectivement, donc ça fait une baisse quand même d'utilisation globale, parce que derrière aussi il y a une utilisation renforcée des modes de transports en commun plus lourds par la même occasion. », DREAL

¹⁵² « Ouais, parce que c'est donc une alternative soit à ton véhicule, soit à du transport en commun, donc tu vas pouvoir l'utiliser là où par exemple il y a pas de transports en commun, donc je dirais que ça augmenterait dans les zones périurbaines et urbaines, parce qu'on prend le prérequis que dans ces zones là il y a moins de transports en commun. », Renault / « Scénario 2, ce serait pas mal pour l'urbain et le périurbain, donc une légère, +1 », Commune de Darnétal

mobilité selon l'âge et dans le second de la pratique du vélo et de la densification des logements.

Les réponses récoltées pronostiquent l'amélioration de la sécurité des déplacements du fait de l'élimination des erreurs et comportements de conduite problématiques¹⁵³. Une amélioration tout de même parfois désignée comme assujettie à la généralisation et la fiabilisation de la technologique d'automatisation¹⁵⁴.

Dans le cas de l'équité d'accès à la mobilité selon l'âge, deux groupes sont principalement évoqués. D'un côté, les 5-17 ans, dont la mobilité serait facilitée par les deuxième et troisième scénarios¹⁵⁵, en évitant notamment un accompagnement systématique des « parents »¹⁵⁶. De l'autre, les 65 ans et plus sont majoritairement vus comme des utilisateurs de voitures automatiques personnelles, plus rarement de taxis¹⁵⁷. Ces nouveaux

¹⁵³ « Pour le véhicule autonome personnel, je mets +1, il y aura peut-être moins de dingues », Plein Air, à pied, à vélo / « Je pense qu'effectivement on va apporter des choses très positives. Le risque va être amoindri [en matière de sécurité routière] », CEREMA Normandie / « [...] ils sont au point techniquement donc au moins eux ils respectent le code de la route. », Renault / « Sinon je ferais le parallèle au niveau de la sécurité, où je pense que le véhicule autonome a le plus d'intérêt, entre l'autoroute et la départementale pour la différence en termes de niveau de sécurité, je pense que l'on est dans quelque chose du même ordre entre le véhicule autonome et le véhicule traditionnel. », ADEME / « Pour moi qui m'intéresse particulièrement à la sécurité routière, c'est vraiment un plus, parce que lui au moins il boit pas, il est pas sujet à la fatigue, il respecte les distances, vitesses, etc. donc quelque part c'est le conducteur idéal [...] le véhicule autonome, si il est bien programmé, s'il prend bien en compte toutes les contraintes pour la vie en société, c'est formidable, comme je disais c'est le conducteur idéal, donc là sans souci. Je signe. », Rue de l'Avenir / « Si on est dans l'hypothèse où les véhicules sont fiables, etc., c'est des +2 pour le scénario 1, parce que c'est plus sûr, et c'est pareil pour le taxi autonome et c'est pareil pour le scénario 3 quoi. », Move'o / « Je pense, toujours dans le cadre où la réglementation est bien cadrée, la technologie est suffisamment mûre, je pense qu'on a une augmentation de la sécurité, ouais je mettrais +1 pour les trois scénarios. », DREAL

¹⁵⁴ « Ça va drastiquement augmenter la sécurité des déplacements, pourvu que le logiciel fonctionne. », Renault / « Sans non plus surestimer, parce que c'est beaucoup lié à son environnement aussi, et ça l'environnement elle le maîtrise pas. », TCAR / « Moi je pense pas que ça va sécuriser, ça va dépendre vraiment du développement de la fiabilité de ces projets hors zones urbaines, tel qu'aujourd'hui, parce que si on met le concept, moi je vous l'ai dit, on est très inquiet par rapport aux algorithmes qu'il faut développer, c'est insoluble, donc c'est difficile. Sur tous les scénarios. », FNE Normandie / « Sur la sécurité, je pense qu'on aura un effet que s'il y a généralisation. », DDTM

¹⁵⁵ « [...] mais je pense que oui, pour les gens qui sont pas motorisés la solution là, de navettes, de rabattement, ça peut effectivement simplifier la mobilité des jeunes. », Commune de Rouen / « le taxi autonome ou intégré au réseau de transports en commun je pense que chez les jeunes c'est quelque chose qui permettrait de mieux, de faciliter leurs déplacements. », Commune d'Elbeuf

¹⁵⁶ « [Scénario 3] Oui, Fillo'r, il y a pas mal de lycéens et de collégiens dedans. Souvent c'est les parents, ça les soulage, plutôt que de les déposer. », Rue de l'Avenir / « [Scénario 3] [5-17 ans] Oui, le petit bout qui manque qui fait qu'on n'ose pas les laisser faire seuls. », TCAR / « [Scénario 2] [5-17 ans] Ça pourrait permettre de faire certains déplacements. Parce que ceux-là, ils sont très dépendants des parents et notamment dans les territoires périurbains. », CEREMA Normandie

¹⁵⁷ « pour les âgés, pour les séniors, pour les plus de 65 [...], ça va améliorer, c'est bien, je trouve ça très très bien [...] », Commune de Darnétal / « [...] le taxi autonome par contre, en plus je le vois bien pour des personnes âgées dont je vous ai parlé tout à l'heure, ça pourrait être vraiment une belle solution [...] », Plateforme SVP / « les personnes âgées, là où on retrouve le plus de profil de personnes immobiles, [...], ça peut permettre justement de se déplacer, [...], c'est apporter une solution à des personnes qui n'ont pas de permis de conduire ou qui justement ne sont plus en âge de conduire [...] », AURBSE / « Ça va permettre aussi à certains usagers [...] qui ne sont plus en état de conduire [...], donc lutter contre la sédentarité [...] », CEREMA Normandie / « la voiture autonome, [...], pourrait représenter une solution, une solution de mobilité lorsque l'on devient trop âgé pour conduire [...] », Renault / « Faire le deuil de son permis de conduire quand on a un certain âge c'est très, c'est douloureux, le véhicule autonome peut soulager cette douleur, en disant non, je resterai mobile comme je veux car j'aurai pas besoin de conduire, c'est un avantage. Le véhicule autonome je le vois vraiment pour les séniors. », Rue de l'Avenir / « Donc également pour les personnes âgées pareil, ça du coup c'est de la mobilité redonnée dans de bonnes conditions à ces publics-là », Move'o / « [Scénario 2] Moi j'aurais pensé [...] aux personnes plus âgées qui ont des problèmes d'agilité et/ou de vue parfois c'est plus compliqué de prendre le volant. », Commune d'Elbeuf / « Sinon, si y a peut-

modes apparaissent comme un moyen de limiter l'immobilité subie, la sédentarité, dans un contexte de vieillissement de la population¹⁵⁸.

Du côté des effets systématiquement négatifs, nous notons la tendance de l'ensemble des scénarios à engendrer une périurbanisation de la localisation des habitants. Cela s'explique par certaines caractéristiques de ces nouveaux modes de transport¹⁵⁹ : confort pour le premier scénario¹⁶⁰, disponibilité pour le second, et desserte pour le troisième¹⁶¹. Ce phénomène de périurbanisation n'est toutefois pas systématiquement considéré comme négatif. En effet, une répartition « équilibrée » de la population sur le territoire¹⁶² et la contribution de ces nouveaux modes à réaliser les aspirations périurbaines¹⁶³ des individus tendent à être valorisées. Ces dernières sont entre autres liées à l'accès à des prix de l'immobilier inférieurs par rapport aux zones centrales. Finalement, l'effet de ces nouveaux modes en matière de localisation est relativisé par rapport à l'importance des facteurs de prix¹⁶⁴ et de réglementation des implantations¹⁶⁵.

Enfin, les différents scénarios sont en moyenne jugés comme défavorables à la pratique du vélo. Dans le cas des premier et second scénarios, c'est pourtant l'indépendance de cet usage par rapport aux nouveaux modes introduits qui est mis en avant. Le groupe cycliste actuel, encore réduit sur le territoire d'étude, est perçu comme engagé, peu susceptible de modifier son choix modal¹⁶⁶. Dans le troisième scénario, la possible substitution

être une utilisation intéressante, c'est pour les personnes âgées qui ont du mal à conduire, qui sont éloignées des transports en commun, là effectivement pourquoi pas [...] », Sabine

¹⁵⁸ « *On est sur une population vieillissante.* », TCAR

¹⁵⁹ « [...] *quel que soit le scénario [...] les gens auront plus facilement accès aux emplois, à tout le reste, même si les temps de trajet sont longs, ils pourront faire autre chose pendant qu'ils sont dans les transports donc voilà. [...] En facilitant l'accès à la périphérie, du coup, on baisse l'intérêt de l'urbain très dense.* », DREAL / « [...] *ça va développer une urbanisation éloignée des centres villes.* » ? Plein Air, à pied, à vélo

¹⁶⁰ « [Scénario 1] *Pour moi, ça met un plus à l'urbain et au périurbain, ça fait un confort.* », Commune de Darnétal / « *Sur le scénario 1, [...], ça renforcerait le côté périurbain.* », TCAR / « *Sur le scénario 1, je dirais que ça renforcerait le côté périurbain.* », TCAR

¹⁶¹ « [Scénario 3] *De la même façon [que dans le scénario 2], ça permet d'accéder à du transport ou y en avait pas, du coup tu peux dire, je vais habiter dans ce trou perdu, parce que j'ai une solution de rabattement sur un transport.* », Renault

¹⁶² « [...] *je nourris l'espoir, à condition de penser interurbain encore une fois, que ça puisse permettre de développer l'attractivité de l'urbain ou du périurbain, mais surtout [...] de cet équilibre de peuplement sur l'agglomération, sur la Métropole, c'est plus globalement l'équilibre de peuplement.* », Commune d'Elbeuf

¹⁶³ « *Véhicule autonome personnel, je pense que ça va plaire à des familles, donc forcément, notamment à des actifs, si tout est automatisé, la personne peut consulter ses mails, travailler en même temps, donc je mettrais +1.* », AURBSE / « [...] *Les gens n'ont pas besoin de ça pour apprécier le périurbain.* », DDTM

¹⁶⁴ « *Moi je pense que ça a peu d'impacts, dans le sens ou ce qui fait notamment la partie localisation, c'est le prix du m². Le prix de la mobilité, ça joue, mais qu'on y aille en véhicule autonome ou qu'on y aille j'allais dire en véhicule thermique, ce qui fait la différence c'est le prix ou vous achetez pour le même temps que vous allez mettre. Là-dessus, pour moi ce serait vraiment à la marge.* », Move'o

¹⁶⁵ « [...] *là aussi ça dépend des PLUi, est ce qu'on va continuer à autoriser l'implantation de lotissements dans des coins désertiques, impossibles à desservir en transports en commun. Jusqu'à présent les maires avaient toute liberté pour faire des lotissements là où ils veulent, maintenant avec l'intercommunalité, ça sera plus difficile, sauf que toujours, politiquement, c'est donnant-donnant [...]* », Rue de l'Avenir

¹⁶⁶ « *La pratique du vélo, non ça va pas influencer, c'est d'autres politiques qui influenceront.* », Solidarauto / « [...] *je pense pas qu'on prenne sa voiture, si on la prenait pas avant, si on était en vélo, je pense pas qu'on la prendra sous prétexte qu'elle est autonome, parce que c'est quand même une grosse artillerie.* », Renault / « [...] *les cyclistes ont une mentalité très particulière [...] les malades du vélo resteront sur leur vélo. [...] l'esprit cycliste ne*

à un mode actif pour la réalisation du premier ou dernier kilomètre pour l'accès aux transports en commun est évoquée¹⁶⁷, hypothèse qui rejoint la question de l'intermodalité, et notamment les réflexions autour du transport des vélos dans les véhicules de transports collectifs¹⁶⁸.

L'analyse descriptive de l'estimation des effets par les personnes interrogées permet de repérer les principales différences et similitudes de performances entre scénarios. Ainsi, nous avons pu préciser les contributions positives spécifiques au troisième scénario : équité d'accès selon la localisation et selon le revenu, utilisation des transports en commun, stabilité du budget de la Métropole ou encore réduction des nuisances environnementales. Celui-ci apparaît donc *a priori* comme le plus intéressant en matière de durabilité, même si, comme les autres scénarios, il apparaît défavorable à la pratique du vélo et à la densification des logements. Les risques entourant le premier scénario ont également pu être renseignés s'agissant de l'augmentation de la circulation et de ses incidences en matière environnementale. Finalement, l'ensemble des scénarios montre une contribution positive en matière de sécurité routière et d'équité d'accès à la mobilité selon l'âge. Sur ce second point, les mécanismes se différencient toutefois entre le premier scénario d'un côté et les deuxième et troisième scénarios de l'autre. En effet, alors que la voiture automatique personnelle bénéficierait particulièrement aux plus de 65 ans, le taxi et le système de rabattement automatique avantageraient également les plus jeunes (5-17 ans) en favorisant leur autonomie.

Nous constatons des similitudes entre nos résultats et les évaluations multicritères qualitatives déjà réalisées sur le sujet du véhicule automatique, qui portaient, rappelons-le, uniquement sur les scénarios d'introduction de véhicules automatiques privés et de taxis automatiques (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Ainsi, comme dans les deux études précédentes, une diminution de l'utilisation des modes actifs et une amélioration de l'accessibilité spatiale dans les deux scénarios sont pressenties. Nous rejoignons également les conclusions de Rämä et al. (2018) sur la diminution de la demande de stationnement dans le cas du taxi automatique, et celles de Sessa et al. (2016) concernant les émissions de CO₂ :

sera pas modifié. », Rue de l'Avenir / « *Utilisation du vélo, c'est pas les mêmes genres de gens, 0 je mettrais.* », Commune de Darnétal

¹⁶⁷ « *Là, parce que derrière, une des utilisations possibles du vélo, c'est aussi d'aller chercher des transports collectifs pour le rabattement, donc là forcément s'ils sont faits en véhicule autonome, ils sont plus fait en vélo.* » (DREAL) / « *Le scénario 3 ca va peut-être changer un peu la pratique du vélo, dans le sens où avant les gens prenaient leur vélo, mais pour aller jusqu'à la ligne de transports en commun, peut-être un peu moins de vélo.* », Renault

¹⁶⁸ « [...] *une diminution, pareil, pour le scénario 3. [...] Parce que ça correspond à des trajets qui pourraient être pratiqués par un vélo. Ce qui pourrait peut-être bien c'est de pouvoir encourager de prendre son vélo à l'intérieur des transports en commun. Ce qui est pas le cas actuellement au niveau des bus.* », Plateforme SVP / « [...] *effectivement, il y a un sujet pour les vélos qui pourrait être, qui est souvent négligé, c'est justement dans le scénario de rabattement, la multimodalité, c'est le transport du vélo, donc la possibilité de monter facilement un vélo sur ce genre de véhicule.* », Commune de Rouen / « *Pour le vélo, le déploiement est faible, mais dans un véhicule autonome, on ne met pas un vélo, au niveau de l'intermodalité y a rien.* », Commune d'Elbeuf

une augmentation dans le cas du véhicule automatique personnel et une diminution dans le cas du taxi automatique. Les résultats de ces études diffèrent sur le thème de la sécurité, alors que Rămă et al. (2018) prévoient une amélioration dans les deux scénarios, comme c'est notre cas, Sessa et al. (2016) envisagent une diminution dans le cas du véhicule automatique personnel et une augmentation dans le cas du taxi automatique. Nos études divergent sur un point : l'utilisation des transports en commun. Alors que nous prévoyons leur baisse dans les deux scénarios, les études estiment une diminution dans les cas du véhicule automatique personnel et une augmentation dans celui du taxi automatique.

L'analyse multicritères va à présent nous permettre d'analyser de manière systématique l'ensemble des performances relatives des scénarios sur les différents critères afin de les classer selon leur contribution potentielle à l'atteinte d'un système de transport plus durable dans la Métropole de Rouen. Une analyse de sensibilité selon la pondération des différents critères nous permettra de questionner celui-ci.

Analyse multicritères

A l'étape de définition du cadre de mesure, nous avons désigné, à l'aide des outils proposés au chapitre précédent, la méthode d'analyse multicritère « PROMETHEE II » comme la plus appropriée à notre cas d'étude. Nous décrivons celle-ci, avant de la mettre en application.

Présentation de la méthode PROMETHEE II

Les méthodes PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*) I et II sont des outils d'analyse multicritères reposant sur une comparaison deux à deux des alternatives évaluées sur chaque critère, en vue d'obtenir un classement de celles-ci. Elles font partie des méthodes dites « de surclassement ». Contrairement à PROMETHEE I, PROMETHEE II suppose l'absence d'incomparabilités et produit donc un classement complet des alternatives (Frikha et al., 2008).

Afin de décrire les principales étapes de la méthode PROMETHEE II, rappelons les termes d'un problème multicritères. Ce dernier contient une série d'alternatives $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ et un ensemble de critères $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_k(\cdot), \dots, g_m(\cdot)\}$, sur lesquels les alternatives sont évaluées. L'évaluation de l'alternative i sur le critère k est notée $g_k(a_i)$. Il peut être appréhendé selon la matrice suivante (Brans et De Smet, 2016) :

Figure 51 : Matrice d'évaluation

a	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$	...	$g_m(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_k(a_1)$	...	$g_m(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_k(a_2)$	...	$g_m(a_2)$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_k(a_i)$	...	$g_m(a_i)$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_k(a_n)$	...	$g_m(a_n)$

PROMETHEE II se base sur la comparaison de ces évaluations deux à deux sur chaque critère pour établir un classement des alternatives.

Comme nous l'avons précisé précédemment, la méthode PROMETHEE nécessite une pondération des critères et utilise des poids normalisés.

- 1- La première étape de la méthode PROMETHEE II consiste à normaliser la matrice d'évaluation. La formule de normalisation utilisée dépend de l'objectif associé au critère : sa maximisation ou sa minimisation.

On note R_{ik} la valeur de g_k sur l'alternative i dans la matrice normalisée.

Si le critère g_k est à maximiser, alors :

$$R_{ik} = \frac{[g_k(a_i) - \min_j [g_k(a_j)]]}{[\max_j [g_k(a_j)] - \min_j [g_k(a_j)]]}, j = 1, \dots, n$$

Si le critère g_k est à minimiser, alors :

$$R_{ik} = \frac{[\max_j [g_k(a_j)] - g_k(a_i)]}{[\max_j [g_k(a_j)] - \min_j [g_k(a_j)]]}, j = 1, \dots, n$$

- 2- Ensuite, l'ensemble des différences d'« évaluation » entre les n alternatives sont calculées, telles que, étant données deux alternatives a_i et a_j :

$$d_{ij}^k = R_{ik} - R_{jk}$$

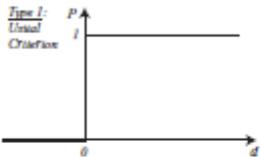
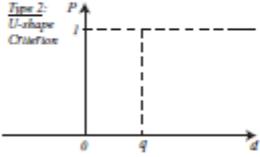
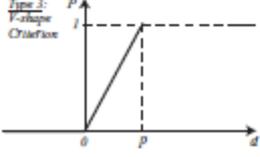
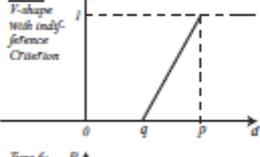
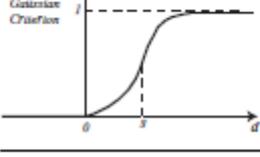
- 3- Ce résultat est ensuite transformé selon une fonction de préférence $P^k(d)$ qui permet d'attribuer une valeur de préférence P_{ij}^k à un scénario (i) sur un autre (j), en fonction de la valeur de d_{ij}^k et de sa position par rapport à des seuils. On a, de manière générique :

$$P_{ij}^k = P^k(d_{ij}^k)$$

$$\text{où } P^k(d) = \begin{cases} 0 & \text{si } d \leq q_k \\ f^k(d) & \text{si } d > q_k, \text{ où } 0 < f^k(d) \leq 1 \end{cases}$$

La forme $f^k(d)$ de la fonction de préférence, ainsi que les seuils correspondants, dépendent du type de critères. Le type de critère se rapporte à la manière dont la différence entre deux alternatives est appréciée par les parties prenantes (tabl. 93). P_{ij}^k prend une valeur entre 0 et 1, 1 correspondant à une préférence stricte. Six types de fonctions de préférence sont classiquement différenciées, dans l'ordre d'apparition dans la figure ci-dessous : usuelle, quasi-critère, pré-critère, pseudo-critère en escalier, pseudo-critère à préférence linéaire et gaussienne (Frikha et al., 2008 ; Brans et De Smet, 2016).

Tableau 93 : Caractérisation des six principales formes de fonctions de préférence (Brans et De Smet, 2016).

Generalized criterion	Definition	Parameters to fix
<p>Type 1: Usual Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-
<p>Type 2: U-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
<p>Type 3: V-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
<p>Type 4: Level Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p>Type 5: V-shape with indif- ference Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p>Type 6: Gaussian Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

**

Selon le type de fonction de préférence, la fixation de seuils d'indifférence et de préférence, respectivement désignés par les lettres q et p dans la figure ci-dessus, peut être nécessaire. Le seuil d'indifférence correspond à la déviation maximale entre deux alternatives considérée comme négligeable par les parties prenantes. Le seuil de préférence correspond quant à lui à la déviation la plus petite considérée par les parties prenantes comme suffisante pour conclure à une préférence stricte.

4- Ensuite, un indice de préférence agrégée est calculé pour chaque paire d'alternatives, en considérant l'ensemble des pondérations des critères $\{w_k, k = 1, 2, \dots, m\}$. Soient deux alternatives a_i et a_j , on a :

$$\begin{cases} C_{(a_i, a_j)} = \sum_{k=1}^m w_k P_{ij}^k \\ C_{(a_j, a_i)} = \sum_{k=1}^m w_k P_{ji}^k \end{cases}$$

$C_{(a_i, a_j)}$ exprime le degré auquel a_i est préféré à a_j considérant l'ensemble des critères.

$C_{(a_j, a_i)}$ le degré auquel a_j est préféré à a_i .

5- A partir de cet indice, les flux dits sortants, entrants et nets sont calculés pour chaque alternative. Ainsi :

Les « flux sortants » de a_i représentent la dominance de a_i sur les autres alternatives :

$$\phi^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n C_{(a_i, a_j)}$$

Les « flux entrants » vers a_i représentent la dominance des autres alternatives sur a_i :

$$\phi^-(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n C_{(a_j, a_i)}$$

Finalement, les « flux nets » de a_i , correspondant au bilan des flux entrants et sortants, s'expriment ainsi :

$$\phi(a_i) = \phi^+(a_i) - \phi^-(a_i)$$

Le classement des alternatives est déduit des flux nets sur chaque alternative. Plus $\phi(a_i)$ est élevé, plus l'alternative se trouve dans le haut du classement.

Application de la méthode PROMETHEE II

Afin de mettre en œuvre la méthode PROMETHEE II, deux options principales sont à notre disposition : le package « PROMETHEE » du logiciel libre R, et le logiciel « VISUAL PROMETHEE », dont l'utilisation à des fins de recherche est gratuite (Resce et al., 2018 ; [Site de téléchargement de VISUAL PROMETHEE](#)). Nous optons pour la seconde, qui propose des fonctions de visualisation plus développées et une interface ergonomique.

Image 2 : Extrait de l'interface du logiciel VISUAL PROMETHEE dans le cas du critère de pollution de l'air

	<input checked="" type="checkbox"/>
MRN Véhicules auto...	1
Unité	unit
Cluster/Groupe	◇
Préférences	
Min/Max	min
Poids	0,07
Fn. de préférence	Linéaire
Seuils	absolu
- Q: Indifférence	1,000
- P: Préférence	0,040
- S: Gaussien	n/d
Statistiques	
Minimum	-0,040
Maximum	0,137
Moyenne	0,052
Ecart-type	0,072
Evaluations	
Scénario 1	0,137
Scénario 2	0,060
Scénario 3	-0,040

Comme cela apparaît sur la capture d'écran ci-dessus, les informations suivantes doivent être renseignées pour chaque critère :

- unité de mesure : numérique ou qualitative
- nombre de décimales utilisées

- s'il existe, le groupe d'appartenance du critère
- l'objectif associé au critère, s'il doit être maximisé ou minimisé : « Min/Max »
- le type de fonction de préférence¹⁶⁹
- si nécessaire, les seuils d'indifférence et de préférence

Ensuite, à la rubrique « Evaluations », la valeur de chaque critère pour chaque alternative doit être informée. Les statistiques suivantes sont automatiquement générées :

- minimum
- maximum
- moyenne
- écart-type

Dans notre travail, l'ensemble des critères s'exprime numériquement. Par défaut, trois décimales sont utilisées. Les groupes d'appartenance des critères utilisés sont ceux du support de consultation : « Environnement », « Economie », « Social », « Mobilité » et « Organisation spatiale ». Chaque groupe est associé à une couleur pour les représentations graphiques à venir. Par exemple, comme on le voit sur la capture d'écran le groupe « Environnement » est associé à la couleur vert (img. 2). Nous supposons que la forme de la fonction de préférence des parties prenantes est de type « pré-critère » ou « forme en V » pour l'ensemble des critères. Ainsi, nous considérons que la différence entre deux alternatives est valorisée dès la plus petite déviation, de manière linéaire.

Nous obtenons le tableau de flux suivant :

Tableau 94 : Tableau des flux issu de l'analyse multicritères PROMETHEE II des trois scénarios étudiés

	ϕ^+	ϕ^-	ϕ
Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »	0,0286	0,6372	-0,6086
Scénario 2 : « Le taxi autonome »	0,3202	0,2507	0,0695
Scénario 3 : « Le véhicules autonome intégré au réseau de transports en commun »	0,6232	0,0840	0,5392

¹⁶⁹ Un module d'aide à sa détermination, nommé « *Preference Function Assistant* », est inclus dans le logiciel.

Ainsi, le classement des trois scénarios selon l'application de l'analyse PROMETHEE II aux données récoltées dans notre cas d'étude est le suivant :

Tableau 95 : Classement des trois scénarios selon l'analyse multicritères PROMETHEE II

Classement	Scénario
1	Scénario 3 : « Le véhicules autonome intégré au réseau de transports en commun »
2	Scénario 2 : « Le taxi autonome »
3	Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »

Afin de juger de la stabilité de ce classement, nous mobilisons le module « Intervalles de stabilité » du logiciel VISUAL PROMETHEE. Ce dernier permet d'étudier les variations de pondération susceptibles de faire varier le classement établi. Nous obtenons les résultats suivants :

- si le poids du critère « Nombre d'emplois dans le transport local » est supérieur à 57% du total des poids, alors les seconde et troisième place du classement sont inversées. Le classement est donc :

- 1 - Scénario 3 : « Le véhicules autonome intégré au réseau de transports en commun »
- 2 – Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »
- 3 - Scénario 2 : « Le taxi autonome »

L'effet sur le nombre d'emplois est en effet moindre dans le cas du véhicule automatique personnel que dans le cas du taxi automatique. D'après les estimations des personnes interrogées, l'introduction de ce dernier est en effet susceptible de menacer les emplois actuels de conducteurs de taxis.

- si le poids du critère d' « Accès à la mobilité des PMR » est supérieur à 51%, la première et seconde place du classement sont inversées :

- 1 - Scénario 2 : « Le taxi autonome »
- 2 - Scénario 3 : « Le véhicules autonome intégré au réseau de transports en commun »
- 3 – Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »

Les participant-e-s jugent en effet que l'introduction du taxi automatique améliorerait davantage la situation des PMR que celle de véhicules automatiques dédiés au rabattement au sein du réseau de transports en commun.

- le classement est similaire si le critère de « Pratique du vélo » montre un poids supérieur à 67%. En effet, le système de rabattement automatique est perçu par certains répondant-e-s comme un potentiel substitut au vélo sur les trajets desservis.

- Enfin, si les critères de « Densification des logements » ou de « Densification des emplois » montrent un poids supérieur à 27%, le classement devient le suivant :

1 - Scénario 2 : « Le taxi autonome »

2 - Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel »

3 - Scénario 3 : « Le véhicules autonome intégré au réseau de transports en commun »

Cela s'explique par la nature de la zone de desserte du système de rabattement, en zone périurbaine. Ce nouveau service est ainsi interprété comme un facteur d'attractivité pour ces zones.

Les figures obtenues grâce au module « Intervalles de stabilité » sont disponibles à l'Annexe 9.

Le classement obtenu se montre donc très stable. En effet, d'une part, les variations de pondération nécessaires pour modifier celui-ci sont importantes. Pour rappel, la pondération moyenne relative maximale attribuée par les parties prenantes porte sur le critère « Pollution de l'air », et s'élève à 7,3%. D'autre part, les pondérations des critères susceptibles de faire varier le classement, listées précédemment, sont peu discutées par les parties prenantes. De même la pondération des critères classifiés comme essentiels n'est pas susceptible de remettre en cause le classement établi.

De plus, ces résultats correspondent aux réponses récoltées à la question 25, à savoir :

« 25. Quel scénario vous paraît le plus souhaitable ? Veuillez les classer par ordre de préférence.

Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel

Scénario 2 : Le taxi autonome

Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun »

Effectivement, le classement majoritaire est celui obtenu grâce à l'analyse multicritère PROMETHEE II :

Tableau 96 : Taux d'occurrence de chaque type de classement des scénarios selon les réponses des participant-e-s à la question 25

Classement	Part de chaque type de classement dans les réponses des participants
1- Scénario 3 2- Scénario 2 3- Scénario 1	69,6%
1- Scénario 2 2- Scénario 1 3- Scénario 3	13%
1- Scénario 3 2- Scénario 1 3- Scénario 2	8,7%
1- Scénario 2 2- Scénario 3 3- Scénario 1	4,3%
NA	4,3%

En outre, comme dans notre analyse, le premier scénario n'apparaît jamais en première position.

Tableau 97 : Part de chaque scénario placé en première position par les participant-e-s

Scénario	Part de chaque scénario placé en première position par les participants
Scénario 1	0%
Scénario 2	22%
Scénario 3	74%

A noter, les pourcentages obtenus pour chaque classement des scénarios à la question 25 ne s'expliquent par grâce au type de partie prenante.

L'étude des données quantitatives récoltées, qui correspondent aux estimations qualitatives des participant-e-s sur l'importance des critères et les effets des trois scénarios d'introduction du véhicule automatique étudiés, notamment à travers l'analyse multicritères PROMETHEE II, nous ont permis de renseigner les avantages et risques propres à chaque scénario. Il apparaît que le troisième scénario, celui d'un système de rabattement dans les zones périurbaines de la Métropole est le plus favorable à la durabilité du système de transport local, au sens des critères définis dans notre démarche d'évaluation. A contrario, le premier scénario se montre globalement défavorable.

L'analyse qualitative multicritères a l'avantage de permettre la prise en compte d'un grand nombre de critères, et potentiellement de scénarios, comme le mettent en avant les études de ce type déjà réalisées sur le thème du véhicule automatique (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Les estimations réalisées, les nôtres y compris, montrent cependant les limites propres à cette méthode en matière de fiabilité des estimations et de confiance qu'il est possible de leur accorder. Toutefois, en situation d'incertitude, elles peuvent permettre de déterminer, en lien avec un travail prospectif, les configurations les plus favorables, et plus généralement les risques et avantages de différentes propositions. Sur le plan de l'analyse multicritères, notre travail se différencie des précédents par l'utilisation de la méthode PROMETHEE II, qui remplit par ailleurs les conditions de l'évaluation durable. De plus, notre application se distingue par son ancrage dans un territoire d'étude donné, qui est également un lieu d'expérimentation de cette technologie, et une exploitation plus précise des justifications données par les participants et participantes. Finalement, l'évaluation participative, si elle suppose les limites de précision mentionnées, a l'avantage de pouvoir être enrichie par l'analyse des discours des parties prenantes, et ainsi de dépasser la fonction instrumentale des scénarios. Les éléments qualitatifs relevés dans la suite de l'analyse ont pour objectif d'explorer les évolutions pressenties, notamment à travers l'examen de la signification sociale de la technologie, et d'enrichir les réflexions sur la définition de l'action publique.

7.4.2. L'analyse du discours des parties prenantes, un enrichissement remarquable des résultats d'évaluation

L'analyse du contenu des entretiens des parties prenantes réalisés dans le cadre de la consultation doit permettre de retranscrire les informations prospectives et les propositions des parties prenantes s'agissant de l'action publique à mener. Conformément aux positions propres à la prospective et à l'évaluation des technologies, nous considérons que les discours tenus contiennent des indices significatifs sur la nature des évolutions à venir et influencent la définition de la gouvernance de la technologie (Grunwald, 2019 ; Morrissey, 1995).

Les éléments traités dans cette partie sont issus de la retranscription des consultations individuelles des vingt-trois « parties prenantes » décrites précédemment. La durée totale d'enregistrement est d'environ 23h. La durée des entretiens oscille entre 30 minutes et 1h45. Comme mentionné précédemment, nous avons souhaité proposer un dispositif de consultation réalisable en une heure, afin de ne pas exiger un engagement trop important de la personne sollicitée.

Notre analyse du contenu qualitatif comporte trois parties. La première vise à synthétiser les éléments prospectifs. Pour cela, nous mobilisons la grille d'analyse dite « herméneutique » proposée par Grunwald (2019), présentée au chapitre précédent (tabl. 34), qui comprend deux principales catégories d'analyse : définition de la technologie et récits sur le futur. La seconde partie porte sur les moyens d'intervention publique, que nous catégorisons selon la grille déterminée dans la première partie de ce travail, à partir de la littérature sur l'action publique locale du véhicule automatique. La troisième partie de l'analyse résume les autres applications du véhicule automatique entrevues par les parties prenantes.

Analyse « herméneutique » des discours des parties prenantes

Débutons l'analyse des entretiens réalisés par la présentation des débats entourant la définition de la technologie, de ses caractéristiques techniques et servicielles.

Les débats sur les caractéristiques techniques du véhicule automatique se concentrent sur sa fiabilité, et notamment sur sa capacité à circuler dans des environnements contraints ou perturbés, comme les zones rurales. Des doutes liés à de possibles « bugs »¹⁷⁰ et sur les capacités de prise de décision du système¹⁷¹ s'expriment. Les difficultés d'opération sont également associées à la présence d'une végétation abondante, d'animaux sauvages et de variations paysagères et climatiques saisonnières significatives¹⁷². L'optimisme reste toutefois de mise. La confiance dans la réglementation et la certification du système est affichée¹⁷³. Plus

¹⁷⁰ « [...] c'est difficile de faire la part des choses et de l'évaluer par rapport aux erreurs d'attention des automobilistes classiques, par rapport aux bugs et aux erreurs d'interprétation d'un système automatisé. », Commune de Rouen

¹⁷¹ « Je ne vois pas comment on va pouvoir solutionner le problème, que la machine puisse prendre la décision d'un humain, même avec tout un tas de données. », DDTM

¹⁷² « On nous dit le besoin il est sur le rural et quand on va avec les ingénieurs qui développent le véhicule autonome sur le rural, ils disent c'est pire que tout [...], on peut pas croiser une voiture, il y a des herbes, des feuilles, de l'herbe, enfin ils étaient catastrophées [...]. », TCAR / « Après pour les transports en commun, il y a une double difficulté, en fait, la première c'est que on a que des petites véhicules autonomes, donc on est forcément sur des dessertes de faibles densités, hors c'est sur ces secteurs qu'on a le plus de problèmes en termes de voirie et d'espace public à faire passer des véhicules autonomes. », MRN / « La seule chose, c'est que effectivement les contraintes topographiques, là on est loin d'avoir assuré la fiabilité du système, du fait des contraintes topographiques et de la saisonnalité parce que là on est quand même sur des secteurs [périurbains et ruraux] relativement perturbés, lorsqu'il y a des épisodes climatiques forts [...] Il y a des animaux tout ça [...] Les animaux, il y a beaucoup de traversées que ce soit en période hivernale, la nuit et autre, donc c'est difficile de considérer que ça peut être fiable [...]. », FNE Normandie

¹⁷³ « [...] le piéton qui déboule n'importe quand. Est-ce que le système sera faire face ? Je dirais oui sans doute mais on attend quoi. Dans le code de la route, il y a des tas de finesses, seront-elles prises en compte ? [...]. »,

généralement, les qualités sécuritaires apparaissent aux parties prenantes assurées, notamment par rapport aux risques propres à la conduite humaine¹⁷⁴.

Dans le cas des caractéristiques physiques, le thème le plus débattu est celui de l'électrification des véhicules, intégré à la huitième question du dispositif de consultation. Au-delà des débats sur la pertinence de cette technologie en matière environnementale, s'agissant notamment de l'origine de l'électricité et de la pollution liée à la production et au recyclage des batteries¹⁷⁵, la plupart des commentaires vont dans le sens du nécessaire recours à des motorisations alternatives pour le véhicule automatique. Ils tiennent d'une part au rejet symbolique de l'association de la technologie d'automatisation à une motorisation thermique¹⁷⁶, et d'autre part au contexte réglementaire anticipé¹⁷⁷. La configuration du service de rabattement est également considérée comme facilitatrice de l'électrification des

Rue de l'Avenir / « [...] ce sera très réglementé, j'ose imaginer que ce sera très encadré [...] le jour où ça sera vraiment mis en circulation sur nos routes, j'ose imaginer que tout ça être pris en compte. », AURBSE

¹⁷⁴ « Je pense qu'on va contrôler quand même beaucoup de paramètres, [...] ce qui est lié à la prise en compte des informations », CEREMA Normandie / « [...] ce qui va être erreurs du système informatique ou la situation avec un piéton, selon les cas d'usages, évidemment il y a toujours un risque mais il va être maîtrisé, voire très rapidement j'allais dire résolu. », Move'o / « [...] le chauffeur peut aussi être un problème, en quelque sorte quand on montre dans un transport en commun c'est un acte de foi vis-à-vis du chauffeur, donc que la conduite soit assurée par un humain ou par une machine pour moi ça ne change pas grand-chose. », Commune d'Elbeuf

¹⁷⁵ « Oui, j'espère qu'ils seront électriques, même si l'électricité est pas, c'est pas, ça dépend de l'origine de l'électricité. », Plein Air, à pied, à vélo / « Ah beh moi il faut que ce soit tous électriques, enfin, l'électrique, moi je suis pas non plus un fervent, je suis pas pour multiplier les centrales nucléaires, je suis pas pour pérenniser l'extraction des métaux rares pour réaliser les batteries, à partir du moment où il y aurait une innovation globale qui fait que les véhicules électriques seront sur des matériaux moins nobles, puis même issus des filières de recyclage, là pour l'instant on joue sur la facilité, donc effectivement lithium-ion. », FNE Normandie / « [...] c'est un positionnement par rapport à un dogme, mais c'est l'électrique, et l'électricité produite par quoi [...] », Commune d'Elbeuf / « [...] après il y a tout un débat là-dessus si on regarde cela de manière générale, notamment la fabrication d'électricité, la batterie, le recyclage, etc. », CEREMA / « Le véhicule électrique pose toujours beaucoup de problème, donc je pense pas que ce soit une solution, en zones centrales par contre, du fait de la réduction des poussières des PM 2,5 et PM 10, [...], qui sont largement réduites, donc je pense que ça a surtout de l'intérêt en zones centrales. », ADEME

¹⁷⁶ « pour moi c'est indispensable que ces véhicules ne soient pas thermiques, ou électriques ou a minima hybrides, ça me paraît essentiel [...] si on fait tout électrique, je pense pas que ce soit la solution, je pense qu'il faut qu'il y est un mix. », AURBSE / « [...] j'ai du mal à me projeter sur un véhicule autonome diesel, c'est idiot, mais je trouve dans l'objectif, dans l'histoire qu'on raconte, ce sont des véhicules électriques ou énergies alternatives. », TCAR / « Ça me semble assez évident. Ça me semble indispensable. Je vois mal lancer ce genre d'innovation sur des motorisations thermiques classiques, enfin aujourd'hui ce serait d'autant plus décalé. », Commune de Rouen

¹⁷⁷ « [...] il y a la notion, c'est le service public, donc ça peut être aussi d'autres technologies, mais là je pense que ça me semble plus important. », AURBSE

véhicules¹⁷⁸. L'introduction est jugée plus lente dans le cas du véhicule personnel et du taxi automatique¹⁷⁹, même si les améliorations techniques à venir la faciliteraient¹⁸⁰.

Trois autres éléments se dégagent de manière spontanée : la nécessaire identification extérieure des véhicules en cas de mixité de trafic¹⁸¹, la remise en cause du recours à des véhicules de petite taille dans le cas de services de transport partagés¹⁸² et le besoin d'une conception intérieure des véhicules capable de prévenir les chutes des passagers¹⁸³.

Finalement, cinq thèmes se dégagent à la catégorie des caractéristiques « servicielles » attachées aux différents scénarios présentés : prix, temps de transport, amplitude horaire, desserte géographique et système de réservation.

Des mentions aux difficultés financières d'accès pour les particuliers dans le cas du premier scénario¹⁸⁴ et pour les collectivités dans le cas du troisième¹⁸⁵ sont faites, et l'hypothèse d'un coût d'entretien moindre est remise en question¹⁸⁶. Des réflexions sur la tarification dans le cas du second scénario sont également à noter. Plusieurs parties prenantes relèvent la faiblesse des prix présentés, l'intérêt de tels tarifs¹⁸⁷. La fixation du prix selon le nombre de kilomètres parcourus est interrogée. En effet, les parties prenantes perçoivent cette

¹⁷⁸ « [...] je pense que, ça n'a pas de sens d'avoir un véhicule thermique pour faire du dernier/premier kilomètre, du rabatement et donc s'il part d'une station, à la station il y a une borne de recharge et ça tourne, et ça suffit. », Move'o / « Je dirais 100% dans le cas des transports en commun, parce que la question de la recharge est peut être beaucoup plus simple, parce qu'il pourrait ne pas y avoir d'intervention humaine, ce qui est déjà le cas dans certains systèmes. », CEREMA Normandie

¹⁷⁹ « [...] on a déjà tellement de mal à faire passer la notion de véhicule électrique. Essentiellement parce que les gens ont peur de pas avoir de kilomètres suffisants. [...] parce qu'on a beaucoup trop d'inconnues sur le coût, sur la facilité, etc. 2035, oui. », Rue de l'Avenir / « sur le véhicule personnel, ça dépend, on voit déjà que l'appropriation, passer du thermique à l'électrique, ça se fait progressivement et aujourd'hui des personnes qui font 50km par jour max, voire moins pour du domicile-travail, tous passent pas à l'électrique [...] », Move'o / « On a un taxi électrique à Rouen, sur la flotte. C'est très lent. », Rue de l'Avenir

¹⁸⁰ « [...] les taxis peuvent avoir de temps en temps des courses un peu plus longues, mais après si on est sur des courses très intra-agglo, de la même manière, du 100 % électrique avec aussi des améliorations de performance des batteries, ça devrait le faire aussi. », Move'o

¹⁸¹ « Il y a un problème [...], c'est la mixité des véhicules en circulation, sans identification possible de quel véhicule appartient à quelle catégorie [...] Donc à terme, le souci d'identification des véhicules va se poser. », ADEME

¹⁸² « Mais moi, ce qui me gêne un peu c'est que on part du préalable que c'est une voiture, ce n'est pas un usage d'un véhicule un peu plus grand [...], des véhicules d'une dizaine de personnes. », FNE Normandie

¹⁸³ « Il y a un risque qui est les accidents, les chutes à bord du véhicule autonome. Par exemple, l'agence fédérale américaine a retiré l'autorisation d'expérimentation à Easymile sur l'ensemble du territoire aux Etats-Unis, suite à la chute d'un passager assis. », TCAR

¹⁸⁴ « [...] la voiture autonome, complètement autonome, est trop chère pour un particulier. », Renault / « [...] il faut prendre en compte, c'est la dimension économique également pour permettre sa diffusion auprès des citoyens. », Move'o / « [...] véhicule autonome personnel, je dirais que je m'en fous [...], il y a que les riches qui pourront se payer ça. », Solidarauto

¹⁸⁵ « ce que je note c'est le coût du véhicule autonome [...], alors on parle de véhicule individuels neufs chez le concessionnaire, [...], on a envie de l'acheter mais c'est trop cher, ou, dans le cas du transport en commun, pour la collectivité c'est un investissement qui est trop important. », TCAR

¹⁸⁶ « Alors moi j'avais une question par rapport à la question de l'entretien. Dans quelle mesure on dit qu'il y a des économies ? Parce que pour moi, il y a un élément supplémentaire [...], c'est celui des éléments électroniques. En quoi on considère qu'il y a moins d'entretien ? », CEREMA

¹⁸⁷ « Le taxi, là c'est quand même pas très cher [...] », Commune de Darnétal / « [...] oui, c'est pas excessif [...] », AURBSE / « C'est vrai que par rapport au coût du taxi qui doit être de l'ordre de 25 euros à l'heure actuelle, le 2 euros 10, il est quand même beaucoup plus abordable pour les gens qui habitent le Château Blanc à Saint-Etienne-du-Rouvray. », Solidarauto

hypothèse comme défavorable aux habitants du périurbain, qui parcourent des distances plus importantes. Ils pointent du moins l'avantage d'une utilisation en zones denses, où les points d'attraction sont nécessairement plus rapprochés¹⁸⁸. Par ailleurs, la tarification supposée pour le troisième scénario, l'intégration aux « tarifs d'abonnement » est valorisée¹⁸⁹.

Concernant le temps de transport, les remarques portent sur la performance limitée du troisième scénario en la matière, considérant la rupture de charge envisagée¹⁹⁰, et sur l'emprunt de voies dédiées par les taxis automatiques, sur le modèle actuel du taxi, qui permettrait un gain de temps par rapport à l'utilisation d'un véhicule individuel¹⁹¹.

Considérant l'amplitude horaire, le second scénario est valorisé pour sa flexibilité, et notamment sa capacité à répondre aux besoins de mobilité nocturnes¹⁹². Le troisième scénario, dont les horaires de fonctionnement sont calqués sur ceux des transports en commun est ainsi renvoyé à son inadéquation à répondre à certains besoins, notamment ceux des salariés travaillant en horaires décalés¹⁹³.

Concernant la desserte géographique, des critiques sont émises au sujet des deuxième et troisième scénarios. Dans le second scénario, les exemples de trajets proposés sont désapprouvés car ils font déjà l'objet d'une desserte par les transports collectifs. Des itinéraires mal couverts, allant de périphérie à périphérie, où les transports en commun sont peu performants en matière de temps de transport, seraient donc à privilégier¹⁹⁴. La flexibilité inhérente aux services de taxis automatiques est par ailleurs valorisée¹⁹⁵. Une régulation des zones de dessertes pour éviter la concurrence directe avec les transports en commun est toutefois appelée. Dans le cas du troisième scénario, les reproches portent sur l'absence de

¹⁸⁸ « Dans le scénario 2, comme c'est au kilomètre, les personnes en zones périurbaines seraient défavorisées. », FNE Normandie / « Je pense que le scénario 2, il sera privilégié en zone centrale, pour conserver le gain économique [...] », ADEME

¹⁸⁹ « Ce qui me plaît dans ce scénario c'est que c'est intégré aux tarifs d'abonnement [...] », Solidarauto

¹⁹⁰ « Scénario 3, ça reste long, on fait le premier kilomètre, puis après il faut prendre le bus, etc. », Renault / « Et puis le véhicule autonome intégré au réseau de transport en commun, j'allais vous dire oui [...] mais je sais pas ce que ça donnerait en termes de gain de temps de transport [...] », Commune d'Elbeuf

¹⁹¹ « [...] ça veut dire qu'on est avec des voies dédiées pour les taxis comme aujourd'hui ? [...] Ouais, c'est ça parce que déjà aujourd'hui les taxis peuvent prendre les voies de bus et donc du coup est-ce que dans ce scénario-là, on a toujours ce gain de temps en fait ? Par le fait qu'on puisse prendre ces voies-là. », Move'o

¹⁹² « [...] je pense que ça peut favoriser [la mobilité]. Je pense notamment au soir, la nuit. », ANBDD / « Et ça c'est une offre qu'on a pas effectivement, surtout sur les horaires. », Commune d'Elbeuf

¹⁹³ « Le seul problème après ça c'est le problème des horaires, [...], les horaires des transports en commun de l'agglomération rouennaise sont pas adaptées à des cas de travailleurs qui sont dans des métiers à horaires décalés. », Solidarauto / « [...] le scénario 3, c'est que je me pose la question par rapport à Fillor et Allobus qui existent déjà [...] sachant que c'est toujours lié à rabattre les personnes sur les transports en commun, c'est-à-dire qu'on est toujours sur ces problématiques d'horaires et donc de non accès en horaires décalés [...] », Plateforme SVP

¹⁹⁴ « Dans le scénario 2, j'ai pensé que les trajets que vous donniez n'étaient pas judicieux car ils sont déjà desservis en transports collectifs. [...] Aller du Trait à Boos en transports en commun, il faut compter, 2h, 2h30 et là oui ce serait un véhicule autonome qui fait ce trajet, ce serait une demie heure, je ne sais pas, mais ce serait plus significatif que des trajets qui existent déjà. », CPTC

¹⁹⁵ « [...] mais dans l'efficacité, le scénario 2 me semble quand même être plus efficace, parce que tu vas aller directement, bon il y a des petits détours, mais directement dans les points que tu veux [par rapport au Scénario 3] [...] », Renault

certaines zones de desserte : le sud de l'agglomération, Elbeuf¹⁹⁶ et les quartiers urbains populaires de la « Rive Gauche »¹⁹⁷. Ces remarques sont ainsi significatives des sensibilités à l'équité territoriale et sociale dans le cadre de la détermination des zones qui pourraient bénéficier de systèmes de rabattement automatiques. Rappelons que celles-ci ont été déterminées selon la densité de population dans le scénario proposé. Par ailleurs, le troisième scénario est perçu comme de faible ampleur s'agissant de l'espace desservi, et ainsi difficilement générateur d'un changement majeur des habitudes de déplacements¹⁹⁸. Ce sentiment s'exprime notamment par rapport aux deux autres scénarios, qui concernent l'ensemble du territoire¹⁹⁹.

Enfin, plusieurs suggestions concernent le système de réservation des services de taxis automatiques. Plus précisément, elles portent sur les systèmes de régulation de son utilisation, particulièrement de notation, qui constitueraient un moyen de protection, notamment pour les femmes²⁰⁰, et sur les systèmes d'appariement, qui faciliteraient de nouvelles rencontres ou permettraient une optimisation des déplacements à l'échelle du système²⁰¹.

Passons à présent à l'analyse du contenu relatif à la seconde dimension de l'analyse herméneutique : les récits sur le futur. Elle comprend trois sous-catégories : développement technologique, effets voulus et non voulus et interactions avec les structures sociales, économiques et culturelles. Nous exposons les éléments de discours d'intérêt selon cet ordre.

Le discours des participant-e-s sur le développement technologique montre deux principaux motifs. D'une part, s'agissant de la nature de ce développement, la confiance dans l'advenue progressive de l'automatisation est remarquable. D'autre part, celui-ci est perçu comme une avancée scientifique et il revêt une valeur intrinsèque.

Ainsi, la faisabilité technique est reléguée au second plan. Les personnes interrogées considèrent que les « freins » techniques sont amenés à être levés²⁰². L'automatisation serait

¹⁹⁶ « Vous n'avez pas mis de liaison avec l'extrême Sud, de liaison avec Elbeuf, dans le scénario 3. », ADEME

¹⁹⁷ « [Scénario 3] Ma première réflexion c'est pourquoi est-ce que une fois de plus les quartiers populaires de la Rive Gauche sont pas concernés par ce truc-là, sauf la toute petite part autour de Oissel. », Solidarauto

¹⁹⁸ « Mais le scénario 3 paraît de faible ampleur, desservir les zones définies sur la carte, ne me paraît pas très grandes. », DDTM / « je trouve que le scénario 3, il n'améliore pas beaucoup la situation. », Renault

¹⁹⁹ « [...] je trouve que c'est le un peu point faible de ce scénario [Scénario 3], où dans les deux premiers scénarios j'ai l'impression que c'est très, je sais pas comment dire, optimiste, ils pourront être utilisés partout et sur le dernier, on a l'impression qu'on se freine un peu. », DREAL

²⁰⁰ « [...] mais je pense qu'il y aura des dispositifs anti-agression, on peut imaginer quelque chose de très sécurisé, de très réglementé. », AURBSE / « Le système de taxis autonomes sera transparent, si une personne perturbe le système, elle en sera exclue. », ADEME

²⁰¹ « [Scénario 2] [...], c'est la notation des personnes. Le scénario 2, on voit bien qu'on peut mettre des filtres, des préférences. [...] de réserver un véhicule à des femmes ou à des gens qu'on connaît, ou qui ont les mêmes affinités » ; « [...] si le système est bien fait, il peut te proposer des covoits avec les gens qui font la même pendulaire que toi. Donc ça peut être plus efficace, mais ce sera plus cher [par rapport au Scénario 3]. », Renault

²⁰² « [...] il y a des barrières qui peuvent être technologiques, mais ça je pense que ça va être des freins facilement levés [...] », CEREMA / « [...] il y eu quand même pas mal de tests, il y a des progrès techniques qui sont là, qui

« pour demain »²⁰³, « avance très vite »²⁰⁴, même si l'horizon temporel est discuté²⁰⁵. Toutefois l'incertitude reste importante, comme en témoignent les pronostics sur l'ordre d'apparition des différentes applications du véhicule automatique présentées par les scénarios. Certains voient d'abord une introduction des véhicules automatiques au sein des transports en commun, du fait d'un portage par la « puissance publique »²⁰⁶, d'autres pressentent l'apparition première des taxis automatiques²⁰⁷, et d'autres encore celle des véhicules automatiques particuliers²⁰⁸. Les enjeux de cybersécurité sont perçus comme les seules barrières techniques notables à moyen terme, dans la prochaine phase de développement²⁰⁹. Un sentiment notamment renforcé par l'attaque informatique subie par le CHU de Rouen en novembre 2019²¹⁰.

Quant au développement technologique, il est globalement qualifié d' « intéressant », d' « exaltant », de « super »²¹¹. Sa valeur intrinsèque est tout de même questionnée de trois manières : sa capacité à générer des changements de comportements bénéfiques, notamment en comparaison de politiques publiques atecnologiques aux coûts financiers bien

font que je pense que tout ça peut être vraiment maîtrisé dans le côté technique. », Palteforme SVP / « [...] je pense que ce sera réglé au fur et à mesure [...], avec l'évolution de la technologie ça devrait pas être trop mal [...] », Plein Air, à pied, à vélo / « Coté technologie, je suppose que c'est quelque chose qui est encore relativement maîtrisé maintenant [...] » ; « [...] on sait que ça va venir, oui [...] », Commune de Rouen

²⁰³ « Ils font des tests, et un jour ça va fonctionner » ; « et la techno, elle va avancer toute seule. [...], ça avance, l'automatisation c'est pour demain. », ENGIE

²⁰⁴ « [...] elle est en plein développement, que le plus bluffant est encore à venir, mais que ça avance très vite. », TCAR

²⁰⁵ « C'est une technologie ou un ensemble de technologies qui ont plusieurs débouchés différents selon les cas d'usage et leur application et leur maturité est très très fluctuante selon le périmètre qu'on définit. Je dirais entre 5 et 100 ans. », Renault / « [...] je pense que le véhicule autonome restera marginal très longtemps, vous parlez de 2025, c'est aussi la date qu'avait donné Mme Borne, pour la généralisation, ça me paraît un peu court, il faudrait rajouter une bonne dizaine d'années. », Rue de l'Avenir

²⁰⁶ « [...] les premiers services de véhicules autonomes seront probablement portés par la puissance publique, en relai du transport en commun. », MRN

²⁰⁷ « Pour moi, les plus probables à court terme, c'est sans doute les taxis autonomes. », MRN / « alors que je pense qu'en termes de sécurité et de faisabilité techniques, le scénario 2 arrivera plus tôt. », TCAR

²⁰⁸ « Ouais, ça arrivera dans l'ordre décroissant, trois, deux, un. Quoi que la perso, on y est presque. », ENGIE

²⁰⁹ « [...] le problème de cybersécurité va devenir majeur en bout de chaîne en fait. Quand on aura complètement tout automatisé pour de vrai, automatisé, quand il y aura plus personne, là oui. », TCAR / « [...] pour moi aujourd'hui ce problème de la cyber, je dis pas qu'il est pas traité mais il est très loin d'être résolu en fait. », Move'o

²¹⁰ « Cybersécurité, [...] je dirais qu'aujourd'hui vu la pénétration des pirates dans les ordinateurs du CHU, il faut craindre que la cybersécurité ce serait aussi du niveau 4. », FNE Normandie / « [...] c'est un des enjeux du 21ème siècle. On le voit récemment, les piratages informatiques, le CHU de Rouen qui a été concerné. », AURBSE

²¹¹ « Du point de vue scientifique, c'est super. », DREAL / « [...] c'est super intéressant de travailler sur la techno du véhicule autonome [...] », Renault / « Je trouve que c'est très intéressant comme défi technologique [...] ; « [...] c'est motivant, c'est très exaltant [...] » ; « [...] les techniques mises en œuvre dans le véhicule autonome c'est effectivement très innovant [...] », Sabine

moindres²¹² ; son aspect « gadget », entreprise technico-technique, cour de récréation d'ingénieurs²¹³, et finalement sa place mineure à termes, réduite à une « niche »²¹⁴.

Nous nous intéressons ensuite aux effets voulus et non voulus de la technologie. Les premiers correspondent aux potentiels sociaux associés à cette dernière. Les seconds sont des conséquences non désirées. Conformément à la trame proposée par Grunwald (2019), nous explorons les effets d'ordre social, environnemental, les dépendances et vulnérabilités, les nécessités d'adaptation et les détournements possibles.

Ainsi, cinq thèmes d'espoir sont repérables :

- sécurité routière²¹⁵ ;
- mobilité des personnes âgées²¹⁶ et non motorisées²¹⁷ ;
- diminution de la vitesse de circulation²¹⁸ ;
- desserte des zones peu denses, rurales, par un système de transport collectif²¹⁹ ;
- réduction du coût des transports en commun, et conséquemment, développement de l'offre²²⁰.

²¹² « Pour moi, c'est de la surtechnologie, c'est-à-dire qu'on va rajouter des couches technologiques incroyables alors qu'il y a des moyens, que ce soit le vélo, la marche. Enfin, je veux dire, pour rejoindre une ligne régulière, enfin voilà, il y a quand même des moyens qui existent aujourd'hui donc pourquoi aller vers une couche technologique hyper importante alors qu'il y a des moyens qui existent, qui sont à faibles coûts et qu'on n'utilise pas. Enfin aujourd'hui, la multimodalité, l'intermodalité, c'est pas encouragé, pourquoi ne pas essayer ça, d'abord à faibles coûts [...] mais pour moi c'est un recours, c'est une couche technologique immense, un coût faramineux et qui au final ne vont pas résoudre les problèmes de base de la mobilité qu'on a. », Sabine / « [...] la solution comportementale, qui nécessite un minimum d'investissement et qui montre une action durable ou la solution technologique qui a une durée de vie courte et une inertie temporelle plus importante [...] il n'est intéressant [le véhicule automatique] que s'il est le support d'une transition comportementale. », ADEME / « [...] par le biais du bureau des temps, qui existe dans certaines villes, c'est-à-dire que le problème c'est l'heure de pointe du matin [...] Donc ça, ça me paraît plus important que d'introduire le véhicule autonome dans le système de transports en commun. », Rue de l'Avenir

²¹³ « [...] il y a l'aspect un peu gadget, nouveauté [...] », Commune de Rouen / « Mais c'est vrai que sur le véhicule autonome, on s'amuse, c'est le bac à sable, c'est comme pour la block chain. », ADEME / « [...] Il y a une dizaine, une vingtaine d'année c'était la voiture volante, et puis là depuis pas très longtemps on se dit une voiture qui se conduit toute seule [...] ». », AURBSE

²¹⁴ « [...] comme dans le cas de beaucoup de technologies, on décide au début que c'est la réponse à tout, ensuite elle trouve sa niche. », ADEME / « [...] [Scénario 1] on peut se dire globalement en France, il y a un tel décalage de prix, c'est en 2025, [...], il y aura me semble-t-il un marché absolument de niche [...] », Commune d'Elbeuf

²¹⁵ « Le premier intérêt de cette technologie c'est d'éviter les accidents. », DDTM

²¹⁶ « [...] la voiture autonome, je pense que pour beaucoup, pourrait représenter une solution, une solution de mobilité lorsque l'on devient trop âgé pour conduire, [...], la première chose qui me venait à l'esprit, que la voiture autonome, vivement que ça existe avant que je ne puisse plus conduire [...] », Renault

²¹⁷ « Ça pourrait être une alternative en matière de mobilité, je pense notamment à des personnes qui n'ont pas le permis de conduire. », AURBSE / « [...] c'est les gens qui n'ont pas de permis. Eux, ils vont être favorisés, notamment pas de permis en zone rurale. [...] », ENGIE

²¹⁸ « Je pense qu'on ira vers une réduction généralisée de la vitesse dans le cas de l'introduction du véhicule autonome. », DDTM / « Alors, le véhicule autonome réglera peut être une toute petite partie, pour peut-être baisser la vitesse moyenne, mais augmenter la fluidité. », ENGIE

²¹⁹ « [...] on voit un peu partout le véhicule autonome comme la solution d'avenir pour desservir les secteurs peu denses. », MRN / « [...] j'ai pas mal écouté la Métropole [...] sur l'intérêt du véhicule autonome pour les territoires ruraux, pour réduire les coûts en fait, pour désenclaver. », ANBDD

²²⁰ « [...] parce que le véhicule autonome coûtera moins cher que Filor au kilomètre parcouru. », CPTC / « [...] si on a un budget qui reste constant, le véhicule autonome nous permettra de produire plus de kilomètres de service

Trois d'entre eux sont adressés par l'évaluation (sécurité, accès à la mobilité selon l'âge, accès à la mobilité selon la localisation). Ils correspondent par ailleurs aux mécanismes de contribution positive des technologies à la mobilité durable couramment décrits : l'amélioration de la sécurité et la facilitation de l'accès à la mobilité. L'espoir d'une desserte des zones périurbaines et rurales est essentiellement exprimé par les « décideurs, concepteurs et gestionnaires publics ». Les deux autres s'intègrent respectivement aux paradigmes de ville « apaisée » et de transition vers une mobilité alternative à la voiture. Des visions plus largement présentes dans les remarques des participant-e-s. En effet, des politiques de restriction des déplacements automobile en zones très denses²²¹ et de l'espace de stationnement²²², allant de pair avec la piétonisation du centre-ville²²³, sont prédites. Quant à l'espoir d'abaisser le coût des transports en commun et d'augmenter l'offre disponible, il se place dans un objectif de report modal²²⁴, alors même que plusieurs parties prenantes mentionnent le manque d'offre et la fréquentation déjà importante du réseau²²⁵. Par ailleurs,

de transport. » / « [...] une fois qu'on aura réglé les questions techniques, le VA deviendra un simple outil qui pourra générer des gains de productivité, qui pourront être réinvestis pour permettre d'accroître l'offre. », MRN

²²¹ « [...], urbain très dense, en 2025, on va vers une baisse du nombre de déplacements en voiture, de toute façon c'est une tendance, une tendance qui est quand même assez lourde [...]. », AURBSE / « Ouais, mais la bagnole en zone urbaine, ça va pratiquement disparaître [...] », ENGIE / « [...] j'ai du mal à m'imaginer les différents scénarios sans contrôle des flux de voitures qu'il y aura dans l'urbain très dense. [...], j'ai du mal à m'imaginer un scénario sans restriction. », DREAL / « [...] sans doute qu'on va mettre des contraintes à la voiture dans les villes [...] : zones de trafic limité [...], la contrainte par le stationnement [...] », MRN / « [...] je pense que on aura supprimé la voiture personnelle dans le centre-ville. », ADEME / « [...] les zones piétonnes on en est revenu parce qu'on s'est rendu compte que ça nuisait à la vie locale, dans ce sens que le foncier devient très cher et que ça fait disparaître le commerce de proximité [...] Et puis on a une uniformisation des rues piétonnes [...] Par contre, la zone de rencontre, qui permet une circulation automobile, mais apaisée, puisqu'elle roule à 20 et que le piéton est prioritaire, se développe parce qu'il faut maintenir tout de même un peu de voiture en ville. », Rue de l'Avenir

²²² « [...] la tendance c'est, on aura moins de places de stationnement. [...] », AURBSE / « Il y a encore suffisamment de places [...] pour qu'il y est de la voiture, demain il y en aura peut-être moins, le système s'autocongestionnera » et fera que la pratique sera différente [...] », ENGIE / « [...] aujourd'hui chaque Métropole réfléchit un peu dans son coin, là on voit bien qu'il va y avoir globalement quelque chose autour de la réduction de la place de la voiture. » / « [...] essayer de rééquilibrer la façon dont on redistribue l'espace public en fonction du poids réel des modes [...] », MRN / « [...] si l'offre de stationnement continue à décroître, comme l'a engagé la municipalité [...]. Mais bon, si on se base sur la situation actuelle, vous avez les quais bas rive gauche, c'étaient 3500 véhicules qui étaient stationnés gratuitement, qui ont été transformés en jardin, c'était une décision quand même importante [...] », Rue de l'Avenir

²²³ « Grenoble, le centre-ville de Grenoble, avec le tram qui passe, le bus, c'est « instationnable » et « incirculable » en bagnole. La place de la Comédie à Montpellier, c'est pareil. Strasbourg, c'est pareil. Les centres villes, on commence à travailler sur la contrainte. A Rouen, il faut qu'à l'intérieur du Boulevard des Belges et entre la Seine et la rue Jean le Canuet [...], il faut rendre l'espace piéton. », ENGIE / « Comme un certain nombre de gens comme moi l'espèrent, on pourrait être sur un quadrilatère piéton entre le bas de la rue de la République, la rue Le Canuet et la rue Jeanne d'Arc. », Solidarauto

²²⁴ « [...] les politiques publiques, il y a quand même des mesures, on tend au report modal de cette voiture vers les transports en commun, puis d'autres modes plus vertueux [...] », AURBSE

²²⁵ « Donc il faudra considérablement, dans les années à venir, et même plus précisément dans le mandat actuel, ouvrir une nouvelle ligne de tramway Nord-Sud et une Est-Ouest pour faire face à l'augmentation. », CPTC / « [...] parce qu'il me semble effectivement qu'il y a des manquements, des trous dans la raquette en termes de service dans le transport en commun. », FNE Normandie / « Je trouve que le matériel roulant de la Métropole est de bonne

deux tendances concernant les transports en commun sont décrites : l'automatisation des véhicules capacitaires opérant en site propre²²⁶ et la gratuité d'usage²²⁷, toutefois sujette à débat.

De nouveau, considérant la grille de Grunwald (2019), certains effets « non voulus » sont traités à travers le cadre de mesure de l'évaluation. Nous retranscrivons donc dans cette partie les effets non voulus mis en exergue par la consultation des parties prenantes en dehors du cadre prédéfini. Elles correspondent à des commentaires émergeant au fur et à mesure de la discussion, ou à des réponses aux six premières questions, introductives, portant notamment sur les risques que pourraient comporter l'introduction des véhicules automatiques.

Dans la première rubrique, celle des effets sociaux, trois thèmes peuvent être repérés : la « surveillance », amenée par la mention dans le dispositif de participation à la « gestion des données personnelles », la cohésion sociale et la sédentarité, évoquées spontanément. La « surveillance » est un sujet à traiter selon Grunwald (2019). Les parties prenantes décrivent la protection des données personnelles comme un enjeu général, auquel l'introduction des véhicules automatiques n'ajoute pas de nouvelles problématiques par rapport à « un tas d'applications qu'on a déjà », « tout ce qu'on fait avec nos téléphones »²²⁸. La seule inquiétude formulée porte sur l'extension de la récolte de ces données à l'espace physique, à la rue, à travers les capteurs potentiellement nécessaires au bon fonctionnement des véhicules automatiques²²⁹.

qualité, même s'il y a quelques obsolescences. C'est plutôt en quantité qu'il y aurait un problème. », Commune d'Elbeuf

²²⁶ « [...] avec les aménagements qui ont été fait dans les derniers grands transports en commun de l'agglomération, si on prend le dernier T4, voilà, on peut imaginer que des bus autonomes arrivent à circuler par rapport à ça [...] », Solidarauto / « En tout cas, les transports en commun pourraient être plus efficaces grâce à l'intelligence des véhicules, comme dans le cas du stationnement optique aux stations [...] », ADEME

²²⁷ « [...] il y a beaucoup, c'est un thème qui ressort assez souvent le fait de la gratuité des transports. », Renault / « [...] la gratuité des transports collectifs, etc. et tous ces débats qui viennent avec. », CEREMA / « Sachant que aujourd'hui certains personnes prônent la gratuité du transport, c'est un faux débat, le transport en commun il est pas cher de tout manière [...] », MRN / « [...] là je me bats contre les gens qui demandent la gratuité des transports [...], c'est pas la peine de dire on va offrir le transport gratuit pour qu'il y est plus de monde dedans, alors qu'ils sont déjà saturés, il faut au contraire de l'argent pour faire de nouvelles infrastructures. », Rue de l'Avenir / « Quand on parle des transports en commun, la question se pose aujourd'hui de la gratuité de l'usage [...] », FNE Normandie

²²⁸ « Ce n'est pas propre au véhicule autonome. », ADEME / « Le VA n'apporte rien de plus que n'importe quel autre système d'informations, il n'y a rien de spécifique au véhicule autonome. », Renault / « Je ne pense pas que c'est ça qui soit le problème étant donné qu'on a d'autres technologies où il y a peut-être plus de souci, je pense notamment la reconnaissance faciale. », AURBSE / « Moi je dirais que c'est pas plus risqué que un tas d'applications qu'on a déjà [...] », Renault / « Protection des données, ça je pense que ça pourra bien se gérer [...] », ANBDD / « Pour la protection des données actuelles, moi j'ai mis 0, parce que de toute façon, on est déjà suivi de partout. », Rue de l'Avenir / « [...] effectivement c'est un sujet, mais c'est un sujet à tellement d'autres endroits que sur le véhicule autonome, voilà tout ce qu'on fait avec nos téléphones [...] », TCAR / « [...], protection des données personnelles, je pense que c'est là qu'il y aurait un très gros risque. [...] Qu'on connaît déjà. », Plateforme SVP

²²⁹ « [...] Ecoutez, je vais me référer effectivement à un article du Courrier International [...] où il parle [...] 'c'est un réseau intégré de capteurs qui ferait de la rue une extension de l'internet des objets', donc ça veut bien tout dire. Donc sur la protection des données, [...] je pense qu'il faut mettre 4. », FNE Normandie

Le thème de la cohésion sociale revêt deux aspects, la socialisation primaire d'une part et les interactions sociales dans les transports en commun d'autre part. Plus précisément, dans le cas des jeunes, des 5-17 ans, les services de transport automatisés utilisant des véhicules de petite taille iraient à l'encontre, par rapport au transport collectif, de leur « intégration à la collectivité », de l' « acceptation des autres »²³⁰. Ensuite, ce sont, sans distinction d'âge, les interactions avec le conducteur des véhicules de transports collectifs qui sont valorisées comme des échanges d'importance pour « certains citoyens ». Ce recul de la « convivialité », cette déshumanisation, est comparé à l'automatisation des caisses enregistreuses²³¹.

Concernant la sédentarité, les risques évoqués portent sur les jeunes et les personnes âgées. Il s'agit d'éviter que les premiers ne « bougent plus du tout », deviennent « culs-de-jatte », et aux seconds de « garder la forme ». Ainsi, les vertus des modes actifs, particulièrement de la marche, sont mises en avant en contrepoint²³². Nous voyons donc ici ce qui pourrait être qualifié d'un effet rebond d'un accès facilité à la mobilité à travers des services de transport à la demande : une perte de mobilité physique qui pourrait se transformer en une perte d'agilité et la génération de nouveaux problèmes de santé publique liés au manque d'exercice.

Dans la seconde catégorie des effets environnementaux non voulus, trois types d'effets négatifs sont mis en avant. Il s'agit, à l'échelle locale, de la dégradation des paysages et de l'artificialisation des sols, et, à l'échelle globale, de l'augmentation de la consommation d'énergie.

La dégradation des paysages décrite par les répondant-e-s correspond à la présence d'antennes de télécommunication²³³ et de mobiliers de bord de route dédiés à l'opération des véhicules automatiques. Dans le second cas, les espaces périurbains et ruraux actuellement

²³⁰ « Au niveau du collège je suis aussi un peu perplexe parce que je considère que c'est important que les enfants s'intègrent dans une collectivité et acceptent les autres, [...] l'intérêt c'est que là on est sur une forme de convivialité, empathie, toute une série de valeurs qu'on ne développe pas dans un véhicule individuel. », FNE Normandie

²³¹ « [...] la question que ça me pose quand même, si on a même plus le contact avec le chauffeur, [...] sur les interactions sociales, et ça n'a rien à voir avec le confinement, mais c'est aussi une façon d'avoir de l'interaction sociale pour certains de nos concitoyens, [...] et c'est un peu comme les caisses qui sont en automat, je pense qu'une partie de la population perdrait encore un peu de son rattachement j'ai envie de dire au bloc social. », Commune d'Elbeuf

²³² « Ouais pour les personnes âgées, effectivement ça peut être intéressant, [...] et encore [...] parce qu'il faut bien se dire que garder la forme à cet âge-là, ça passe aussi par l'utilisation de mode de transport non motorisés, qui les stimulent dans leur marche [...] si on lui dit ah beh non c'est plus la peine de marcher, on va prendre le véhicule autonome, là c'est dramatique. », Sabine

« Les collégiens, parce que on va quand même pas utiliser la voiture autonome pour aller porter dans le primaire, ce serait un peu dommage, on aurait peut-être d'autres solutions à développer mais pas celle-là quand même, sinon on va pouvoir les rendre cul de jatte, je veux dire ils vont plus bouger du tout. C'est pas très bon. », FNE Normandie

²³³ « [...] on va passer à un système comme la 5G. On va se trouver effectivement avec un développement fort fort, et un impact fort sur les paysages [...] », FNE Normandie

peu encombrés seraient particulièrement concernés²³⁴. S'agissant de l'artificialisation de nouveaux espaces, le mécanisme tient à l'augmentation de la circulation automobile, amenant à la nécessité de l'extension des routes²³⁵. Quant à la consommation d'énergie, elle serait liée à la consommation supplémentaire des technologies d'automatisation de conduite, par rapport aux systèmes manuels, et à l'énergie grise, relativement à l'ensemble du cycle de vie de ces nouvelles technologies²³⁶.

Ainsi, nous remarquons que les potentiels effets non voulus sont essentiellement mis en avant par des parties prenantes de type « associations » ou « bureaux d'étude », soient des représentants de « tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude ». Ce constat montre bien l'intérêt d'associer ce type d'acteurs, qui ne sont pas directement impliqués dans le développement de la technologie, à l'évaluation.

Dans le cas des nécessités d'adaptation, les contraintes tiendraient au niveau global du développement obligé de nouveaux réseaux de télécommunication toujours « plus perfectionnés »²³⁷ et, au niveau individuel, de la prise en main et l'utilisation de ces technologies par toutes et tous, renvoyant à une possible « fracture numérique ». A ce titre, les problèmes d'accès financier aux appareils électroniques et d'acquisition de compétences informatiques sont évoqués, dans un contexte de foisonnement des applications mobiles dédiées à la mobilité²³⁸. Ces inquiétudes sont toutefois contrebalancées par des mentions à la

²³⁴ « [...] ça dépend à quelle taille, si c'est un truc peu visible, dans l'espace urbain il y a déjà plein d'éléments donc j'ai envie de dire on va juste rajouter quelque chose, ça va pas se voir [...] dans des espaces périurbains ou ruraux, à côté d'éléments naturels, ça dépend de la taille, ça va peut-être être un peu plus se voir [...] », AURBSE
²³⁵ « [...] et aussi parce que, pour des services, au lieu que la voiture soit immobilisée à 85% du temps comme une voiture traditionnelle, on va avoir effectivement une voiture qui va prendre de la place sur les infrastructures. » ; « [...] je pense que on va reprendre de l'espace, c'est un peu la tentation du bitume, je reprends justement ce type de livre. » ; « [...] on amène d'autres infrastructures, qui elles vont effectivement être une atteinte à l'environnement, notamment l'environnement périurbain, que ce soient les atteintes sur l'eau [...], que ce soient les atteintes sur les terres arables, on va accompagner en créant des infrastructures, un mouvement de grignotage effectivement, d'artificialisation. », FNE Normandie

²³⁶ « [...] ces technologies [d'automatisation de conduite] ne sont pas sobres en énergie. », ADEME
« [...] parce que là on parle de voiture autonome, mais on parle pas d'énergie grise, on parle pas fossile, on parle pas de tout ça, on parle pas de l'exploitation des mines de métaux rares dans les pays en voie de développement, transport de ces métaux jusqu'à chez nous, enfin il y a tout un ensemble qui n'est pas pris en compte. », FNE Normandie

²³⁷ « [...] on va être obligés d'avoir des outils de plus en plus perfectionnés, notamment d'outils très fortement, demandeurs en nouvelles possibilités de communication et on va passer à un système comme la 5G. [...] », FNE Normandie

²³⁸ « [...] la difficulté d'utiliser Internet, la fracture numérique on la voit bien aussi. Donc les applications, on les développe de plus en plus dans le cas de la mobilité, mais malheureusement elles sont pas maîtrisées par tout le monde, loin de là. », Plateforme SVP / « Réserver un véhicule de ce type-là, y aller, se déranger, faire voir comment il fonctionne, etc. Je sais que ceux qui génèrent ce type de systèmes font tout pour que ce soit simple. Il y a quand même des facultés, des compétences à acquérir qui ne sont pas toujours innées. », CEREMA / [...] je pense que c'est un vrai sujet l'interface de commande, parce que des populations cible, ça pourrait être les seniors justement ou les ruraux, [...], mais une personne qui n'a jamais fait d'informatique, ça me paraît compliqué. », ANBDD / « Alors effectivement, moi le smartphone, j'en ai pas, et c'est vrai que ça devient un outil imposé, qui coûte quand même relativement cher [...] » , Rue de l'Avenir / « Ca veut dire que tout le monde devrait être au niveau top pour pouvoir, effectivement être équipé de moyens pouvant communiquer. [...] Je veux dire aujourd'hui la population n'est pas forcément aux mêmes moyens pour pouvoir communiquer avec l'interface de commande. », FNE Normandie

capacité des entreprises à développer des interfaces intuitives d'une part et des individus à utiliser ces systèmes d'autre part²³⁹.

S'agissant des vulnérabilités liées à la dépendance au fonctionnement de la technologie, les phénomènes évoqués concernent les niveaux individuel et collectif. Au niveau individuel, la préemption de la machine sur la prise de décision individuelle et le délitement des compétences de conduite²⁴⁰ sont cités. Dans le cas de la place de la machine dans la prise de décision, deux visions se côtoient, l'une plutôt alarmiste, entrevoyant une menace pour le libre arbitre, voire un dévoiement à des fins de sanction « comme en Chine »²⁴¹, alors que l'autre met en avant l'intérêt en matière de sécurité et de rationalité des choix, et y voit ainsi un moyen juste de régulation des comportements²⁴². Au niveau collectif, les vulnérabilités qui se dessinent consisteraient en des pénuries de matières premières dues à des problèmes d'approvisionnement, notamment en métaux rares, dépendants de dynamiques mondiales²⁴³, et en l'insuffisance des capacités informatiques²⁴⁴.

Concernant d'éventuels détournements, une mention est faite aux possibles incendies des véhicules automatiques « dans les quartiers populaires » lors de révoltes sociales²⁴⁵.

Finalement, nous traitons des interactions de la technologie avec les structures sociales, économiques et culturelles en trois points : l'évolution des comportements individuels, particulièrement de mobilité, les rôles et intérêts des acteurs et les sources potentielles de conflits en lien avec cette technologie.

²³⁹ « [...] je pense que ce sera simple [...] », Plein Air, à pied, à vélo ; « [...] parce que franchement je trouve que les gens s'adaptent à toutes ces technos assez vite. », TCAR / « [...] je pense que ça va être très ergonomique, je pense à mon avis, pour que ce soit utilisé comme ça a été prévu, je pense qu'il faut qu'il y est une interface, une ergonomie qui soit le plus accessible à tout type de public, y compris les personnes âgées, donc il faut que ce soit très facile d'utilisation. », AURBSE / « [...] il y aura un vrai travail à mener pour qu'il y ait une vraie ergonomie, mais je pense que c'est quelque chose qui posera pas trop de souci. », DREAL

²⁴⁰ « L'autonomie totale dans l'absolu n'est pas forcément bien, moi je suis pour garder un savoir-faire [de conduite] », ADEME

²⁴¹ « Là je pense que ce n'est pas un problème propre au véhicule autonome [...], mais le risque c'est de voir l'algorithme prendre des décisions à notre place, alors que notre mode de décision aurait été différent mais que on a optimisé pour vous un choix, voire aller jusqu'à la sanction comme en Chine [...] », ADEME

²⁴² « Le véhicule de demain nous dira peut-être : Bah non ! Vu la température, j'ai senti que ça glissait trop, je démarre pas. », ENGIE

²⁴³ « [...] ou sinon on privilégierait des solutions trop technologiques qui impliqueraient des problèmes de manque de ressources, de matières premières ou des problèmes énergétiques. », ADEME / « [...] c'est là ou moi je suis assez quand même fervent de la technique mais on sait que par exemple les métaux rares, ce sera toujours un approvisionnement délicat, suivant les évolutions des pays qui possèdent ce genre de richesses, je voudrais qu'on arrive quand même à retrouver une forme d'autarcie en termes de fonctionnement, mais même pour les entreprises, même pour l'industrie. La dépendance à des approvisionnements mondiaux, on voit bien aujourd'hui les problèmes que ça pose. », FNE Normandie / « Il faut travailler sur les risques. Les risques de pénuries de matières premières. », ENGIE

²⁴⁴ « [...] gérer les données de ces véhicules au niveau régional, on ne sera pas capable informatiquement [...] En plus, énergétiquement ça ne vas pas être possible. », ADEME

²⁴⁵ « Qu'ils soient incendiés dans les quartiers populaires [...] », Solidarauto

Sur le plan des comportements individuels, la projection dominante est celle d'une perdurance de la domination de l'automobile²⁴⁶, telle qu'elle existe actuellement sur le territoire. Celle-ci s'expliquerait par l'organisation urbaine, la performance de ce mode et son rôle social et culturel. En effet, l'ampleur géographique du territoire des déplacements et les bonnes conditions de circulation vont dans ce sens. De plus, les qualités intrinsèques du mode, en matière de temps de transport et de flexibilité seraient également des biais d'explication²⁴⁷. Finalement, la voiture individuelle apparaît comme un objet culturel²⁴⁸ et un signe statutaire²⁴⁹. La voiture automatique personnelle se trouverait donc dans une position favorable, recueillerait l'« adhésion » des citoyens²⁵⁰, et encouragerait la poursuite d'un tel modèle²⁵¹. Même si leur pouvoir de transformation est relativisé, deux principales dynamiques sont entrevues s'agissant du recul de cette situation : le covoiturage et le passage de la possession à l'usage. Concernant le covoiturage, les parties prenantes le considèrent avant tout comme un « idéal », actuellement encouragé par des « applications » et des « lignes de covoiturage dynamiques », mais dont le développement risque de rester « marginal »²⁵². Dans ce spectre, le véhicule automatique pourrait être un gage de confiance quant à la qualité de la conduite et la sécurité, qui constituent des barrières actuelles au covoiturage²⁵³. Globalement, les parties

²⁴⁶ « [...] pour aller dans les opposés extrêmes, on peut citer Marseille d'un côté, Lille de l'autre, avec d'un côté un modèle très étalé et de l'autre une ville qui s'est construite autour de la compacité [...]. Bon typiquement, à Rouen, on est plus proche du modèle de Marseille. », ADEME / « [...] nous on a beaucoup de territoires périurbains, voire ruraux, puisqu'on est sur une Métropole qui est très vaste. », MRN

²⁴⁷ « [...] l'automobile, auprès des citoyens, a quand même des avantages notoires en matière d'autonomie, de facilité de déplacement [...] », CEREMA / « La voiture restera de toute façon utile, incontournable sur certains types de déplacements. », MRN

²⁴⁸ « On touche quand même à un objet très très important dans la société française [...], on est encore un pays très centré sur l'automobile. », CEREMA / « [...] dans l'optique où on a un système de véhicules autonomes qui transporte les gens, que les gens n'utilisent plus leur voiture, ça je pense aujourd'hui les gens ne sont pas prêts, il y a un vrai sujet culturel sur la voiture. », ANBDD

²⁴⁹ « [...], dans le véhicule on se projette, avoir un véhicule c'est quand même un rang dans la société. », CEREMA / « A Rouen, à un moment, il y a même eu des manifestations, pour contrer les manifestations pour le climat, d'utilisateurs de 4*4 qui revendiquaient le droit de circuler avec leur 4*4, [...], ces dernières années, les 4*4 se sont développés pour affirmer l'appartenance à une catégorie sociale [...] », ADEME

²⁵⁰ « [...] je pense que le scénario 1 recevra plus facilement l'adhésion parce que les gens ont envie de posséder une voiture. », TCAR / « [...] on avait fait un petit test, en fait, sur la voiture autonome justement [...], en fait c'était très mitigé, 50% voulait garder leur propre voiture, ça veut dire qu'on aurait à la fois les voitures des gens, plus les voitures autonomes [...]. », ANBDD

²⁵¹ « Après du coup, le problème du véhicule autonome personnel, c'est que ça va rien changer à la plupart des politiques qu'on mène actuellement, qui sont la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, l'occupation de l'espace public. », DREAL / « [...] Ça résoudra pas les problèmes qu'on a actuellement, le problème de l'autosolisme, où les gens se déplacent un par un dans leur voiture, donc il y a une emprise sur l'espace public qui est immense, pour une jouissance individuelle au final. Donc pour moi, ce scénario, il est vraiment pas du tout souhaitable [...]. », Sabine

²⁵² « Dans l'idéal, ce serait bien que ce soit partagé, comme actuellement en fait, de privilégier le covoiturage au maximum, après on se rend compte que aujourd'hui, [...], on est beaucoup seul dans sa voiture », Plateforme SVP / « [...] donc on invente des tas de systèmes pour essayer d'industrialiser le covoiturage [...], lignes de covoiturage dynamique, des plateformes de mise en relation [...] le covoiturage, ça restera un peu marginal par rapport au volume de déplacements. », MRN / « [...] ils pourraient faire déjà du covoiturage en permanence, il y a des applications etc., mais ils le font pas [...] », Solidarauto / « Dans l'idéal, il faudrait que ce soit partagé, après dans la réalité on voit que c'est pas si simple que ça [...] », ANBDD

²⁵³ « [...] il y a beaucoup de freins liés à la personne connue, [...], c'est la personne qui conduit, [...], parce qu'il y a cette peur là en fait, de pas savoir comment la personne conduit. », Plateforme SVP / « [au sujet du covoiturage], on peut se poser toujours la question de la fiabilité du conducteur, donc là je pense que ça va alléger [...] », CEREMA

prenantes considèrent que l'automatisation des véhicules n'est pas susceptible d'engendrer un changement de comportement au sens du « partage des ressources ». Quant au recul de la possession automobile, il est considéré comme conditionné par le renouvellement générationnel²⁵⁴ et au développement d'une offre de location²⁵⁵. La relation de cette tendance à l'automatisation est peu commentée par les parties prenantes. Le deuxième scénario, qui pourrait incarner cette offre de location, est associé au modèle automobile classique, individuel, et aux problèmes qu'il pose²⁵⁶.

En deuxième lieu, nous renseignons les intérêts et rôles des acteurs tels que décrits par les personnes interrogées. Deux temporalités se dégagent au sein des commentaires. A court terme, à l'échelle nationale, Etat et grandes entreprises apparaissent impliquées dans la compétition mondiale entourant cette technologie, avec notamment pour objectif la formation de compétences industrielles dans une logique de réindustrialisation²⁵⁷. Cet investissement à la phase de développement est perçu comme risqué puisque « les options [technologiques] prises ne sont pas forcément celles qui s'imposent à la fin »²⁵⁸. A l'échelle locale, les parties prenantes mettent en avant l'opportunité pour la Métropole de Rouen de renforcer sa visibilité et son attractivité à travers une mise en œuvre expérimentale, puis précoce, de la technologie, dans un contexte de compétition entre agglomérations²⁵⁹. A long terme, au niveau territorial, nous trouvons une référence à de possibles créations d'emplois locaux, du fait de la spécialisation du territoire dans l'industrie automobile²⁶⁰, et à l'opportunité de développer le

²⁵⁴ « Pour les groupes de jeunes, on peut perdre le culte de la voiture objet, il y a un changement de dogme qui peut s'opérer, pour les autres, ça ne va rien changer. », ADEME / « Je pense que les jeunes, on va dire les 18-24, je pense que eux, le côté possession est moins, beaucoup moins fort que les générations d'avant, donc le véhicule autonome personnel, je pense pas qu'ils soient prêts à en acheter un. », Move'o / « [...] les valeurs des gens seront différentes, les jeunes maintenant, passer le permis de conduire ça va encore, mais avoir une voiture [...] Alors, après il y a des inconditionnels de la bagnole. Je pense que c'est une classe d'âge [...] », ENGIE

²⁵⁵ « [...] les loueurs, quels qu'ils soient, et ça vient, c'est lent, ont des offres globales. Nous, on commence à l'avoir sur notre flotte d'entreprise [...] », ENGIE

²⁵⁶ Pour une raison, pour moi, le scénario 2, il est un peu comme le scénario 1, il pérennise le système, l'usage de la voiture individuelle [...] ça va en contradiction avec l'usage conforme à l'intérêt commun quoi. », FNE Normandie

²⁵⁷ « Pour revenir sur les compétences industrielles, en Europe, on est dans une perte de compétences au profit de la Chine par exemple, mais c'est encore possible de la recréer. [...], pour moi les choix technologiques doivent privilégier nos économies locales. », ADEME / « Justement la question de la relocalisation industrielle, la création d'emplois locaux si possible non délocalisables. », AURBSE

²⁵⁸ « Après c'est vrai que bien sûr la France peut injecter 300 millions sur le sujet pour obtenir un monopole mondial sur la technologie, mais là encore il faut faire bien attention car les options qui sont prises ne sont pas forcément celles qui s'imposent à la fin, on l'a vu dans le cas des véhicules électriques et du choix des prises pour les bornes de recharge, ce ne sont pas les prises françaises qui se sont imposées mais le modèle allemand. », ADEME / « [...] ce qui est assez évident autour du véhicule autonome, il y a une compétition mondiale. », MRN

²⁵⁹ « On est sur une Métropole qui a un déficit d'image, d'attractivité, et donc du coup je pense que ça peut impulser cette nouvelle image que pourrait avoir Rouen, un territoire d'innovation, d'expérimentation. [...] Je pense que le territoire en a besoin. [...], si Rouen peut de positionner comme Métropole, la Métropole nationale, une des métropoles européennes en avance sur ces questions-là, c'est sûr que ça me paraît intéressant. Surtout que si ça fonctionne, que ça fait des petits dans plein d'agglomérations, c'est sûr que Rouen pourrait être érigé en tant que référence. », AURBSE / « Je pense qu'il faudrait passer, je sais pas, si les essais sont concluants [...] à une vitesse supérieure [...] et qu'on garde notre avance, je parle pour Rouen, parce que d'autres villes sont nous doubler [...] », Commune de de Darnétal

²⁶⁰ « [...] on est une Métropole et une région assez fortement tournée vers l'industrie automobile donc je pense qu'il y a une carte à jouer pour créer des emplois, je pense que ça créera des emplois si ça fonctionne. [...] cette

réseau de transports en commun²⁶¹. La question du financement des infrastructures dédiées aux véhicules automatiques est également posée. Face aux difficultés de financement propres, la participation des « collectivités locales au-dessus » et de l'Etat est jugée nécessaire²⁶². Des contrats publics-privés sont également évoquées, quoique négativement jugés²⁶³. D'autre part, le mode d'organisation des services de « taxis automatiques » est interrogé. Une opposition se dégage entre une gestion publique, sociale, sur le modèle des transports collectifs, et privée, où le prix du service résulterait de la demande et de la disposition à payer²⁶⁴.

Le dernier thème traité dans cette catégorie d'analyse est celui des conflits en lien avec la technologie. Interrogées sur la possibilité d'oppositions politiques et citoyennes, les parties prenantes relativisent leur occurrence et leur ampleur d'une part, mettant en avant l'enthousiasme dont les véhicules automatiques font l'objet²⁶⁵, et leur prise en compte dans les décisions publiques d'autre part, au vu du traitement des mobilisations passées²⁶⁶. Quoi qu'il en soit, nous repérons cinq potentielles sources de conflit : gestion des données personnelles, suppression d'emplois, encombrement de l'espace, menace vis-à-vis d'objectifs

technologie soit opérationnelle et fasse ses preuves, ça peut être que bénéfique pour le territoire, parce qu'il y a déjà Renault, Cléon qui est déjà implanté [...] », AURBSE

²⁶¹ « [...] le véhicule autonome, pour permettre de développer les transports collectifs à coût moindre que le transport à la demande actuellement par exemple, de faciliter la mobilité sur tout le territoire et pour tous, je pense que c'est vraiment quelque chose qui est souhaitable. », DREAL / « Alors, la localisation, le scénario 3, qui je ne le cache pas à ma préférence, effectivement réponds à ce besoin de rabattement sur les lignes structurantes. », CPTC / « en bout de ligne TEOR, [...] beaucoup de gens de la campagne assez loin viennent en voiture classique et il se gare là, [...], ils nous prennent tout le stationnement de la ville [...] donc le coup du rabattement ce serait bien [...]. », Commune de Darnétal

²⁶² « [...] On pourrait imaginer aussi d'autres incitations de collectivités locales au-dessus, ou de l'Etat, ça pourrait s'inscrire dans une politique sur les mobilités, au-delà des seules collectivités territoriales, parce que budgétairement ça va être délicat. », Commune d'Elbeuf

²⁶³ « Parce que là j'ai l'impression, c'est vrai pour les trois scénarios, le coût pour la collectivité il va être immense, alors qu'on arrête pas de dire que la collectivité n'a pas de sous. Alors, je sais ce qu'on va faire, on va faire un partenariat public-privé sûrement, où si ça ne marche pas c'est comme d'habitude, c'est la collectivité qui paiera. Le coût d'investissement est quand même beaucoup pour la collectivité, enfin là on voit sur toutes les grosses infrastructures de travaux publics, c'est le public qui investit et c'est le privé qui va récupérer les bénéfices, s'ils existent, sinon, encore une fois les pertes seront payées par la collectivité. », Sabine

²⁶⁴ « Le taxi, après ça dépend si c'est public ou privé [...] », AURBSE / « Et le taxi autonome, [...] C'est une initiative privée de toute façon. », Renault / « Là, on a deux logiques, parce qu'on sait très bien que aujourd'hui on ne commercialise plus des objets selon leurs coûts mais selon la capacité à payer des personnes, c'est comme par exemple l'iphone, donc soit on a un véhicule autonome qui est intégré à une politique publique, soit on se retrouve sur un schéma du type de l'iphone. » ; « [...] ça dépend pas mal de la vue qui est adoptée par rapport au véhicule autonome : soit plutôt libérale, soit plutôt sociale. », ADEME / « Dans le scénario 2, [...], il faudrait poursuivre votre tarification et peut être réussir à ce que le taxi autonome rejoigne le véhicule autonome du scénario 3. », Solidarauto / « C'est-à-dire que en termes d'usage on est plutôt scénario 2, puisqu'on a une application, on fait du point à point, du partage avec du détour, mais au niveau tarification on est intégré au réseau de transport. Donc on a, tu vois, l'efficacité du scénario 2 dont je parlais tout à l'heure, avec le prix du scénario 3 [...] c'est un scénario mixte qui est intéressant quand même [...] », Renault / « [Scénario 2] [...] notamment au niveau des tarifs, que tout le monde puisse y avoir accès. », MRN / « Il faut que ce soit accessible à tout type de public. Je pense qu'il faut qu'il y est une réelle inclusion sociale derrière, pour moi c'est fondamental. », AURBSE

²⁶⁵ « Beh je dirais, oppositions politiques et de groupe de citoyens, 1. Parce que franchement les gens sont plutôt enthousiastes. », TCAR / « [...] moi j'aimerais bien qu'il y en est, mais je pense pas qu'il y en aura beaucoup [...] », Sabine

²⁶⁶ « Oppositions politiques et groupes de citoyens. Oui, sûrement, mais l'importance moi je dis 0. Parce que j'ai vécu tellement de situation où on a fait des pétitions et tout et puis la décision passe quand même. », Rue de l'Avenir

environnementaux et concurrence avec d'autres projets de transport pour leur financement. Si les deux premiers sont simplement mentionnés²⁶⁷, les trois suivants sont davantage détaillés. Dans le cas de l'encombrement, l'influence du véhicule automatique sur la place accordée à la voiture au sein de la ville est crainte²⁶⁸. Une répondante fait ainsi référence aux véhicules « *Uber* » ou encore aux « *trottinettes* » qui ont « envahis les rues »²⁶⁹. Ensuite, pour plusieurs personnes de notre échantillon, le véhicule automatique va à l'encontre des objectifs environnementaux locaux et globaux²⁷⁰. Ainsi, un « modèle écologiquement abouti », qui prendrait en compte les effets environnementaux dans leur variété et leur globalité²⁷¹ est attendu. Par ailleurs, le développement du véhicule automatique est également perçu comme une menace pour le financement d'autres projets de transport, lignes de transports en commun²⁷² et pistes cyclables²⁷³ en tête. Tout dépend alors de la chronologie, comme le fait remarquer un des participants dans le cas du développement de la pratique du vélo, la menace n'existant que s'il y a synchronisme²⁷⁴. Par ailleurs, les parties prenantes notent la place grandissante des réseaux sociaux comme biais de mobilisation, allant de pair avec un renforcement de la « place du sociétal » dans la gouvernance des technologies²⁷⁵.

²⁶⁷ [...] s'il y a des montées aux créneaux, ce serait sans doute par rapport à la question des données ou des emplois, les chauffeurs de taxis, mais aussi les chauffeurs de bus par exemple. », Commune d'Elbeuf

²⁶⁸ « [...] ma crainte, enfin je sais pas si on peut appeler ça une crainte, mon questionnement, il va être autour de quelle va être la place de l'automobile, on va dire dans la société [...], notamment sur l'encombrement de l'espace public par l'automobile. », CEREMA / « [...] on en revient sur quelle place on lui accorde dans nos villes. », DREAL / « [...], parce qu'on voit bien quand même que ça peut renforcer la présence de voiture dans le centre-ville, donc ça prend de la place, donc si ce n'est pas propre. Il faut pas que ce soit que sous l'angle de la sécurité routière. », Commune de Darnétal

²⁶⁹ « [...] des oppositions au fait qu'ils envahissent les rues, comme les Ubers envahissent les rues [...] le nombre peut devenir, c'est-à-dire que ça peut être bien jusqu'à un certain nombre puis après si y en a trop c'est plus bien, comme les trottinettes quoi. », Renault

²⁷⁰ « [...] l'introduction de nombreux véhicules et qui demande, donc on pérennise un système, donc le véhicule individuel. [...] Ca me paraît important dans l'évolution effectivement de notre société, dans les engagements que l'on a pris, notamment au niveau de la COP. », FNE Normandie / « Je suis pas très favorable à son développement [du véhicule automatique] pour des raisons écologiques. », Plein Air, à pied, à vélo

²⁷¹ « [...] surtout pour Rouen c'est tellement important de réduire la pollution et l'émission de CO2, que si on met de l'argent dans une expérience comme ça, il faut que ce soit sur le modèle le plus écologiquement abouti. », Commune de Darnétal / « [...] il faut aussi prendre en compte les coûts environnementaux, en effet cela coûte moins cher de fabriquer des batteries en Arabie Saoudite, mais au niveau du recyclage des déchets [...]. C'est ce qu'on voit également dans le recyclage des bateaux, comme il y a de l'amiante, on les envoie se faire démanteler en Inde, et on sait pourquoi [...] Donc lorsque l'on conçoit une technologie, il faut se projeter sur les générations à venir. », ADEME

²⁷² « [...] parce qu'on disait il va y avoir le véhicules autonomes qui vont servir à la place de ce bouclage, donc bon c'est un petit reproche, mais bon il fallait bien faire l'expérience quelque part, mais il faudrait pas que ça nuise au prolongement du T4 vers Technopolis. », CPTC

²⁷³ « [...] je trouve qu'on met beaucoup de poids dans ce véhicule, alors qu'on devrait déjà travailler sur la courte distance, le vélo. », ANBDD / « C'est ça qui m'embête, c'est que déjà on est pas capable de déployer des sous pour faire des pistes cyclables, alors si on investit massivement ce serait vraiment la goutte. », Sabine

²⁷⁴ « [...] parce que le vélo se développant, on peut penser que la voiture autonome va être un frein, enfin ça va pas être un frein parce que je pense que le vélo va se développer plus vite que la voiture autonome. », FNE Normandie

²⁷⁵ « [...], quand on voit la tournure que prennent les mobilisations avec les réseaux sociaux, [...] sur la méthanisation [...] son développement s'est retrouvé en fait très fortement freiné du fait de la constitution d'associations, de groupes de riverains, hostiles à l'implantation de ces unités de méthanisation, je me dis en fait les nouvelles technologies font peur [...], la voiture autonome, son acceptabilité doit passer quand même par une communication assez poussée : démontrer qu'il n'y a aucun risque [...] », AURBSE / « Sauf que tous nos systèmes, les réseaux sociaux, font que la place du sociétal est de plus en plus importante. », ENGIE

Suggestions des parties prenantes en matière d'action publique

La démarche d'évaluation a pour objectif de renseigner la stratégie des autorités publiques locales. Recourant à une démarche participative, les parties prenantes peuvent proposer au cours de la discussion les « actions » publiques qui leur paraissent adaptées dans le cadre des scénarios présentés.

Nous décrivons tout d'abord ces propositions, puis les synthétisons au sein du tableau établi dans la première partie de ce travail, résumant les politiques publiques envisagées dans la littérature scientifique dédiée. Les actions publiques sont ainsi classées selon les aires et les moyens d'intervention.

Dans l'ordre de présentation du tableau, nous trouvons à la catégorie de gestion des infrastructures et de la circulation les idées d'identification extérieure des véhicules comme moyen d'intervention réglementaire et d'établissement d'un plan de financement des infrastructures dédiées aux véhicules automatiques. Des suggestions précédemment détaillées dans la synthèse des commentaires portant sur la répartition du rôle des différents acteurs.

Concernant l'aire d'intervention liée au « Partage des véhicules », les moyens réglementaires proposés portent sur la conception des systèmes de réservation qui, pour favoriser le partage des véhicules, devraient être conçus dans le but d'assurer la sécurité à bord d'une part, et l'optimisation de l'appariement des voyageurs d'autre part, notamment en vue de limiter les kilomètres parcourus. Les extraits d'entretien correspondants ont également fait l'objet de renvois dans l'analyse du contenu qualitatif précédemment réalisée.

Dans le domaine des transports collectifs, entendu ici au sens large de transports partagés, plusieurs types de moyens d'intervention sont mis en avant. Au niveau réglementaire, comme nous l'avons mentionné, les idées de standards environnementaux et de conception intérieure des véhicules évitant les chutes ont été avancées. La nécessité de standards environnementaux était déjà présente dans la littérature portant sur l'action publique dédiée au véhicule automatique. Dans la catégorie des instruments économiques, l'idée de définition du mode de gestion, des termes du marché, des services de taxis automatiques est présente. Les parties prenantes n'affirment pas la nécessité d'un cadre monopolistique, comme c'est le cas dans la littérature, mais débattent de deux types de modes de gestion : une gestion publique, monopolistique par défaut, ou libérale. Dans la même catégorie, la tarification est également évoquée. En effet, la fixation du prix selon le nombre de kilomètres parcourus, telle que proposée dans le scénario d'introduction des services de taxis

automatiques défavoriserait, selon certaines des personnes interrogées, les habitants du périurbain qui parcourent plus de kilomètres. Il en va donc du développement d'un système de fixation des prix équitable sur ce plan. Dans la catégorie de la « Planification », nous notons plusieurs références à un plan de déploiement des services de transports collectifs automatiques. Différents critères pourraient présider à la définition de celui-ci : l'offre actuelle et future de transports en commun, afin d'éviter des effets de concurrence ou de proposer un service dans des zones difficiles à desservir du fait de contraintes topographiques ou urbanistiques²⁷⁶ ; la répartition des activités²⁷⁷ ; l'équité territoriale ou encore l'équité sociale, au sens du revenu²⁷⁸, de l'âge ou du taux d'immobilité²⁷⁹. Pour résumer, il s'agirait de « déterminer les cas d'usage dans lesquels les gains seront les plus importants »²⁸⁰ ou de faire de la mise en place des services de transport automatiques un « outil d'aménagement »²⁸¹. Concernant les moyens d'intervention propres à l'organisation de l'offre, la nécessité d'aménager des zones limitant la rupture de charge dans le cas d'un système de rabattement, est mise en avant. L'« organisation de l'intermodalité » était déjà un point d'attention désigné par la littérature. A la catégorie des outils d'analyse, ajoutée au tableau précédemment établi, nous notons l'analyse financière par rapport à des services conduits, par exemple dans le cas du TAD, afin de juger de la pertinence de l'automatisation de ces services²⁸².

Concernant l'intervention en termes de « Mixité des modes », les idées d'analyse financière comparative tout mode confondu²⁸³, sur le modèle des « comptes déplacements »²⁸⁴, ou avec d'autres projets de transport, sont présentes. En effet, puisque le

²⁷⁶ « Par contre, dans les situations comme je vous ai dit, les situations difficiles à desservir, une déclivité, largeur des voiries, etc. Oui, si on met du taxi autonome, ça rendra bien service. [...] quand vous parlez des zones périurbaines, il faudrait ajouter, les zones urbaines qui sont géographiquement ingrates, parce qu'elles ont une forte déclivité [...] des petites rues très étroites, avec forte déclivité [...] et là le petit véhicule de rabattement trouve toute sa pertinence, sur les Hauts de Rouen vous avez des quartiers où il y a rien, parce que à pied, ça monte comme ça, un minibus passe difficilement. », CPTC

²⁷⁷ « [...] la Métropole a identifié des lieux, des zones [...] il y a tous les outils de planification sur les pôles d'activité économique, donc j'aurais tendance à dire qu'il faudrait que le véhicule autonome permette le déplacement des salariés vers ces zones d'activités déjà identifiées. [...] Plutôt de le penser en terme d'outil [...] Par rapport aux pôles existants [...] », Commune d'Elbeuf / « En tout cas, les services qui doivent être mis en place avec ce véhicule doivent être pensés dans une logique de connexion entre deux pôles, qu'ils s'agissent de pôles d'habitation ou de pôles qui ont une fonction, fonctionnels, comme les pôles d'activités. », ADEME

²⁷⁸ « [...] j'ouvrirais l'espoir que ça accroît la mobilité sur les revenus faibles, mais ça serait un souhait [...] Si on devait développer et faire des investissements ça pourrait être un des objectifs effectivement, mais oui, ça pourrait être un super vecteur [...] », Commune d'Elbeuf

²⁷⁹ « [...] pour des territoires où on est en dehors du maillage des transports en commun, sur des territoires où on a un fort taux de personnes immobiles, parce que voilà, elles ont pas assez de moyens pour passer le permis de conduire, ou un fort taux de retraités », AURBSE

²⁸⁰ « [...] ce qui est important c'est de bien déterminer les cas d'usage dans lesquels ces gains seront les plus importants [...] », Move'o

²⁸¹ « Le penser en termes d'outil d'aménagement par rapport aux pôles existants. », Commune d'Elbeuf

²⁸² « [Scénario 3] [...] la question se pose vraiment sur le fait de privilégier ce scénario-là par rapport à Filor, je pense qu'il y aurait vraiment un comparatif à faire. », Plateforme SVP

²⁸³ « [...] Faut-il encore connaître quelle est la globalité du budget de la Métropole dédié aux transports : infrastructures et tout, parce qu'il y a pas vraiment de compte analytique sur ce sujet. », FNE Normandie

²⁸⁴ <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/etablir-compte-deplacements-echelle-locale>

véhicule automatique peut intervenir à différents endroits du système de transport en tant que mode privé ou mode collectif, il nécessite une focale « intermodale ».

A l'aire d'intervention de l' « Exclusion sociale », une subvention à l'acquisition de véhicules automatiques personnels est évoquée afin de garantir un accès équitable à ce nouveau bien²⁸⁵.

Finalement, nous ajoutons une aire d'intervention à celles préalablement établies à partir de la littérature : « Filière industrielle », au sens du système de production des véhicules automatiques. Les suggestions portent sur le développement d'outils d'analyse. Deux types d'analyses sont mentionnés : l'analyse en cycle de vie environnementale²⁸⁶ et l'analyse de « viabilité » de la filière. Dans la seconde, les questions d'approvisionnement, de capacités de production et de lieux de production sont à traiter, telles qu'évoquées dans la catégorie des dépendances de l'analyse herméneutique. Dans le tableau ci-dessous, les actions publiques désignées par les parties prenantes rouennaises sont notées en gras, et, lorsqu'elles sont semblables à celles proposées dans la littérature, elles sont également inscrites en italique.

²⁸⁵ « Pour les revenus faibles, sur le scénario 1, la barrière à l'entrée, même si après on s'y retrouve dans le temps peut être un point dur, donc, sauf, j'allais dire, mise en place de politiques fiscales incitatives comme ça peut être le cas pour le véhicule électrique [...] » / « On peut imaginer qu'il y est des aides financières qui soient mises en place, [...] pour permettre l'accès à ces véhicules autonomes personnels pour des personnes qui ont moins de revenus [...] », Plateforme SVP

²⁸⁶ « Je pense qu'on ne peut raisonner que dans une démarche d'ACV de l'ensemble de la chaîne de valeur. », ADEME

Tableau 98 : Synthèse des moyens d'intervention publique suggérés par les parties prenantes lors de la consultation

<p style="text-align: center;">Aires d'intervention</p> <p>Moyens d'intervention</p>	<p style="text-align: center;">Gestion de la circulation et des infrastructures</p>	<p style="text-align: center;">Partage des véhicules</p>	<p style="text-align: center;">Transports collectifs</p>	<p style="text-align: center;">Mixité des modes / Equilibre modal</p>	<p style="text-align: center;">Exclusion sociale</p>	<p style="text-align: center;">Filière industrielle</p>
<p style="text-align: center;">Réglementation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Interdiction des trajets à vide - Centralisation des données - Identification extérieure des véhicules 	<ul style="list-style-type: none"> - Voies de circulation réservées - Systèmes de réservation favorables à la sécurité ou à l'optimisation du nombre kilomètres parcourus 	<ul style="list-style-type: none"> - Standards environnementaux - Conception intérieure anti-chutes 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la vitesse de circulation 	<ul style="list-style-type: none"> - Règles de conception des systèmes 	
<p style="text-align: center;">Instruments économiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Taxation au kilomètre - Tarification du stationnement 		<ul style="list-style-type: none"> - Cadre monopolistique pour le marché des taxis automatiques / Choix du mode de gestion - Subvention des services peu ou non rentables - Tarification équitable 		<ul style="list-style-type: none"> - Subvention à l'acquisition de véhicules automatiques particuliers 	

Aires d'intervention Moyens d'intervention	Gestion de la circulation et des infrastructures	Partage des véhicules	Transports collectifs	Mixité des modes / Equilibre modal	Exclusion sociale	Filière industrielle
Planification	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêt/limitation de l'expansion routière - Limites urbaines - Plan de financement des infrastructures 		<ul style="list-style-type: none"> - Plan de déploiement (desserte TC, outil d'aménagement, équité territoriale, équité sociale [revenu, âge, taux d'immobilité]) 	<ul style="list-style-type: none"> - Aménagement de l'espace public au profit des modes actifs 		
Offre			<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du système - Organisation de l'intermodalité / Conception des zones de « rupture de charge » 			
Outils d'analyse			<ul style="list-style-type: none"> - Analyse financière par rapport à des services conduits 	<ul style="list-style-type: none"> - Comptabilité financière à l'échelle de l'ensemble du système de transport / « Compte déplacements » - Analyse financière comparée par rapport à d'autres projets de transport 		<ul style="list-style-type: none"> - ACV - Analyse de vivabilité de la filière en matière d'approvisionnement , de capacités de production et de lieux de production

Autres applications du véhicule automatique envisagées par les parties prenantes

Nous terminons la présentation des données qualitatives par une synthèse des propositions de scénarios des parties prenantes. Celles-ci peuvent être affiliées à quatre catégories : intégration au réseau de transports collectifs, desserte locale ou « intrazone », services de transport pour des « établissements » et desserte événementielle.

Dans la catégorie de l'intégration des véhicules automatiques aux transports collectifs, ceux-ci sont vus comme un moyen de compléter les services actuels à travers de nouveaux horaires, particulièrement de nuit²⁸⁷, ou de nouvelles liaisons²⁸⁸. Dans le cadre d'une refonte plus générale du réseau, des possibilités de remplacement de lignes secondaires²⁸⁹ ou d'automatisation complète²⁹⁰ de celui-ci sont évoquées. Le véhicule automatique est également envisagé comme une solution de desserte locale, « intrazone ». Les zones d'activités ou industrielles²⁹¹ et les bourgs des petites communes de l'agglomération²⁹² sont ainsi mentionnés comme des secteurs d'intérêt. La troisième catégorie, des services de transport à des « établissements » comprend l'utilisation des véhicules automatiques pour des déplacements professionnels²⁹³, les résident-e-s d'EHPAD²⁹⁴ et les habitant-e-s de nouveaux « complexes immobiliers » dont les promoteurs auraient intégré ce service de transport aux

²⁸⁷ « Alors on avait imaginé un complément de nuit, on est en ligne régulière, et la nuit on bascule sur des véhicules autonomes à petite capacité, parce que les gens il y a une vraie demande et on a du mal à la rendre. », TCAR

²⁸⁸ « [...] faire un pendulaire entre le Zénith et le Madrillet [...] ça fait une transversale entre deux terminaux de transports en commun et donc c'est plus que du rabattement, c'est entre le rabattement et la connexion transversale qui manquait. Ça, ça devient vraiment intéressant. Ça comble un manque qui du coup participe à l'efficacité globale du réseau. », Renault

²⁸⁹ « [...] que deviennent les réseaux de transports conventionnels [...], aujourd'hui on a toute une hiérarchie de lignes de bus, [...], de petites lignes qui vont desservir des zones pas denses, et là on voit bien que ces lignes-là elles sont pas adaptées [...] », MRN

²⁹⁰ « Mais c'est aussi parce qu'on n'a pas imaginé le scénario 4 où l'ensemble des transports en commun devient autonome. », Renault

²⁹¹ « services-là plutôt de journée, mais dans les zones industrielles [...] peut-être aussi intéressant, non pas des services publics de mobilité mais quand on a des grandes parcelles [...], qui sont parfois très étendues avec des entreprises qui ont des emprises très larges et qui du coup sont plutôt défavorables à la marche à pied. », MRN / « Le scénario 2 pourrait permettre de desservir des zones d'emplois, d'organiser le covoiturage dans des zones d'emplois. », DDTM / « Et puis il y a le service intrazone qui peut être intéressant aussi, sur une zone qui est assez importante et sur laquelle vous avez un service de taxis autonomes ça fait du sens, et là c'est super attractif aussi, parce que pour les entreprises et pour les employés qui sont sur le site, pour aller déjeuner le midi, ce genre de choses là ça a de la valeur. [...] dans le scénario 3, puisqu'on pourrait imaginer que le dernier kilomètre il se fasse sur des zones d'activités, parce que là sur le scénario 3, on était sur des zones d'habitation des gens pour rentrer chez eux, mais si le dernier kilomètre il est fait pour accéder au travail [...] », Move'o

²⁹² « [...] j'imagine assez bien, même si ça a été assez peu creusé, de la navette de bourg, parce qu'on concentre tout, on ramène tout sur les métropoles, mais on offre assez peu de solutions pour la vie locale, et je sais qu'il y a des territoires qui commencent à regarder ces sujets-là. [...] animer ce qu'ils appellent des centres bourgs. », TCAR

²⁹³ « Oui, exactement en tant que nouvelle offre, le fait aussi sur certaines zones de pouvoir y aller à plusieurs entre collègues, ce genre de choses. », Move'o / « [...] moi je voyais ça en corporate, dans des grandes entreprises, qui comme ça n'aurait pas à louer Uber. », Commune d'Elbeuf

²⁹⁴ « [...] plusieurs personnes d'un EPHAD qui prennent le taxi et se regroupent [...] », Plateforme SVP

projets²⁹⁵. Dans les trois cas, il s'agit de systèmes de transport privés, mais mutualisés à des groupes de personnes au sein de l' « établissement ». Enfin, l'intérêt de la mobilisation de véhicules automatiques pour des services temporaires, dans le cadre d'évènement comme l' « Armada » est relevé²⁹⁶.

Tableau 99 : Scénarios proposés par les parties prenantes rouennaises lors de la consultation

Catégorie	Services
Intégration au réseau de transports collectifs	<ul style="list-style-type: none"> - services de nuit - nouvelles liaisons au sein du réseau de transports en commun - substitution à des lignes secondaires - automatisation complète du réseau
Desserte locale	<ul style="list-style-type: none"> - zones d'activités - centres bourgs
Services de transport à des établissements	<ul style="list-style-type: none"> - déplacements professionnels (entreprises) - EHPAD - complexes immobiliers
Services de transport temporaires	<ul style="list-style-type: none"> - services de transport dédiés à un évènement

²⁹⁵ « Ouais je me dis s'il y a des complexes immobiliers qui se créent avec des services proposés de véhicules autonomes pour faciliter les déplacements, ça peut inciter les gens à venir, oui. », TCAR

²⁹⁶ « [...] ça peut répondre à des demandes bien précises [...] ou à des évènements, je pense notamment à l'Armada. », AURBSE

L'analyse qualitative du contenu des entretiens nous a amenée à relever les données d'ordre prospectif et les suggestions des parties prenantes en matière d'action publique. Nous avons en particulier recouru, en l'adaptant, à la grille d'analyse « herméneutique » proposée par Grunwald (2019) et à la catégorisation de l'action publique locale en matière de véhicules automatiques établie à partir de la littérature disponible dans la première partie de notre travail (tabl.2).

Nous avons ainsi résumé les commentaires des parties prenantes s'agissant de la définition de la technologie sur les plans technique, physique et serviciel. Ces contributions permettent de questionner la définition de l'objet d'étude. Elles pourraient être considérées comme une source de données pour la construction de nouveaux scénarios. Nous nous sommes également intéressés aux récits sur le futur de manière plus générale, examinant la relation entre technologie et société. Cette exploration permet notamment de désigner des effets qui ne sont pas pris en compte par le cadre de mesure fixé dans notre démarche d'évaluation, et donc un enrichissement de l'exposé des effets de l'objet d'étude, notamment non attendus ou rebond. L'étude des interactions avec la société permet quant à elle de donner corps à la dynamique d'introduction de ce système dans d'autres dimensions que celles explorées par nos scénarios, qui tiennent de la description d'un mode de transport. A côté de cela, le dispositif de consultation a permis d'étoffer l'inventaire des actions publiques applicables à la gestion des véhicules automatiques par rapport au bilan dressé à partir de la littérature correspondante. Finalement, l'exercice prospectif a été prolongé par les parties prenantes à travers de nouveaux pronostics sur les emplois possibles des véhicules automatiques. Ces derniers pourraient être étayés et évalués, dans une nouvelle itération. Ces suggestions montrent bien l'intérêt d'une réflexion collective sur les applications du véhicule automatique au sein du système de transport de personnes.

L'analyse des données qualitatives issues de la consultation des parties prenantes est donc d'intérêt en matière de prospective et d'évaluation. En cela, deux perspectives d'approfondissement se dégagent : la conception du dispositif de participation et la grille d'interprétation du contenu.

Tout d'abord, notons que les parties prenantes reconnaissent l'intérêt du choix de la Métropole de Rouen comme cas d'étude. En effet, en tant que lieu d'expérimentation, l'objet d'évaluation, même s'il est encore expérimental, est enraciné dans le paysage local, les parties prenantes y ont été confrontées de près ou de loin²⁹⁷. De plus, le dispositif montre son potentiel « émancipateur » dans le cas d'un des participants, qui s'est intéressé de plus près au véhicule

²⁹⁷ « le fait que Rouen est un territoire d'expérimentation sur ce sujet-là, donc de toute façon on va être amené à travailler sur ces questions-là, [...] » (AURBSE) / « [...] oui donc c'est vrai que effectivement on y est un peu plus à l'écoute, on s'intéresse [...] » (Rouen)

automatique à la suite de notre demande d'entretien²⁹⁸. Bien évidemment, le dispositif proposé montre plusieurs limites. Elles tiennent principalement au « fardeau cognitif », résultat de la largesse thématique des effets étudiés et des « détournements » possibles. Plusieurs parties prenantes relèvent en effet la longueur du questionnaire ou la difficulté à répondre à certaines questions, « qu'on ne se pose pas tous les jours »²⁹⁹. De plus, les questions portent sur des thèmes variés, et les répondant-e-s, selon leur profil, ne se sentent pas en mesure de répondre à l'ensemble d'entre elles³⁰⁰. Finalement le dispositif tel qu'il est conçu est sujet à des « détournements », au sens où les participant-e-s sont susceptibles de répondre selon ce qu'ils souhaitent et non ce qu'ils anticipent³⁰¹. La méthode proposée est donc susceptible d'être enrichie de techniques de consultation évitant ces écueils, à travers des techniques d'explicitation, ou en abreuvant le débat d'estimations quantitatives obtenues grâce à des modélisations (Salter et al., 2010). Une consultation collective est également envisageable, même si elle n'éliminerait pas le fardeau cognitif que peut comporter ce type d'étude, elle permettrait aux parties prenantes de s'exprimer prioritairement sur les thématiques sur lesquelles elles disposent d'une expertise particulière. Plus largement, elle signifierait une prise de décision plus « procédurale ».

Le second point d'approfondissement pourrait porter sur la grille d'interprétation. Nous avons essentiellement mobilisé celle de Grundwald (2019), puis proposé des analyses de contenus thématiques. Des approches comme celle des visions du futur de Chateauraynaud, mobilisée par exemple par Rigal (2018) dans une étude citoyenne exploratoire sur les projections de l'avenir de la mobilité spatiale, pourraient être explorées. Cette hypothèse nous ramène plus généralement aux méthodes de recherche utilisées en prospective.

²⁹⁸ « Concrètement, avec les informations que j'ai pu avoir, qui sont relativement postérieures à votre demande [...] », FNE Normandie

²⁹⁹ « [...] parce que là du coup on se pose des questions mais sur quelque chose qui est encore inexistant et qui sera peut-être émergent dans quelques temps, ça reste un exercice assez théorique. », Commune de Rouen / « Il y a pas mal de questions, c'est vrai que c'est des questions qu'on ne se pose pas tous les jours. », DREAL / « Scénario 1, ce qui est difficile c'est de tout détailler scénario 1, 2, 3. [...] Ça c'est plus compliqué, ces questions-là il faut quand même bien réfléchir. », Commune de Darnétal

³⁰⁰ « J'avoue que je connais pas assez, non je peux pas dire en fait. », Renault / « Euh, je sais pas bien vous dire, je mettrais 0 dans le doute pour les trois scénarios, j'ai du mal à voir le lien de cause à effet. », TCAR

³⁰¹ « On peut prendre ses rêves pour des réalités ? », Plein Air, à pied, à vélo / « [...] je suis vraiment pessimiste sur l'évolution des personnes, je vais plutôt répondre ce qu'il faudrait. », DREAL

7.4.3. Synthèse des résultats, une discussion riche et nuancée

Nous synthétisons finalement l'ensemble les résultats du traitement des données dans le tableau suivant :

Tableau 100 : Synthèse des résultats du traitement des données de l'évaluation

Analyse des données quantitatives	
Analyse descriptive	
Profil de l'échantillon	<ul style="list-style-type: none">- 65% masculin- 74% de plus de 40 ans- 83% diplômé Bac +5 ou plus- 65% vit dans la région de Rouen depuis plus de 10 ans- 74% engagé professionnellement dans le secteur des transports- 74% déclare être intéressé par le sujet du « véhicule autonome »- 26% a pris part à l'organisation de l'expérimentation <i>RNAL</i>
Pondération des critères	<ul style="list-style-type: none">- Coloration environnementale, avec une préoccupation marquée pour la pollution de l'air- Equité d'accès à la mobilité selon la localisation importante du fait de l'étendue du territoire métropolitain- Volonté d'encourager les modes alternatifs à la voiture particulière, transports en commun et vélo particulièrement

Estimation des effets	<ul style="list-style-type: none"> - Le troisième scénario apparaît comme le plus intéressant au sens des critères d'évaluation retenus. Sa contribution positive en matière d'équité d'accès à la mobilité selon le revenu, selon la localisation et sur l'augmentation de l'utilisation des transports en commun font consensus. - L'introduction du véhicule automatique personnel engendrerait une augmentation de la circulation automobile, effet rebond de la facilitation de l'utilisation du véhicule. Les conséquences négatives de celle-ci sont multiples, particulièrement sur le plan environnemental. - La pratique du vélo et la densification des logements sont négativement affectées par l'ensemble des scénarios. - La sécurité des déplacements et l'équité d'accès à la mobilité selon l'âge sont favorisées par l'ensemble des scénarios. La voiture automatique s'adresse davantage aux plus âgés alors que le système de rabattement automatique permettrait également une amélioration de la mobilité des plus jeunes (5-17 ans).
Analyse multicritères	
Classement des scénarios	<ul style="list-style-type: none"> - Classement des scénarios selon l'analyse multicritères PROMETHEE II : 1 - Scénario 3 : « Le véhicule autonome intégré au réseau de transports en commun » 2 - Scénario 2 : « Le taxi autonome » 3 - Scénario 1 : « Le véhicule autonome personnel » - Critères susceptibles de faire varier le classement et pondération associée : « Densification des logements » (27%), « Densification des emplois » (27%), « Accès à la mobilité des PMR » (51%), « Emplois dans le transport local » (57%) et « Pratique du vélo » (67%). Le premier scénario ne se trouve jamais en première position. - Le classement est considéré comme très stable. - Les résultats obtenus grâce à l'analyse multicritères correspondent aux réponses obtenues à la question 25 du support de consultation : « Quel scénario vous paraît le plus souhaitable ? Veuillez les classer par ordre de préférence. »
Analyse des données qualitatives	
Analyse herméneutique	
Définition de la technologie	<p style="text-align: center;"><i>Caractéristiques techniques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Grande fiabilité, du fait des réglementations et de certifications - Difficulté de circulation dans des zones rurales

	<p style="text-align: center;"><i>Caractéristiques physiques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rejet symbolique de l'association du véhicule automatique à une motorisation thermique - Véhicules automatiques du système de rabattement davantage électrifiés du fait du contexte réglementaire et de la configuration du service - Nécessaire identification extérieure des véhicules - Adaptation de la taille des véhicules au service de transport proposé - Conception intérieure anti-chutes <hr/> <p style="text-align: center;"><i>Caractéristiques « servicielles »</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Difficultés d'accès financier au véhicule automatique pour les particuliers et les collectivités - Tarification au kilomètre pour les taxis automatiques défavorable à une utilisation en zone périurbaine - Rupture de charge à surveiller dans le cas du système de rabattement - Zones de desserte du système de rabattement perçues comme limitées géographiquement - Valorisation de l'amplitude horaire et de la desserte géographique des services des taxis automatiques - Systèmes de réservation des taxis automatiques : notation dédiée à la sécurité, appariement à l'optimisation du système
<p>Récits sur le futur</p>	<p style="text-align: center;"><i>Développement technologique</i></p> <p><i>Nature du développement technologique</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Confiance dans l'advenue progressive de l'automatisation - Incertitude sur la chronologie de l'introduction des différentes applications du véhicule automatique proposées <p><i>Statut du développement technologique dans la société</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Valeur intrinsèque du développement technologique en tant qu'avancée scientifique, toutefois relativisée selon trois motifs : capacité à engendrer des comportements bénéfiques par rapport à des politiques publiques aotechnologiques, notamment considérant les coûts financiers ; dimension « gadget » et occupation d'un marché de niche à terme <hr/>

Effets voulus et non voulus

Espoirs, potentiels sociaux

- Sécurité routière
- Mobilité des personnes âgées et non motorisées
- Diminution de la circulation automobile
- Desserte des zones peu denses par les transports en commun
- Abaissement du coût des transports en commun et développement de l'offre
- Echo des espoirs exprimés aux paradigmes de la ville apaisée et d'une transition vers une mobilité alternative à la voiture

Effets sociaux non voulus

- Affectation négative de la cohésion sociale (socialisation des jeunes et interactions sociales dans les transports en commun)
- Renforcement de la sédentarité « physique » des jeunes et des personnes âgées (effet rebond de l'accès facilité à la mobilité)

Effets environnementaux non voulus

- Dégradation des paysages
- Artificialisation des sols
- Consommation énergétique

Nécessités d'adaptation

- Développement de réseaux de télécommunication perfectionnés
- Difficultés d'utilisation des systèmes par les individus / fracture numérique

Vulnérabilités liées à la dépendance au fonctionnement de la technologie

- Prémption de la décision par le véhicule
- Délitement des compétences de conduite
- Problèmes d'approvisionnement en matières premières
- Insuffisance des capacités informatiques

Détournements possibles

- Incendies des véhicules automatiques

Interactions avec les structures sociales, économiques et culturelles

Comportements individuels de mobilité

	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcement du modèle dominant de la voiture individuelle dans le cas de l'introduction de véhicules automatiques personnels - Facilitation du covoiturage grâce à la suppression des doutes sur les compétences de conduite, dans un contexte où le covoiturage reste une pratique marginale - L'automatisation ne suppose pas un plus grand partage des « ressources » de mobilité <p><i>Rôles et intérêts des acteurs</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Stratégie industrielle nationale propice au développement de la technologie - Stratégie territoriale axée sur l'image de la Métropole et le développement et l'implantation d'entreprises concernées par l'introduction de cette technologie, parfois déjà présentes sur le territoire - Automatisation des transports en commun comme moyen de développement du réseau - Questionnement sur les modalités de financement des infrastructures - Mode de gestion des services de « taxis automatiques » discuté selon deux options, une gestion publique sur le modèle des transports en commun ou une gestion privée à tarification libre <p><i>Conflits repérables</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Probabilité réduite de conflits liés à l'introduction du véhicule automatique - Sources potentielles de conflits : gestion des données personnelles, suppression d'emplois, encombrement de l'espace public, objectifs environnementaux, concurrence avec d'autres projets de transport pour leur financement - Place grandissante des réseaux sociaux comme biais de mobilisation
Analyses thématiques	
Moyens d'intervention publique	<ul style="list-style-type: none"> - Identification extérieure des véhicules - Systèmes de réservation favorables à la sécurité et à l'optimisation du nombre de kilomètres parcourus dans le cas du taxi automatique - Standards environnementaux - Conception intérieure anti-chutes - Tarification équitable - Organisation de l'intermodalité / Conception des zones de « rupture de charge » - Subvention à l'acquisition de véhicules automatiques particuliers - Plan de financement des infrastructures - Plan de déploiement (desserte TC, outil d'aménagement, équité territoriale, équité sociale [revenu, âge, taux d'immobilité]) - Cadre monopolistique pour le marché des taxis automatiques / Choix du mode de gestion

	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse financière comparée par rapport à des services conduits - Analyse financière comparée par rapport à d'autres projets de transport - Comptabilité financière à l'échelle de l'ensemble du système de transport / « Compte déplacements » - ACV du produit - Analyse de viabilité de la filière en matière d'approvisionnement, de capacités de production et de lieux de production
Autres scénarios	<p><i>Intégration au réseau de transports collectifs</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Services de nuit - Nouvelles liaisons au sein du réseau de transports en commun - Substitution à des lignes secondaires - Automatisation complète du réseau <p><i>Desserte locale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Zones d'activités - Centres bourgs <p><i>Services de transport à des établissements</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Déplacements professionnels (entreprises) - EHPAD - Complexes immobiliers <p><i>Services de transport temporaires</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Services de transport dédiés à un évènement

Conclusion : Une démarche d'évaluation davantage formalisée et des résultats enrichis

En synthèse, les positionnements adoptés pour l'application de la méthodologie établie au cas d'étude sont les suivants :

Tableau 101: Positionnements adoptés dans le cas de l'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen grâce aux outils définis dans la méthodologie proposée

A l'étape de cadrage de l'objet d'étude
1 - Objet de de la décision : Aide à la définition de l'action publique locale en matière de véhicules automatiques Nature de la décision : Définition du mode d'introduction à privilégier et des moyens d'intervention possibles
2 - Scénarios exploratoires externes
3 - Trois scénarios d'introduction du véhicule automatique définis : véhicule automatique personnel, taxi automatique et véhicule automatique intégré au réseau de transports en commun
A l'étape de définition du cadre de mesure de l'évaluation
4 - Conception de la mobilité durable centrée sur les transports et « tripolaire »
5 - Choix de la méthode d'analyse multicritères PROMETHEE II
6- Construction de l'ensemble de critères à partir de typologies existantes, définition de 18 indicateurs
7- Ajout d'hypothèses sur les caractéristiques techniques générales du véhicule automatique : consommation énergétique, fiabilité, conditions d'utilisation
A l'étape d'estimation des effets des scénarios
8- Démarche participative tenant de la consultation, à l'étape d' « analyse des options », 23 consultations individuelles
A l'étape de traitement des données
9 – [cf. tabl. 100] Analyse des données quantitatives : analyse descriptive des pondérations et des estimations et analyse multicritères Analyse des données qualitatives : analyse herméneutique (définition de la technologie et récits sur le futur) et analyses thématiques (moyens d'intervention publics dédiés aux véhicules automatiques, autres scénarios)

La mise en œuvre de la méthodologie proposée s'inscrit dans une approche déjà mobilisée pour l'évaluation du véhicule automatique : l'analyse multicritères sur la base de contributions d'« experts », dans notre cas parties prenantes du système de transport rouennais. Cependant, elle était motivée par une réflexion transversale sur deux des grandes étapes de l'évaluation : le cadrage de l'objet d'étude et la définition du cadre de mesure. En effet, notre proposition s'appuie sur le bilan établi au troisième chapitre des développements méthodologiques encore à réaliser en matière d'évaluation du véhicule automatique. Notre étude prolonge sur les plans méthodologique et applicatif les évaluations multicritères qualitatives du véhicule automatique déjà réalisées. En effet, non seulement elle intègre une méthode d'analyse multicritères permettant de synthétiser les résultats, mais elle est également ancrée dans un terrain précis, et détaille les justifications et suggestions des personnes impliquées dans l'évaluation.

Nous relevons des similitudes avec les travaux d'évaluation existants s'agissant des résultats d'évaluation. Elles portent sur deux évolutions : l'augmentation du nombre total de véhicule-kilomètres parcourus et l'amélioration de l'accessibilité spatiale. Celles-ci sont donc centrales dans l'étude des impacts des véhicules automatiques. La première engendre une augmentation de la pollution atmosphérique et l'accentuation de l'étalement urbain. La seconde améliore l'équité d'accès à la mobilité mais présente des risques en matière de sédentarité.

Notre étude met également en avant de potentiels effets de manière originale. Tout d'abord, elle propose l'évaluation de l'intégration des véhicules automatiques au réseau de transport en commun, avec l'étude d'un système de rabattement, ce qui n'avait pas été réalisé jusqu'à présent. Nous avons ainsi pu mettre en avant l'intérêt de ce service en matière d'équité d'accès à la mobilité selon le revenu et selon la localisation et sur la fréquentation des transports en commun. Au niveau des indicateurs d'évaluation, notre étude a également la particularité de s'intéresser à l'évolution de l'équité d'accès selon le genre et selon l'âge, des indicateurs qui n'avaient jusque-là pas étaient mobilisés sous cette forme. Si les estimations ne montrent pas d'évolution particulière pour la première, nous avons pu mettre en avant l'intérêt d'un système de rabattement pour l'accès à la mobilité des 5-17 ans, qui peuvent ainsi s'abstraire d'un accompagnement parental systématique. Plus généralement, les effets « originaux » mis en avant sont la diminution des interactions, de la cohésion « sociale » ; la dégradation du paysage due à l'installation de nouveaux systèmes de télécommunications ; les potentiels problèmes d'approvisionnement en matières premières et l'insuffisance des capacités informatiques pour le fonctionnement de la technologie. Plus généralement, la méthodologie mise en œuvre permet une position critique vis-à-vis de la technologie. Son

intérêt est notamment interrogé par rapport à des politiques publiques « atecnologiques » moins onéreuses et aux implications comportementales plus certaines.

Ainsi, l'exploitation précise de données discursives, inscrites dans la matérialité d'un territoire déjà impliqué dans l'expérimentation du véhicule automatique, apparaît d'intérêt pour prolonger les réflexions sur les effets de la technologie, ses futures applications, l'action publique en la matière ou encore les analyses complémentaires à mener. En effet, l'évaluation d'une nouvelle technologie doit s'intéresser aux effets non voulus, et particulièrement aux nécessités d'adaptation, aux vulnérabilités, aux dépendances et détournements possibles. Or, nous avons pu remarquer la contribution des parties prenantes de type « Tiers directement ou indirectement affectés par l'objet d'étude » à cet égard. Ce prolongement de l'analyse apparaît nécessaire dans le cas d'un objet comme le véhicule automatique afin de renseigner les risques et conflits qu'il pourrait engendrer. Plus globalement, il s'agit de retranscrire la diversité des points de vue, et particulièrement ceux des parties prenantes qui ne sont pas impliquées dans le développement de la technologie. L'évaluation prend ainsi une dimension stratégique et permet de s'éloigner d'une approche qui envisage l'innovation, l'introduction d'une nouvelle technologie, comme une simple modification de la fonction de production des services de transport et/ou une modification des facteurs « rationnels » du choix modal.

Comme toute procédure participative, *a fortiori* lorsque les estimations des effets des options étudiées sont réalisées qualitativement par les personnes impliquées, la fiabilité des résultats, et incidemment la confiance que l'on peut leur accorder, sont limitées. Pour les améliorer, deux possibilités apparaissent : élargir la participation, notamment grâce à des consultations collectives, pour tendre vers une prise de décision « procédurale », selon un processus délibératif ; ou bien combiner un dispositif de l'ordre du « pouvoir symbolique », comme dans notre cas d'étude, à des estimations quantitatives obtenues grâce à des modélisations (Salter et al., 2010). Cela permettrait peut-être de voir apparaître des polarités plus importantes entre type de parties prenantes. Dans notre cas d'étude, il est difficile de déterminer si cette faible polarisation est le résultat de la consultation d'un échantillon trop réduit, ou du statut de l'objet d'étude, émergent, encore peu connu, autour duquel les positions ne sont pas encore fermement déterminées.

Par ailleurs, la procédure méthodologique pourrait être employée de manière itérative en évaluant, à partir des suggestions formulées par les parties prenantes, de nouveaux scénarios. En cela, la méthodologie proposée peut être envisagée comme une méthode de prospective récursive.

Conclusion : L'évaluation prospective durable comme moyen d'ancrage et de formalisation de l'évaluation du véhicule automatique

Cette dernière partie de la thèse avait pour objectif de donner corps aux préconisations méthodologiques répertoriées à la deuxième partie, déterminées selon les manques et développements nécessaires constatés en matière d'évaluation du véhicule automatique. Deux grandes étapes de l'évaluation étaient concernées : le cadrage de l'objet d'étude et la constitution du cadre de mesure. La première devait s'enrichir des développements du domaine de l'évaluation prospective, la seconde s'inspirer de l'évaluation durable.

Le sixième chapitre a donc eu pour objet la définition d'un cadre et d'une méthodologie d'évaluation intégrant les préconisations dégagées. Ainsi, s'agissant de la méthodologie, les caractéristiques suivantes étaient notamment à respecter : un cadrage à dimension prospective, qui prend la forme de la construction de scénarios ; une coordination explicite des étapes de cadrage et de définition du cadre de mesure ; un recours à l'analyse multicritères ; la mise en œuvre d'une démarche participative et l'exploitation qualitative des données discursives recueillies grâce au dispositif participatif. D'autre part, à l'échelle de la méthodologie, des méthodes d'orientation et d'analyse ont été définies ou sélectionnées dans la littérature. Ainsi, le cadre, la méthodologie et les méthodes développés ont été déterminés en considérant les manques en matière d'évaluation du véhicule automatique, mais peuvent être utilisés pour l'évaluation d'autres objets, en particulier de technologies émergentes.

Le septième chapitre a consisté à mettre en œuvre les propositions méthodologiques formulées dans un cas d'étude : la Métropole de Rouen, sur le principe de la preuve de concept. L'applicabilité de la méthodologie proposée a ainsi été démontrée. Par ailleurs, si celle-ci a été développée à partir d'un bilan des manques en matière d'évaluation du véhicule automatique, elle s'inscrit également dans une des approches évaluatives du véhicule automatique repérées dans la littérature : la méthode d'analyse multicritères qualitative et participative. A cet égard, elle propose par rapport aux deux études précédentes de Sessa et al. (2016) et Rämä et al. (2018) : une analyse multicritères plus rigoureuse, l'ancrage dans un territoire précis et une exploitation systématique des données qualitatives issues de la participation. Notre travail se démarque également par l'évaluation d'un scénario d'intégration du véhicule automatique au sein d'un réseau de transports en commun, par l'étude des effets de cette technologie sur l'équité d'accès à la mobilité selon l'âge et selon le genre et par la mise en exergue de nouveaux effets potentiels par rapport aux études précédentes : diminution de la cohésion « sociale », dégradation du paysage due à l'installation de nouveaux systèmes de télécommunications, problèmes d'approvisionnement en matières premières et

insuffisance des capacités informatiques pour le fonctionnement de la technologie. Le dispositif participatif mis en place, qui intègre donc des parties prenantes non impliquées dans le développement de cette technologie, permet une posture critique par rapport à la technologie, la désignation d'effets non voulus, ainsi que la collecte des suggestions des acteurs du territoire en matière d'intégration du véhicule automatique et de moyens d'intervention publique.

Ainsi, le cadre proposé s'inscrit dans la poursuite des réflexions méthodologiques sur l'« évaluation prospective durable » (Höjer et al., 2008 ; Arushayan et al., 2017 ; König et al., 2013 ; Sheate et al., 2008 ; Tzanopoulos et al., 2011 ; Goodwin et Whright, 2001 ; Montibeller et al., 2006 ; Bizikova et Krcmaer, 2015). Nos recherches sur l'évaluation du véhicule automatique se placent ainsi dans le prolongement de recherches existantes, alors que les travaux disponibles dans le domaine se montraient jusqu'ici isolés. Ce type de démarche est différent de l'approche classique en évaluation des transports, qui repose généralement sur l'analyse coûts-avantages à partir d'une modélisation quantitative des effets. En effet, l'objet d'étude, empreint d'incertitude, nécessite de mobiliser des méthodes d'évaluation capables de gérer ces indéterminations et de remettre en cause son intérêt même. Les résultats obtenus dans le cadre de la preuve de concept de notre méthodologie d'évaluation montrent que les démarches de type « évaluation prospective durable » sont susceptibles de répondre à ces enjeux.

Conclusion générale

Le véhicule automatique, après l'engouement, l'heure de l'évaluation

Le véhicule automatique, entendu comme un véhicule capable de se déplacer sans intervention humaine, connaît une nouvelle phase de développement depuis le début des années 2010, sous l'impulsion de progrès dans les domaines informatique et des télécommunications. L'engagement des pouvoirs publics nationaux et la formation d'une nouvelle filière industrielle sont manifestes. Toutefois, il s'agit d'une technologie en développement, dont la formulation technique reste ouverte, en particulier s'agissant des infrastructures nécessaires, tant physiques que de télécommunications. Plus généralement, considérant l'essoufflement qui se dessine, l'issue des efforts de développement technologique actuels se montre incertaine, notamment en ce qui concerne l'objectif d'automatisation complète. Quoi qu'il en soit, les applications potentielles de cette technologie sont multiples dans le domaine du transport de personnes, de nombreux services sont envisageables. Les potentialités et l'intérêt du véhicule autonome sont donc à interroger.

L'incertitude est importante s'agissant de la nature et de l'ampleur des conséquences possibles de l'usage de cette technologie. En effet, les domaines concernés par les effets de premier ordre sont variés (sécurité routière, capacité des infrastructures routières, consommation énergétique des véhicules, confort de déplacement, accès à la mobilité, coût de la mobilité, emplois dans le secteur des transports), tout comme ceux touchés par des effets de second ordre (demande de transport, taille du parc automobile, utilisation des transports en commun et des modes actifs, occupation de l'espace public ou encore localisation des ménages et des entreprises). Les travaux dédiés à l'étude de ces effets mettent en évidence leur dépendance au type de service de transport rendu par les véhicules automatiques, mais également à la nature de la régulation par les pouvoirs publics, particulièrement locaux, concernés au premier chef par les conséquences négatives répertoriées. De plus, l'introduction de ces véhicules signifie un renforcement de la présence d'entreprises privées dans le paysage urbain, et donc d'une vision centrée sur la satisfaction du consommateur au niveau individuel. Les pouvoirs publics locaux jouent donc un rôle essentiel dans la protection de l'intérêt collectif dans le cadre de l'introduction des véhicules automatiques.

La littérature sur l'action publique locale consacrée au véhicule automatique met en avant le scepticisme des pouvoirs publics locaux quant à la capacité de cette nouvelle technologie à résoudre les problèmes actuels en matière de transport urbain et un certain attentisme dans la définition d'une stratégie dédiée à moyen terme. De premiers travaux ont référencé les aires et moyens d'action envisageables, nous trouvons notamment des dispositifs tenant de la limitation de la demande et de la régulation en faveur d'un taux de remplissage élevé des véhicules, la réglementation de la conception des systèmes ou encore la définition des « marchés » à desservir. Le statut de « sujet de planification » du véhicule automatique est donc bien reconnu et les réflexions sur l'action publique locale à mener sont en cours. Ces dernières ne traitent toutefois pas de manière formalisée des liens entre effets du véhicule automatique et politiques à mener. Il existe donc un besoin d'outils d'analyse structurés, mobilisables à l'échelle locale, synthétisant significativement les effets du véhicule automatique, et ainsi capables de produire des « informations actionnables » pour la prise de décision. L'évaluation est l'une des principales démarches dédiées à ces objectifs.

Or, une revue des travaux d'évaluation du véhicule automatique, même en retenant une définition large de l'évaluation, révèle un corpus restreint. Les travaux en question se caractérisent par un manque de formalisation et d'ancrage à des recherches antérieures. Du fait de la rareté des démarches d'évaluation globale, le bilan de ces contributions a été établi par grande étape de l'évaluation, à savoir : la définition de l'objet d'étude, l'estimation des effets et la constitution du cadre de mesure. La seconde étape ayant été davantage investiguée, notamment grâce à l'appui de modèles « multi-agents », nous nous sommes focalisés sur les première et troisième étapes.

Afin de mettre en perspective ces travaux d'évaluation et de proposer des préconisations méthodologiques susceptibles de pallier les manques repérés, nous avons procédé à des investigations bibliographiques selon deux axes. Le premier concerne l'étape de définition de l'objet d'étude, dont nous affirmons la nécessaire portée prospective, dimension qui influence le reste de la méthodologie d'évaluation. Nous avons donc mobilisé la littérature sur l'évaluation prospective. Le second a trait à la définition du cadre de mesure. L'évaluation durable a ici servi de référence du fait des réflexions présentes dans les travaux d'évaluation du véhicule automatique et du besoin de formalisation de cette étape, auquel le renvoi à la notion de durabilité permet de répondre, même si cette dernière fait l'objet d'interprétations multiples. De plus, le véhicule automatique, et plus généralement les nouvelles technologies, sont largement présentées comme le moyen d'atteindre un système de transport plus « durable », statut salvateur que la démarche d'évaluation durable est capable de questionner.

Des apports d'abord méthodologiques pour une procédure d'évaluation durable prospective testée sur le territoire rouennais

Les préconisations méthodologiques rassemblées ont ainsi servi à la constitution d'une méthodologie propre à poursuivre les réflexions en cours sur l'évaluation du véhicule automatique. Au niveau du cadre méthodologique, les spécificités de notre proposition tiennent aux positionnements suivants : un cadrage à dimension prospective, qui prend la forme de la définition de scénarios ; une coordination explicite des étapes de définition de l'objet d'étude et de constitution du cadre de mesure ; un recours à l'analyse multicritères ; la mise en œuvre d'une démarche participative et l'exploitation qualitative des contributions des parties prenantes, c'est-à-dire des données discursives recueillies grâce au dispositif de participation. S'agissant de la méthodologie d'évaluation, des outils d'analyse et d'«orientation» originaux ou sélectionnés dans la littérature sont proposés (tabl. 35). Ces outils servent à guider la personne en charge de l'évaluation dans son choix des méthodes et outils à mobiliser aux différentes étapes. A travers ce travail, nous nous inscrivons dans la continuité des réflexions sur le développement de cadres méthodologiques d'évaluation durable prospective (Höjer et al., 2008 ; Arushayan et al., 2017) et dans une démarche de renouvellement du cadre d'évaluation classique du domaine des transports, au sens de son adaptation à une innovation technologique. Par-là, nous replaçons l'évaluation du véhicule automatique dans le prolongement de recherches existantes.

La mise en œuvre des propositions méthodologiques formulées à un cas d'étude, qui a consisté en l'évaluation de trois scénarios d'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen, a permis, selon le principe de la preuve de concept, de démontrer leur applicabilité, leur intérêt en matière de production de résultats et de dégager des pistes d'amélioration. Ainsi, dans son application à la Métropole de Rouen, notre démarche d'évaluation a pris la forme d'une analyse multicritères qualitative et participative de scénarios, approche déjà présente dans le corpus des études évaluatives du véhicule automatique constitué (Sessa et al., 2016 ; Rämä et al., 2018). Cependant, c'est bien le bilan des développements nécessaires aux étapes de définition de l'objet d'étude et de constitution du cadre de mesure qui a mené à ce type d'analyse.

Des résultats cohérents avec les travaux existants, enrichis grâce à la démarche participative

Du point de vue applicatif, notre étude se distingue de celles de Sessa et al. (2016) et de Rămă et al. (2018) par l'utilisation d'un outil d'agrégation des résultats, une déclinaison à un territoire précis et une exploitation détaillée des justifications et contributions des parties prenantes. Il s'agit également de la première étude évaluative comparative s'intéressant à un système de rabattement assuré par des véhicules automatiques. Nous avons ainsi pu mettre en avant l'intérêt de ce scénario d'introduction du VA en matière de durabilité puisqu'il est le scénario désigné comme le plus avantageux par rapport aux scénarios d'introduction de véhicules automatiques personnels et de taxis automatiques. Ses effets positifs en matière d'équité d'accès à la mobilité selon le revenu et la localisation et sur la fréquentation des transports en commun ont pu être particulièrement soulignés. Notre étude relève également des effets qui n'ont jusque-là pas été évoqués dans la littérature. Ainsi, nous soulignons que l'accès à la mobilité des 5-17 ans peut être amélioré par la disponibilité d'un système de rabattement automatique en permettant notamment un accompagnement parental moins systématique. Les autres conséquences originales mises en exergue sont plutôt négatives : moindre cohésion sociale et dégradation des paysages. Des risques de dysfonctionnement techniques sont également entrevus, résultats de l'insuffisance des capacités informatiques et de problèmes d'approvisionnement en matières premières. Nos résultats rejoignent ceux des travaux d'évaluation du véhicule automatique précédents s'agissant de deux phénomènes, qui semblent constituer des mécanismes phare dans l'étude des effets : l'augmentation du nombre de véhicule-kilomètres total parcourus et l'amélioration de l'accessibilité spatiale. Ce premier effet, effet « rebond », est particulièrement associé à l'introduction des véhicules automatiques personnels. Il est synonyme d'une hausse de la pollution atmosphérique et d'une accentuation de l'étalement urbain. Le second effet est plutôt attaché aux services de transport automatiques collectifs et permettrait une meilleure équité d'accès à la mobilité. Il engendre toutefois de nouveaux risques de sédentarité.

La démarche participative et l'exploitation des données discursives récoltées permettent une posture critique vis-à-vis de la technologie. En effet son bien-fondé est interrogé par rapport à des politiques « atecnologiques », moins onéreuses et aux conséquences comportementales bénéfiques plus certaines. En matière de moyens d'intervention publique, les suggestions des parties prenantes rouennaises rejoignent celles inventoriées dans la littérature sur trois points : l'édiction de standards environnementaux concernant les véhicules utilisés pour les services de transport public, la définition du mode de gestion des taxis automatiques et l'organisation de l'intermodalité, à travers la conception

de lieux de « rupture de charge » capables de minimiser les désagréments pour les utilisateurs. D'autres de leurs propositions n'ont jusque-là pas été mentionnées par la littérature. Elles portent sur la tarification, la planification et les outils d'analyse. Les préoccupations en matière de tarification tiennent de l'accès équitable aux services de transport automatiques. Un système de subvention à l'acquisition de véhicules automatiques personnels est notamment suggéré. S'agissant de la planification, deux types de « plans » sont jugés nécessaires : un plan de financement des infrastructures dédiées aux véhicules automatiques, susceptible d'impliquer des acteurs privés et des acteurs publics à plusieurs échelles géographiques, et un plan de déploiement des services de transport automatiques, hiérarchisant les zones géographiques à desservir par ordre de priorité. Plusieurs logiques pourraient présider à l'établissement de ce dernier : difficulté de desserte, lien transport-urbanisme, équité territoriale ou équité sociale. Trois facteurs sont suggérés dans le cas du critère d'équité sociale : le revenu, l'âge et le taux d'immobilité. Finalement, les parties prenantes sollicitent des analyses complémentaires, particulièrement financières. Des comparaisons à des services non automatiques équivalents ou à d'autres projets de transport sont réclamées. L'intérêt d'une démarche de type « compte déplacements » semble ainsi renouvelé dans le cadre de l'analyse du véhicule automatique, aux effets multidimensionnels.

Nous mettons ainsi en exergue la nécessité, dans le cas du véhicule automatique, et sûrement plus généralement pour l'évaluation d'une innovation technologique dans le domaine des transports, d'étendre l'analyse au-delà du cadre de mesure en s'intéressant aux effets non voulus, en particulier aux nécessités d'adaptation, vulnérabilités, dépendances et détournements possibles. La démarche participative rend cela possible en permettant de s'éloigner d'une approche économique classique qui envisage l'introduction d'une innovation technologique comme une modification de la fonction de production des services de transport et/ou des caractéristiques « rationnelles » de choix modal pour le consommateur. Nous voyons donc qu'une consultation organisée des parties prenantes, concernées par l'introduction de la technologie sans être forcément impliquées dans son développement, permet la production de données utiles à la prise de décision et à l'ouverture du débat.

Des résultats qui orientent les raffinements méthodologiques à entreprendre

Les limites repérables s'agissant des résultats obtenus renvoient plus généralement à des enjeux méthodologiques. Les résultats présentés proviennent en effet d'estimations qualitatives des parties prenantes. Outre la faible précision et le caractère relatif de ces données, elles peuvent également être remises en cause du point de vue de la capacité des personnes participant à l'évaluation à répondre, de leurs compétences. De plus, comme nous

l'avons mentionné, des symptômes de fardeau cognitif ont pu être repérés lors du recueil des données, ce qui interroge le dispositif de participation utilisé. De là, deux directions se dessinent pour améliorer la confiance dans les résultats de l'évaluation : l'intégration d'outils d'estimation quantitatifs, dont les hypothèses de départ doivent être explicitées, ou l'extension du dispositif participatif, en vue de tendre vers une prise de décision procédurale, où la précision des données d'estimation est moins centrale. Le dispositif participatif consisterait alors en un travail collectif et interviendrait à toutes les étapes de l'évaluation, notamment pour la construction des scénarios et la détermination de l'ensemble de critères et d'indicateurs.

Perspectives : la planification urbaine, un phare dans le contexte de l'émergence du véhicule automatique

Le véhicule automatique pose de nouveaux enjeux de régulation au niveau local face aux conséquences négatives que son utilisation pourrait engendrer et au renforcement de la place des acteurs privés, fournisseurs ou opérateurs de cette technologie. S'il est possible de favoriser certains scénarios d'introduction ou d'adresser, au travers de politiques publiques sectorielles, certaines de ses conséquences néfastes, il semblerait que la posture à adopter face à la multitude des incidences possibles revienne à envisager le véhicule automatique comme un « outil d'aménagement » ou à se référer à des stratégies de planification globales. Utiliser le véhicule automatique comme outil d'aménagement revient à l'établissement de plans de déploiement. Les objectifs du déploiement de services de transport automatiques peuvent être le désenclavement, selon des critères territoriaux ou sociaux, ou l'appui à un développement territorial reposant sur l'articulation entre transport et urbanisme. Ainsi, de manière générale, le recours à des principes d'aménagement généraux comme la fixation de « limites urbaines », évoquée dans la littérature sur la régulation locale du véhicule automatique, ou le « *transit oriented development* », garants de la durabilité urbaine, semble approprié pour adresser les conséquences du véhicule automatique. En somme, l'incertitude propre à l'introduction de cette nouvelle technologie rappelle l'importance de la planification urbaine.

Du point de vue de la prise de décision publique, il est à noter que les technologies ne font pas, à l'heure actuelle, l'objet d'une évaluation au niveau urbain. Ainsi, au-delà des enjeux méthodologiques propres à l'étude de leurs effets, afin d'éviter des analyses commanditées de manière isolée, au coup par coup, leur évaluation doit être « institutionnalisée ». Pour cela, un organisme qui comprendrait deux entités combinées, l'une en charge de la « participation » et l'autre de l'« expertise », pourrait constituer un office d'évaluation des technologies à l'échelle locale, sur le modèle des offices parlementaires existants. Celui-ci pourrait être le lieu du développement et du déploiement de méthodologies comme celle que nous proposons

dans ce travail de thèse. Ce type d'organisation fait par ailleurs écho à deux initiatives de la Métropole rouennaise. En effet, comme nous l'évoquions, cette dernière s'est récemment dotée, dans le cadre de la réalisation des investissements liés au programme national « Territoires d'innovation », d'un « *Living Lab* » dédié à la consultation citoyenne. Avant cela, l'initiative de COP 21 locale avait donné lieu à la constitution d'un groupe d'expertise multidisciplinaire, dit « GIEC local » consacré aux questions climatiques. Un office d'évaluation local des technologies, même si son lien avec les organes de décision métropolitains reste à penser, permettrait d'officialiser, et par là de légitimer, la nécessité de l'évaluation des innovations technologiques, notamment de transport, à l'échelle locale. Elle constituerait également un point d'entrée pour une gestion réfléchie des technologies au niveau local, synonyme de distance au solutionnisme technologique et à l'injonction à l'innovation.

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
RESUME	4
ABSTRACT	6
SOMMAIRE	8
LISTE DES FIGURES	10
LISTE DES TABLEAUX.....	12
LISTE DES FORMULES	15
LISTE DES CARTES	15
LISTE DES IMAGES.....	16
LISTE DES ABREVIATIONS	17
INTRODUCTION GENERALE	20
PARTIE 1 : L'INTRODUCTION DU VEHICULE AUTONOME, DE L'AGITATION INDUSTRIELLE A LA DETERMINATION DES TERMES DE L'ACTION PUBLIQUE LOCALE.....	25
Chapitre 1 : Définition et contexte de développement du véhicule « autonome » routier	26
1.1. Des formulations techniques variables	26
1.1.1. Autonome/automatique et autonome/connecté : deux ambiguïtés terminologiques.....	27
1.1.2. Niveaux d'automatisation, rôle des infrastructures et mode d'exploitation.....	29
1.2. De l'application de nouvelles technologies à la formation d'une filière industrielle	40
1.2.1. Un développement technologique historiquement bicéphale	40
1.2.2. Un emballement industriel à l'issue encore incertaine	43
1.2.3. La structuration de l'action publique en accompagnement de la constitution d'une nouvelle filière industrielle.....	45
Conclusion : Une nouvelle vague d'investissement qui rapproche la possibilité de l'automatisation de conduite complète	52
Chapitre 2 : Des effets attendus majoritairement situés dans le champ d'action des pouvoirs publics locaux	54
2.1. Les effets anticipés du véhicule automatique, incertitude et dépendance au mode d'introduction	54
2.1.1. Les effets directs, des gains supposément positifs mais particulièrement incertains	55
2.1.2. Les effets indirects, une menace pour les bénéfices directs	65

2.1.3. Le mode d'exploitation comme discussion centrale	73
2.2. L'action publique locale dédiée au véhicule automatique, entre appropriation, incertitude et scepticisme.....	75
2.2.1. Une action publique locale nécessaire au vu des effets attendus du véhicule automatique	75
2.2.2. Les moyens d'intervention actuels : développement de la veille et expérimentations	76
2.2.3. Le positionnement des acteurs locaux, entre scepticisme et préoccupation autour de l'impact sur les comptes publics	78
2.2.4. Reconsidérer les moyens d'intervention traditionnels pour assurer une intégration bénéfique du véhicule automatique	79
Conclusion : La régulation publique locale, outil fondamental de l'intégration bénéfique du véhicule automatique.....	83

Conclusion : L'évaluation pour appuyer la définition d'une stratégie publique locale dédié aux véhicules automatiques	85
--	-----------

PARTIE 2 : L'EVALUATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE, BILAN ET AXES DE RECHERCHE METHODOLOGIQUES..... 87

Chapitre 3 : Les travaux d'évaluation du véhicule automatique, synthèse et axes de développement 89

3.1. Quelques repères concernant l'évaluation.....	89
3.2. Synthèse des travaux d'évaluation du véhicule automatique	93
3.2.1. Des synthèses bibliographiques en forme de proto-évaluation.....	94
3.2.2. Des contributions méthodologiques issues d'initiatives isolées	102
3.2.3. Des études applicatives de deux types : analyse multicritères qualitative et analyse coûts-avantages quantitative	115
Conclusion : Bilan de l'état de l'art sur l'évaluation du véhicule automatique	130
La définition de l'objet d'étude, un projet prospectif	130
Identification et estimation des impacts, une variété de méthodes	132
La constitution du cadre de mesure, aller au-delà de la déduction des effets	139

Chapitre 4 : Evaluer une innovation technologique, un exercice nécessairement prospectif 141

4.1. La démarche prospective, panorama succinct	141
4.2. D'une réflexion sur l'évaluation de scénarios à la proposition de méthodologies intégrées ...	144
4.3. La démarche prospective dans l'évaluation des transports et des innovations technologiques, des traditions éloignées	147
4.3.1. La scénarisation, une démarche de second plan dans les travaux d'évaluation du domaine des transports	147
4.3.2. La scénarisation, partie intégrante des démarches d'évaluation des innovations technologiques.....	152
Conclusion : La nécessaire dimension prospective de l'évaluation du véhicule automatique	159

Chapitre 5 : L'évaluation durable, une référence pour la formalisation de l'évaluation du véhicule automatique 161

5.1. L'évaluation durable, ou l'intégration du principe de développement durable à l'évaluation... 161	161
5.1.1. La durabilité, de la prise de conscience environnementale à de multiples formulations conceptuelles	161
5.1.2. L'évaluation durable, une démarche balisée par des principes directeurs	166
5.1.3. Procédure d'évaluation durable ex ante type, un cadre à décliner au contexte d'application	170
5.2. L'évaluation durable dans les domaines des transports et des innovations technologiques, une incarnation dans les indicateurs.....	174
5.2.1. L'évaluation durable des transports, des indicateurs synonyme d'un changement de paradigme	174

5.2.2. L'évaluation durable des innovations technologiques, des indicateurs dépendants du secteur d'application	191
Conclusion : L'évaluation durable comme gage de transparence et de cohérence pour l'évaluation du véhicule automatique	201

Conclusion : Un cadre d'évaluation du véhicule automatique à construire à partir des enseignements de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable	204
--	------------

PARTIE 3 : PROPOSITIONS METHODOLOGIQUES POUR L'EVALUATION DU VEHICULE AUTOMATIQUE ET APPLICATION A LA METROPOLE DE ROUEN **206**

Chapitre 6 : Proposition d'un cadre méthodologique pour l'évaluation durable et prospective de l'introduction du véhicule automatique au niveau local

6.1. Démarche générale d'évaluation proposée	208
6.1.1. Cadre méthodologique	208
6.1.2. Structure de la méthodologie	211
6.2. L'étape de cadrage de l'objet d'étude, une approche par la méthode des scénarios	215
6.2.1. La caractérisation des scénarios, dépendance au contexte et à l'objet d'étude	216
6.2.2. La construction des scénarios, des outils empruntés à l'école française de prospective	217
6.3. L'étape de définition du cadre de mesure de l'évaluation, choix thématiques et méthodologiques	218
6.3.1. Un cadre de description dédié à la caractérisation de la durabilité adoptée	219
6.3.2. Un module destiné au choix de la méthode d'analyse multicritères	222
6.3.3. Des méthodes de sélection des critères et indicateurs	227
6.3.4. Un cadre de confrontation informationnelle entre scénarios et ensemble d'indicateurs ..	229
6.4. L'étape de recueil de données nécessaires à l'évaluation, suggestion pour la caractérisation de la démarche participative	230
6.5. L'étape de traitement des données récoltées, une grille d'analyse « herméneutique » pour l'analyse des données qualitatives	235
Conclusion : un cadre méthodologique d'évaluation répondant aux principes de l'évaluation prospective et de l'évaluation durable	238

Chapitre 7 : Application à la Métropole de Rouen, une « preuve de concept »

7.1. Le cadrage de l'objet d'étude, scénarios d'introduction du véhicule automatique dans la Métropole de Rouen	240
7.1.1. La caractérisation des scénarios	241
7.1.2. La construction des scénarios sur le territoire de la Métropole de Rouen	242
7.2. La constitution du cadre de mesure de l'évaluation	275
7.2.1. La durabilité des transports dans les documents de planification de la Métropole de Rouen : une multiplicité d'objectifs	275
7.2.2. PROMETHEE II, une méthode d'analyse multicritères adaptée au cas d'étude	282
7.2.3. La détermination des critères d'évaluation, recours à des typologies existantes	287
7.2.4. Une représentation synthétique du système de transports urbains comme cadre de confrontation informationnelle	298
7.3. La démarche participative mise en œuvre pour le recueil de données nécessaires à l'évaluation	319
7.3.1. Caractérisation selon le degré de participation et l'implication des parties prenantes	319
7.3.2. Identification des parties prenantes du système de transport rouennais	321
7.3.3. Conception du support de consultation	333
7.4. Le traitement des données récoltées	347
7.4.1. Les résultats de l'analyse multicritères, un classement des scénarios	348
7.4.2. L'analyse du discours des parties prenantes, un enrichissement remarquable des résultats d'évaluation	381
7.4.3. Synthèse des résultats, une discussion riche et nuancée	407

Conclusion : Une démarche d'évaluation davantage formalisée et des résultats enrichis	413
Conclusion : L'évaluation prospective durable comme moyen d'ancrage et de formalisation de l'évaluation du véhicule automatique	416
CONCLUSION GENERALE.....	418
Le véhicule automatique, après l'engouement, l'heure de l'évaluation	418
Des apports d'abord méthodologiques pour une procédure d'évaluation durable prospective testée sur le territoire rouennais	420
Des résultats cohérents avec les travaux existants, enrichis grâce à la démarche participative	421
Des résultats qui orientent les raffinements méthodologiques à entreprendre	422
Perspectives : la planification urbaine, un phare dans le contexte de l'émergence du véhicule automatique	423
TABLE DES MATIERES.....	425
BIBLIOGRAPHIE	429
ANNEXES	460
Annexe 1 : Représentations des fonctions de conduite automatisées	460
Annexe 2 : Niveaux d'automatisation de conduite	462
Annexe 3 : Les variables mobilisées dans l'analyse structurelle	466
Annexe 4 : Matrice d'analyse structurelle utilisée pour la construction des scénarios rouennais	492
Annexe 5 : Communes de la Métropole de Rouen Normandie ciblées	496
Annexe 6 : Support de recueil de données	498
Annexe 7 : Formulaire de consentement et notice d'information sur la protection des données personnelles utilisés	505
Annexe 8 : Analyse en composantes principales de la pondération des critères	507
Annexe 9 : Intervalles de stabilité du classement des scénarios selon l'application de PROMETHEE II	509

Bibliographie

- Acheampong, R. A., Thomopoulos, N., Marten, K., Beyazit, E., Cugurullo, F., et Dusparic, I. (2018). *Literature review on the social challenges of autonomous transport*. Wider Impacts and Scenario Evaluation of Autonomous and Connected Transport (WISE-ACT). Programme Cadre de l'Union Européenne Horizon 2020.
- Adler, M. W., Peer, S., et Sinozic, T. (2019). Autonomous, connected, electric shared vehicles (ACES) and public finance: An explorative analysis. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2, 100038.
- Adoue, F. (2016). Mobilité connectée et continuité spatio-temporelle des activités. *Réseaux*, 6(200), 87-115.
- Aguiléra, A., et Rallet, A. (2016). Mobilité connectée et changements dans les pratiques de déplacement. *Réseaux*, 6(200), 17-59.
- Aguiléra, A., et Belton-Chevallier, L. (2017). Mobilités et (R)évolutions numériques. Avant-propos. *Netcom. Réseaux, communication et territoires*, 31(3/4), 275-280.
- Alauzet, A., et Pochet, P. (2013). *Mobilité quotidienne des personnes en situation de handicap : Qttue sait-on des effets de cumuls avec les inégalités socioéconomiques et territoriales?*. 1^{er} colloque International du LABEX Futurs Urbains, Marne-la-Vallée, France.
- Alauzet, A. (2017). Mobilité et handicap: une question de point de vue. *Transports Environnement Circulation*, (235), 32-33.
- Alessandrini, A., Campagna, A., Delle Site, P., Filippi, F., et Persia, L. (2015). Automated vehicles and the rethinking of mobility and cities. *Transportation Research Procedia*, 5, 145-160.
- Alonso, A., Monzón, A., et Cascajo, R. (2015). Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities. *Ecological Indicators*, 48, 578-592.
- Alonso Raposo, A., Grosso, M., Després, J., Després, J., Fernandez Macias, E., Galassi, C., Krasenbrink, A., Krause, J., Levati, L., Mourtzouchou, A., Saveyn, B., Thiel, C. et Ciuffo, B. (2018). *An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe*. Joint Research Center, Commission Européenne.
- Ambühl, L., Ciari, F., et Menendez, M. (2016). *What about space ? : A simulation based assessment of AVs impact on road space in urban areas*. 16th Swiss Transport Research Conference, Ascona, Suisse.
- Amer, M., Daim, T. U., et Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23-40.
- Anderson, J. E. (1998). *Some lessons from the history of personal rapid transit*. Conference on PRT and other Emerging Transit Systems, Minneapolis, Etats-Unis.
- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, D., Sorensen, P., Samaras, C. et O.A. Oluwatola. (2014) *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.
- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., et Oluwatola, O. A. (2016). *Autonomous vehicle technology: a guide for policymakers*. Rand Corporation.

- Andersson, P., et Ivehammar, P. (2019). Benefits and costs of autonomous trucks and cars. *Journal of Transportation Technologies*, 9(2).
- Annema, J. A., Mouter, N., et Razaeei, J. (2015). Cost-benefit analysis (CBA), or multi-criteria decision-making (MCDM) or both: politicians' perspective in transport policy appraisal. *Transportation Research Procedia*, 10, 788-797.
- Antoni, J. P. (2010). L'étalement urbain. Dans G. Wackermann (dir.), *La France en villes* (p.164-176). Ellipses.
- Appleyard, B., et Riggs, W. (2017). *Measuring and Doing the Right Things: A Livability, Sustainability and Equity Framework for Autonomous Vehicles. Sustainability and Equity Framework for Autonomous Vehicles.*
- Arushanyan, Y., Ekener, E., et Moberg, Å. (2017). Sustainability assessment framework for scenarios—SAFS. *Environmental impact assessment review*, 63, 23-34.
- Ashford, N. A., et Hall, R. P. (2011). *Technology, globalization, and sustainable development*. Yale University Press.
- Ashkrof, P., Homem de Almeida Correia, G., Cats, O., et van Arem, B. (2019). Impact of automated vehicles on travel mode preference for different trip purposes and distances. *Transportation Research Record*, 2673(5), 607-616.
- Asselot, T. (2011). *Le débat sur la triple bottom line*. Cahier de recherche, Observatoire du Management Alternatif.
- Attias, D. (2017). The autonomous car, a disruptive business model?. Dans D. Attias (dir.), *The automobile revolution* (p. 99-113). Springer International Publishing.
- Audouin, M. (2009). *Modernism, environmental assessment and the sustainability argument: moving towards a new approach to project-based decision-making in South Africa* [Thèse de doctorat, Université de Stellenbosch].
- Audouin, M., et de Wet, B. (2012). Sustainability thinking in environmental assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(4), 264-274.
- Auld, J., Sokolov, V., et Stephens, T. S. (2017). Analysis of the effects of connected—automated vehicle technologies on travel demand. *Transportation Research Record*, 2625(1), 1-8.
- Auverlot, D., Baumstark, L., Ducos, G., Gastaldo, S., Massoni, M., Ni, J., et Ourliac, J. P. (2016). *Les nouveaux défis du calcul économique*. France Stratégie.
- Bahamonde-Birke, F. J., Kickhöfer, B., Heinrichs, D., et Kuhnimhof, T. (2018). A systemic view on autonomous vehicles: Policy aspects for a sustainable transportation planning. *The Planning Review*, 54(3), 12-25.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 73-80.
- Bansal, P., Kockelman, K. M., et Singh, A. (2016). Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 1-14.
- Bansal, P., et Kockelman, K. M. (2017). Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 49-63.

- Banuls, V. A., et Salmeron, J. L. (2007). A scenario-based assessment model—SBAM. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(6), 750-762.
- Barnard, Y., Zlocki, A., Innamaa, S., Gellerman, H., Brizzolara, D., Koskinen, S., Chen H., et Jia, D. (2018). *Assessing the impact of automated driving: Needs, challenges and future directions*. 7th Transport Research Arena TRA 2018, Vienne, Autriche.
- Barnard, Y., Innamaa, S., Rämä, P., et Harrison, G. (2019). *Impacts of automated transport on cities: How to discuss and study impact mechanisms*. 59th Congress of ERSA 2019, Lyon, France.
- Basu, R., Araldo, A., Akkinapally, A. P., Nahmias Biran, B. H., Basak, K., Seshadri, R., Deshmukh, N., Kumar, N., Azevedo, C.L., et Ben-Akiva, M. (2018). Automated mobility-on-demand vs. mass transit: a multi-modal activity-driven agent-based simulation approach. *Transportation Research Record*, 2672(8), 608-618.
- Beder, S. (1994). The role of technology in sustainable development. *IEEE Technology and society magazine*, 13(4), 14-19.
- Beede, D. N., Powers, R., et Ingram, C. (2017). *The employment impact of autonomous vehicles*. Office of the Chief Economist, U.S. Department of Commerce Economics and Statistics Administration.
- Bellagio Principles. (1996). *Bellagio Principles : Guidelines for the practical assessment of progress towards sustainable development*. International Institute for Sustainable Development.
- Belton, V., et Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Kluwer Academic Publishers.
- Bérion, P., Joignaux, G., et Langumier, J. F. (2007). L'évaluation socio-économique des infrastructures de transport: Enrichir les approches du développement territorial. *Revue d'Economie Regionale & Urbaine*, 4, 651-676.
- Berrada, J., et Leurent, F. (2017). Modeling transportation systems involving autonomous vehicles: a state of the art. *Transportation Research Procedia*, 27, 215-221.
- Bierstedt, J., Gooze, A., Gray, C., Peterman, J., Raykin, L., et Walters, J. (2014). *Effects of next-generation vehicles on travel demand and highway capacity*. Fehr & Peers Think Working Group.
- Bimbraw, K. (2015). *Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology*. 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Colmar, France.
- Bischoff, J., et Maciejewski, M. (2016). Autonomous taxicabs in Berlin—a spatiotemporal analysis of service performance. *Transportation Research Procedia*, 19, 176-186.
- Bizikova, L., et Krcmar, E. (2015). Integrated scenario planning and multi-criteria decision analysis framework with application to forest planning. *Open Journal of Forestry*, 5(2), 139-153.
- Blanchard, S. (2014). Mobilités et pratiques de loisirs des étudiants débutants. Le cas de l'Université de Créteil. *Espaces et sociétés*, 4(159), 127-146.

- Blanco, M., Atwood, J., Vasquez, H. M., Trimble, T. E., Fitchett, V. L., Radlbeck, J., Fitch, G. M., Russel, S.M., Green, C.A., Cullinane, B., et Morgan, J. F. (2015). Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts (n°DOT HS 812 182). National Highway Traffic Safety Administration, Washington DC.
- Blancquaert, I., Cleret de Langavant, G., et Bouchard, L. (2002). L'évaluation des technologies de la santé à l'ère de la génomique. Le défi de la complexité. *Ruptures, revue transdisciplinaire en santé*, 9(1), 22-38.
- Blok, K., Huijbregts, M., Patel, M., Hauschild, M., Selke, P., Antunes, P., Ciroth, A., Mays, C., Harmelink, M., Ramirez, A., Gaasbeek, A., Meijer, E. (2013). Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies. Prosuite, Commission Européenne.
- Bloomberg Philanthropies. (2017). *Taming the Autonomous Vehicle, A Primer for Cities*.
- Boersma, R., Van Arem, B., et Rieck, F. (2018). Application of driverless electric automated shuttles for public transport in villages: The case of Appelscha. *World Electric Vehicle Journal*, 9(1), 1-7.
- Bond, A. J., et Morrison-Saunders, A. (2011). Re-evaluating sustainability assessment: aligning the vision and the practice. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(1), 1-7.
- Bond, A., Morrison-Saunders, A., et Pope, J. (2012). Sustainability assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 53-62.
- Bonnefon, J. F., Shariff, A., et Rahwan, I. (2016). The social dilemma of autonomous vehicles. *Science*, 352(6293), 1573-1576.
- Börjesson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., et Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: towards a user's guide. *Futures*, 38(7), 723-739.
- Borón, V., Payán, E., MacMillan, D., et Tzanopoulos, J. (2016). Achieving sustainable development in rural areas in Colombia: Future scenarios for biodiversity conservation under land use change. *Land Use Policy*, 59, 27-37.
- Bösch, P. M., Ciari, F., et Axhausen, K. W. (2016). Autonomous vehicle fleet sizes required to serve different levels of demand. *Transportation Research Record*, 2542(1), 111-119.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., et Axhausen, K. W. (2017). *Cost-based analysis of autonomous vehicle services*. Institute for Transport Planning and Systems, ETH Zurich.
- Bossel, H. (1999). *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.
- Botello, B., Buehler, R., Hankey, S., Mondschein, A., et Jiang, Z. (2019). Planning for walking and cycling in an autonomous-vehicle future. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 1, 100012.
- Boulanger, P. M. (2017). Indicateurs de développement durable et participation citoyenne: une entreprise paradoxale. *Participations*, 2(18), 147-175.
- Bourgeois, I., et Hurteau, M. (2018). L'implication des parties prenantes dans la démarche évaluative: facteurs de succès et leçons à retenir. *Canadian Journal of Program Evaluation*, 33(2).

- Boutaud, A. (2005). *Le développement durable: penser le changement ou changer le pansement* [Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Mines de Saint Etienne].
- Bozio, A. (2018). Les méthodes d'évaluation des politiques publiques. *Idées économiques et sociales*, 3(193), 28-33.
- Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., et Van Der Heijden, K. (2005). The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 37(8), 795-812.
- Brans, J. P., et De Smet, Y. (2016). PROMETHEE methods. Dans S., Greco, M., Ehrgott, et J., R., Figueira (dir.), *Multiple criteria decision analysis* (p. 187-219). Springer, New York, NY.
- Bresson, G., Rahal, M. C., Gruyer, D., Revilloud, M., et Alsayed, Z. (2016). *A cooperative fusion architecture for robust localization: Application to autonomous driving*. 19th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Rio de Janeiro, Brésil.
- Brown, A., Gonder, J., et Repac, B. (2014). An analysis of possible energy impacts of automated vehicles. Dans G., Meyer, et S. Beiker (dir.), *Road vehicle automation* (p. 137-153). Springer, Cham.
- Browne, D., et Ryan, L. (2011). Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(3), 226-233.
- Bueno, P. C., Vassallo, J. M., et Cheung, K. (2015). Sustainability assessment of transport infrastructure projects: A review of existing tools and methods. *Transport Reviews*, 35(5), 622-649.
- Buisson, L., Nicolas, J. P., et Gouget, N. (2021). L'expérimentation des véhicules autonomes: quelle place dans le processus d'innovation?. *Recherche Transports Sécurité*, n° thématique « Les territoires et la voiture : vers un renouvellement de la culture automobile ? », 13p.
- Burchfield, M., Overman, H. G., Puga, D., et Turner, M. A. (2006). Causes of sprawl: A portrait from space. *The Quarterly Journal of Economics*, 121(2), 587-633.
- Burns, L. D., Jordan, W. C., et Scarborough, B. A. (2013). *Transforming personal mobility*. The Earth Institute, Columbia University.
- Button, K., Vega, H., et Nijkamp, P. (2010). *A dictionary of transport analysis*. Edward Elgar Publishing.
- Byrne, M. (2011). The role of transport information in influencing travel behavior : a literature review. *Road & Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice*, 20(2), 40-49.
- Carbaugh, J., Godbole, D. N., et Sengupta, R. (1998). Safety and capacity analysis of automated and manual highway systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 6(1-2), 69-99.
- Carson, R., Darling, L., et Darling, L. (1962). *Silent spring*. Boston et Cambridge, Houghton Mifflin/Riverside Press.
- Center for Sustainable Transport (CST). (2005). *Defining Sustainable Transportation*.
- Commission Européenne (CE). (2011). *Livre Blanc. Feuille de route pour un espace européen unique des transports – Vers un système de transport compétitif et économe en ressources*.

- Compostella, J., Fulton, L. M., De Kleine, R., Kim, H. C., et Wallington, T. J. (2020). Near- (2020) and long-term (2030–2035) costs of automated, electrified, and shared mobility in the United States. *Transport Policy*, 85, 54-66.
- Convolte, A. (2018). *Favoriser l'adoption des mobilités actives: proposition d'une démarche de conception centrée usage pour accompagner un territoire dans l'élaboration de ses politiques de transport* [Thèse de doctorat, Université de Lorraine].
- Chakravarty, D., Dasgupta, S., et Roy, J. (2013). Rebound effect: how much to worry?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 216-228.
- Chatman, D. G., et Moran, M. (2019). *Autonomous Vehicles in the United States: Understanding Why and How Cities and Regions are Responding* (n°UC-ITS-2019-13). The University of California Institute of Transportation Studies.
- Chédin, G., Plottu, E., Simon, B., Rousseau, K., Aubree, L., Blayo, A., Browaeys, A., Chabannes, N., de Gaulle, L., Devis, P., Durand, N., Frangié, J., Garat, N., Grenetier, I., Jolivet P., Lautredou, A., Lécrivain, N., Malhomme, M.C., Marneffe, T., ... et Zakeossian, D. (2009). *La participation dans l'évaluation du développement durable: qui, quand, comment?*. Les nouvelles frontières de l'évaluation, 9^e Journées Françaises de l'Evaluation, Marseille, France.
- Chen, K., Jarboe, K., et Wolfe, J. (1981). Long-range scenario construction for technology assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 20(1), 27-40.
- Chen, T. D., et Kockelman, K. M. (2016). Management of a shared autonomous electric vehicle fleet: Implications of pricing schemes. *Transportation Research Record*, 2572(1), 37-46.
- Chen, I. C., Fukushima, Y., Kikuchi, Y., et Hirao, M. (2012). A graphical representation for consequential life cycle assessment of future technologies. Part 1: methodological framework. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(2), 119-125.
- Childress, S., Nichols, B., Charlton, B., et Coe, S. (2015). Using an activity-based model to explore the potential impacts of automated vehicles. *Transportation Research Record*, 2493(1), 99-106.
- Chrétien, J. (2019). Flâner ou filer: une approche quantifiée de l'influence du contexte sur le type de pratique piétonne. *Espaces et sociétés*, 4(179), 77-91.
- Ciattoni, A., et Veyret, Y. (2013). *Les fondamentaux de la géographie*. Armand Colin.
- Cit'ergie. (2019). *Métropole Rouen Normandie. Vers une métropole 100% Energie renouvelable*. ADEME.
- Clark, B., Parkhurst, G., et Ricci, M. (2016). *Understanding the socioeconomic adoption scenarios for autonomous vehicles: A literature review*. University of the West of England.
- Clark, B. Y., Larco, N., et Mann, R. F. (2017). *The impacts of autonomous vehicles and e-commerce on local government budgeting and finance*. Urbanism Next, Sustainable Cities Initiative, University of Oregon.
- Clements, L. M., et Kockelman, K. M. (2017). Economic effects of automated vehicles. *Transportation Research Record*, 2606(1), 106-114.
- Clewell, R. R., et Mishra, G. S. (2017). *Disruptive transportation: The adoption, utilization, and impacts of ride-hailing in the United States*. Institute of Transportation Studies, UC Davis.

- Coates, J. F. (1976). The role of formal models in technology assessment. *Technological forecasting and social change*, 9(1-2), 139-190.
- Coates, V. T., et Fabian, T. (1982). Technology assessment in industry: A counterproductive myth?. *Technological Forecasting and Social Change*, 22(3-4), 331-341.
- Cohen, M. (2017). A systematic review of urban sustainability assessment literature. *Sustainability*, 9(11), 2048.
- Cohen, T., et Cavoli, C. (2019). Automated vehicles: Exploring possible consequences of government (non) intervention for congestion and accessibility. *Transport reviews*, 39(1), 129-151.
- Combs, T. S., Sandt, L. S., Clamann, M. P., et McDonald, N. C. (2019). Automated vehicles and pedestrian safety: exploring the promise and limits of pedestrian detection. *American Journal of Preventive Medicine*, 56(1), 1-7.
- Commissariat Général au Développement durable (CGDD). (2017). *Analyse coûts bénéfiques des véhicules électriques. Les voitures*. Ministère de la Transition écologique et solidaire.
- Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP). (2013a). *Evaluation socioéconomique des investissements publics. Rapport de la mission présidée par Emile Quinet*.
- Commissariat général à la stratégie et à la prospective. (2013b). *Option de référence In L'évaluation socio-économique en période de transition. Contribution de Claude Abraham*.
- Commission Européenne. (2013). *Communication de la Commission au Parlement, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions. Ensemble vers une mobilité urbaine compétitive et économe en ressources*.
- Conseil des Ministres Responsables des Transports et de la Sécurité Routière (CMRTSR). (2020). *Notions élémentaires 1, Innovation et Technologie, Rapport provisoire du groupe de travail sur la mobilité urbaine*.
- Conseil Européen. (2011). *Transport/telecommunications*. 2340th Council meeting, Luxembourg, Luxembourg.
- Costanza, R., et Patten, B. C. (1995). Defining and predicting sustainability. *Ecological Economics*, 15(3), 193-196.
- Crozet, Y. (2004). Calcul économique et démocratie: des certitudes technocratiques au tâtonnement politique. *Cahiers d'Economie Politique*, 2(47), 155-172.
- Curado, L. (2013). *Durabilité et participation dans les politiques urbaines à Bruxelles. Le cas du premier quartier durable «Tivoli»*. 1^{er} Congrès interdisciplinaire du développement durable, Namur, Belgique.
- Cuvelier, M., et Uster, G. (2020). *Réinventer la mobilité du quotidien avec et pour les habitants du périurbain. Cas de Loos-en-Gohelle-Bassin minier des Hauts de France*. Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux.
- Cyganski, R., Fraedrich, E., et Lenz, B. (2015). *Travel-time valuation for automated driving: A use-case-driven study*. Transportation Research Board 94th Annual Meeting, Washington, D.C., Etats-Unis.

- Daigneault, P. M., et Jacob, S. (2012). Conceptualiser et mesurer la participation à l'évaluation. Dans V., Ridde, et C., Dagenais (dir.), *Approches et pratiques en évaluation de programmes* (2^e éd., p. 234-254). Les Presses de l'Université de Montréal.
- Dalal-Clayton, B., et Sadler, B. (2014). *Sustainability appraisal: A sourcebook and reference guide to international experience*. Routledge.
- Dal Fiore, F., Mokhtarian, P. L., Salomon, I., et Singer, M. E. (2014). "Nomads at last"? A set of perspectives on how mobile technology may affect travel. *Journal of Transport Geography*, 41, 97-106.
- Davidson, K. M., Kellett, J., Wilson, L., et Pullen, S. (2012). Assessing urban sustainability from a social democratic perspective: a thematic approach. *Local Environment*, 17(1), 57-73.
- Davidson, P., et Spinoulas, A. (2016). Driving alone versus riding together-How shared autonomous vehicles can change the way we drive. *Road & Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice*, 25(3), 51-66.
- Debourdeau, A. (2013). *Les grands textes fondateurs de l'écologie*. Flammarion.
- Debie, J., et Desjardins, X. (2019). *La Métropole performative? Echelles de la fabrique métropolitaine rouennaise*. Autrement.
- Decker, M., et Ladikas, M. (2004). Technology Assessment in Europe; between Method and Impact—The TAMI Project. Dans M., Decker, M., Ladikas, S., Stephan, F. Wütscher (dir.), *Bridges between Science, Society and Policy* (p. 1-10). Springer, Berlin, Heidelberg.
- De Freitas Miranda, H., et da Silva, A. N. R. (2012). Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil. *Transport Policy*, 21, 141-151.
- De Jouvenel, H. (1999). La démarche prospective. Un bref guide méthodologique. *Futuribles*, (247), 47-68.
- De Looff, E., Correia, G. D. A., van Cranenburgh, S., Snelder, M., et van Arem, B. (2018, January). *Potential changes in value of travel time as a result of vehicle automation: a case study in the Netherlands*. Transportation Research Board 97th Annual Meeting, Washington, D.C., Etats-Unis.
- Demoli, Y. (2014). Les femmes prennent le volant. *Travail, genre et sociétés*, 2(32), 119-140.
- Destais, G. (2011). *Les théorisations économiques du développement durable. Proposition de décryptage critique*. Colloque international francophone, « Le développement durable : débats et controverses », Clermont-Ferrand, France.
- Devuyst, D. (2001). Introduction to sustainability assessment at the local level. Dans D., Devuyst, L. Hens, W., De Lannoy (dir.), *How green is the city* (p.1-41). Columbia University Press.
- De Witte, A., Hollevoet, J., Dobruszkes, F., Hubert, M., et Macharis, C. (2013). Linking modal choice to motility: A comprehensive review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 329-341.
- Dia, H., et Javanshour, F. (2017). Autonomous shared mobility-on-demand: Melbourne pilot simulation study. *Transportation Research Procedia*, 22, 285-296.

- Diakoulaki, D., et Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716-727.
- Diemer, A. (2012). La technologie au cœur du développement durable: mythe ou réalité?. *Innovations*, 1(37), 73-94.
- Dietmayer, K. (2016). Predicting of machine perception for automated driving. Dans M., Maurer, C., Gerdes, B. Lenz, H. Winner (dir.), *Autonomous Driving* (p. 407-424). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dimitropoulos, A., Oueslati, W., et Sintek, C. (2016). *The rebound effect in road transport: a meta-analysis of empirical studies* (OECD Environment Working Papers n° 113). Éditions OCDE.
- Direction Générale des Entreprises (DGE). (2020). *Technologies clés 2020, Préparer l'industrie du futur*. Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique.
- Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM). (2017). *Référentiel méthodologique pour l'évaluation des projets de transport*. Ministère de la Transition écologique et solidaire.
- Djellal, F., et Gallouj, F. (2009). Innovation dans les services et entrepreneuriat: au-delà des conceptions industrialistes et technologistes du développement durable. *Innovations*, 1(29), 59-86.
- Dobson, A. (1996). Environment sustainabilities: An analysis and a typology. *Environmental Politics*, 5(3), 401-428.
- Dos Anjos Borges, F. E. (2017). *Intelligence d'affaires pour la soutenabilité: une preuve de concept* [Mémoire de maîtrise, Université du Québec].
- Duarte, C. G., Gaudreau, K., Gibson, R. B., et Malheiros, T. F. (2013). Sustainability assessment of sugarcane-ethanol production in Brazil: A case study of a sugarcane mill in São Paulo state. *Ecological Indicators*, 30, 119-129.
- Dumas, C. (2012). Mobilité des personnes âgées. *Gérontologie et société*, 35(2), 63-76.
- Dumont, G. F. (2018). *Les territoires : diagnostic et gouvernance : Concepts, méthodes, applications* (2^e éd.). Armand Colin.
- Durrant-Whyte, H. (2001). *A critical review of the state-of-the-art in autonomous land vehicle systems and technology* (Sandia Report n°SAND2001-3685). Sandia National Laboratories.
- Dryzek, J. S. (2013). *The politics of the earth: Environmental discourses* (3e éd.). Oxford University Press.
- Ehrlich, J. (2009). *Technologies d'assistance à la conduite automobile*. Techniques de l'ingénieur.
- Engholm, A., Pernestål Brenden, A., et Kristoffersson, I. (2018). *System-level impacts of self-driving vehicles: terminology, impact frameworks and existing literature syntheses*. Integrated Transport Research Lab.
- Eno Center for Transportation (2013). *Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations*.

- ESCAP. (2017). *Assessment of urban transport systems, Monograph Series on Sustainable and Inclusive Transport*. United Nations Publication.
- Eskenazi, M., Pierre, M., Boutueil, V., et Escoffier, C. (2017). Le numérique, indispensable émancipateur de la mobilité électrique?. *Netcom. Réseaux, communication et territoires*, 31(3/4), 403-430.
- European Environmental Agency (EEA). (2002). *Paving the way for EU enlargement - Indicators of transport and environment integration TERM 2002*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Fagnant, D. J., et Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13.
- Fagnant, D. J., et Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181.
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M., et Bansal, P. (2015). Operations of shared autonomous vehicle fleet for Austin, Texas, market. *Transportation Research Record*, 2563(1), 98-106.
- Fahrenkrog, F., Rösener, C., Zlocki, A., et Eckstein, L. (2016). Technical evaluation and impact assessment of automated driving. Dans G., Meyer, S., Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation 3* (p. 237-246). Springer, Cham.
- Faisal, A., Kamruzzaman, M., Yigitcanlar, T., et Currie, G. (2019). Understanding autonomous vehicles. *Journal of Transport and Land Use*, 12(1), 45-72.
- Faivre d'Arcier, B. (1998). *Evaluation des politiques de transport et préférences individuelles* [Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon II].
- Fauré, E., Arushanyan, Y., Ekener, E., Miliutenko, S., et Finnveden, G. (2017). Methods for assessing future scenarios from a sustainability perspective. *European Journal of Futures Research*, 5(1), 17.
- Fayat, C. (1993). *De l'esprit de sel dans la décision. Des méthodes et des choix multicritères: Un point de vue praticien*. Centre National d'Enseignement à Distance, Rennes.
- Fielding, G. J., Glauthier, R. E., et Lave, C. A. (1978). Performance indicators for transit management. *Transportation*, 7(4), 365-379.
- Figueira, J., Greco, S., et Ehrgott, M. (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Springer, New York.
- Finnveden, G., et Moberg, Å. (2005). Environmental systems analysis tools—an overview. *Journal of Cleaner Production*, 13(12), 1165-1173.
- Fleischer, T., Decker, M., et Fiedeler, U. (2005). Assessing emerging technologies—Methodological challenges and the case of nanotechnologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(9), 1112-1121.
- Fleischer, T., et Grunwald, A. (2008). Making nanotechnology developments sustainable. A role for technology assessment?. *Journal of Cleaner Production*, 16(8-9), 889-898.
- Flipo, F., Deltour, F., et Dobré, M. (2016). Les technologies de l'information à l'épreuve du développement durable. *Natures Sciences Sociétés*, 24(1), 36-47.

- Fol, S., et Gallez, C. (2017). Evaluer les inégalités sociales d'accès aux ressources Intérêt d'une approche fondée sur l'accessibilité. *Revue internationale d'urbanisme*, (4).
- Folsom, T. C. (2012). Energy and autonomous urban land vehicles. *IEEE Technology and Society Magazine*, 31(2),28-38.
- Fortier, J. (2014). *La participation citoyenne, Ses types et ses niveaux*. Université du Québec à Trois-Rivières.
- Fraedrich, E., et Lenz, B. (2016). Societal and individual acceptance of autonomous driving. Dans M., Maurer, C., Gerdes, B. Lenz, H. Winner (dir.), *Autonomous Driving* (p. 621-640). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Frazzoli, E. (2018). Nuttonomy's vision for autonomous driving [video]. Intervention pour le cours 6.S094 : Deep Learning for Self-Driving Cars au MIT. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=dWSbltd0HEA>;
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Pitman.
- Freemark, Y., Hudson, A., et Zhao, J. (2019). Are cities prepared for autonomous vehicles? Planning for technological change by US local governments. *Journal of the American Planning Association*, 85(2), 133-151.
- Frikha, H. M., Chabchoub, H., et Martel, J. M. (2008). *Inférence des coefficients d'importance relative des critères dans PROMETHEE II*. Faculté des sciences de l'administration, Université Laval.
- Fu, Y., Kok, R. A., Dankbaar, B., Ligthart, P. E., et van Riel, A. C. (2018). Factors affecting sustainable process technology adoption: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 205, 226-251.
- Gaglio, G. (2011). *Sociologie de l'innovation*, Collection Que sais-je?, Presses Universitaires de France.
- Gallez, C. (2002). Indicateurs de comparaison de scénarios prospectifs peut-on élargir le débat sur l'avenir de la mobilité urbaine?. *Recherche-Transports-Sécurité*, 77, 281-295.
- Gallopín, G. C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environmental modeling & assessment*, 1(3), 101-117.
- Gandia, R., Antonialli, F., Cavazza, B., Neto, A., Lima, D., Sugano, J. Y., Nicolai, I., et Zambalde, A. L. (2018). Autonomous vehicles: scientometric and bibliometric review. *Transport Reviews*, 39(1), 1-20.
- Gasparatos, A., et Scolobig, A. (2012). Choosing the most appropriate sustainability assessment tool. *Ecological Economics*, 80, 1-7.
- Gasser, T.M., et Westhoff, D. (2012). BAST-study : Definitions of Automation and Legal Issues in Germany. Road Vehicle Automation Workshop, Irvine, Californie.
- Gawron, J. H., Keoleian, G. A., De Kleine, R. D., Wallington, T. J., et Kim, H. C. (2018). Life cycle assessment of connected and automated vehicles: sensing and computing subsystem and vehicle level effects. *Environmental Science & Technology*, 52(5), 3249-3256.
- Gay, F. J. (2008). Rouen, métropole oubliée?. Yves Guermond et coll. Ed Karthala. 2008 [compte-rendu]. *Études Normandes*, 57(1), 84-88.

- Geneletti, D., et Ferretti, V. (2015). Multicriteria analysis for sustainability assessment: concepts and case studies. Dans A., Morrison-Saunders, J., Pope, A., Bond (dir.), *Handbook of sustainability assessment* (p.235-265). Edward Elgar Publishing.
- Giannopoulos, G., Mitsakis, E., Salanova, J. M., Dilara, P., Bonnel, P., et Punzo, V. (2012). *Overview of Intelligent Transport Systems developments in and across transport modes*. Joint Research Center, Commission Européenne.
- Gibson, R. B. (2006). Sustainability assessment: basic components of a practical approach. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 24(3), 170-182.
- Gillis, D., Semanjski, I., et Lauwers, D. (2016). How to monitor sustainable mobility in cities? Literature review in the frame of creating a set of sustainable mobility indicators. *Sustainability*, 8(1), 29.
- Gilmour, D., Blackwood, D., Banks, L., et Wilson, F. (2011). Sustainable development indicators for major infrastructure projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, 164(1), 15-24.
- Gissinger G. et Le Fort-Piat N. (2002). *La voiture intelligente*. Hermes Science Publications.
- Glasson, J., et Therivel, R. (2012). *Introduction To Environmental Impact Assessment* (4^e éd.). Routledge.
- Godet, M. (2007). *Manuel de prospective stratégique-Tome 2, L'Art et la méthode* (3^e éd.). Dunod.
- Godillon, S., et Louvet, N. (2013). L'autopartage, déclencheur d'une mobilité alternative à la voiture particulière. *Transports urbains*, 2, 3-9.
- González, D., Pérez, J., Milanés, V., et Nashashibi, F. (2015). A review of motion planning techniques for automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), 1135-1145.
- Goodwin, P., et Wright, G. (2001). Enhancing strategy evaluation in scenario planning: a role for decision analysis. *Journal of Management Studies*, 38(1), 1-16.
- Grace, W., et Pope, J. (2015). A systems approach to sustainability assessment. Dans A., Morrison-Saunders, J., Pope, A., Bond (dir.), *Handbook of sustainability assessment* (p.285-321). Edward Elgar Publishing.
- Greenblatt, J. B., et Saxena, S. (2015). Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *nature climate change*, 5, 860-863.
- Greenblatt, J. B., et Shaheen, S. (2015). Automated vehicles, on-demand mobility, and environmental impacts. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2, 74-81.
- Gruel, W., et Stanford, J. M. (2016). Assessing the long-term effects of autonomous vehicles: a speculative approach. *Transportation Research Procedia*, 13, 18-29.
- Grunwald, A. (2019). *Technology assessment in practice and theory*. Routledge.
- Gudmundsson, H., Marsden, G., et Josias, Z. (2016). *Sustainable transportation: Indicators, frameworks, and performance management*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Guellec, D. (2009). *Économie de l'innovation*. La Découverte.
- Guermond, Y. (2008). *Rouen, la métropole oubliée?*. L'Harmattan..

- Guerra, E. (2015). When autonomous cars take to the road. *Planning*, 81(5), 36-38.
- Guerra, E. (2016). Planning for cars that drive themselves: Metropolitan planning organizations, regional transportation plans, and autonomous vehicles. *Journal of Planning Education and Research*, 36(2), 210-224.
- Guillaume, H. (1972). L'analyse coûts-avantages et la préparation des décisions publiques. *Revue économique*, 23(3), 358-409.
- Guitouni, A., et Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Gurumurthy, K. M., et Kockelman, K. M. (2018). Analyzing the dynamic ride-sharing potential for shared autonomous vehicle fleets using cellphone data from Orlando, Florida. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 177-185.
- Haboucha, C. J., Ishaq, R., et Shiftan, Y. (2017). User preferences regarding autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 37-49.
- Hacking, T., et Guthrie, P. (2008). A framework for clarifying the meaning of Triple Bottom-Line, Integrated, and Sustainability Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(2-3), 73-89.
- Haghshenas, H., et Vaziri, M. (2012). Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Ecological Indicators*, 15(1), 115-121.
- Hanley, N. (2015). The economics of sustainable development. Dans Morrison-Saunders, A., Pope, J., et Bond, A. (dir.), *Handbook of sustainability assessment* (p. 43-56). Edward Elgar Publishing.
- Harb, M., Xiao, Y., Circella, G., Mokhtarian, P. L., et Walker, J. L. (2018). Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: estimating travel behavior implications via a naturalistic experiment. *Transportation*, 45(6), 1671-1685.
- Harper, C. D., Hendrickson, C. T., Mangones, S., et Samaras, C. (2016). Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. *Transportation research part C: Emerging Technologies*, 72, 1-9.
- Hayes, B. (2011). Leave the driving to it. *American Scientist*, 99(5), 362-366.
- Heilig, M., Hilgert, T., Mallig, N., Kagerbauer, M., et Vortisch, P. (2017). Potentials of autonomous vehicles in a changing private transportation system—a case study in the Stuttgart region. *Transportation Research Procedia*, 26, 13-21.
- Heinrichs, D., et Cyganski, R. (2015). Automated Driving: How It Could Enter Our Cities and How This Might Affect Our Mobility Decisions. *The Planning Review*, 51(2), 74-79.
- Heinrichs, D. (2016). Autonomous driving and urban land use. Dans M., Maurer, C., Gerdes, B. Lenz, H. Winner (dir.), *Autonomous Driving* (p. 213-231). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Héran, F., et Ravalet, E. P. J. (2008). *La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain, Application au cas de l'île de France*. Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT).
- Hernández, M. (2014). Metro automation: a proven and scalable solution. *Eurotransport*, 12(1), 30-32.

- Herrmann, A., Brenner, W., et Stadler, R. (2018). *Autonomous driving: how the driverless revolution will change the world*. Emerald Publishing Limited.
- Hickman, R., Saxena, S., Banister, D., et Ashiru, O. (2012). Examining transport futures with scenario analysis and MCA. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 560-575.
- Hilty, L. M., et Aebischer, B. (2015). ICT for sustainability: An emerging research field. Dans L. M., Hilty, B. Aebischer, *ICT innovations for Sustainability* (p. 3-36). Springer, Cham.
- Ho, M. (2019). *Land Use in a World of New Transportation Technologies*. UCLA Institute of Transportation Studies.
- Hoadley, S. (2018). *Road Vehicle Automation and cities and regions*. Polis, Bruxelles.
- Höjer, M., Ahlroth, S., Dreborg, K. H., Ekvall, T., Finnveden, G., Hjelm, O., Hochschorner, E., Nilsson M., et Palm, V. (2008). Scenarios in selected tools for environmental systems analysis. *Journal of Cleaner Production*, 16(18), 1958-1970.
- Holden, E., Linnerud, K., et Banister, D. (2013). Sustainable passenger transport: Back to Brundtland. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54, 67-77.
- Holden, E., Linnerud, K., Banister, D., Schwanitz, V. J., et Wierling, A. (2017). *The imperatives of sustainable development: needs, justice, limits*. Routledge.
- Holden, E., Gilpin, G., et Banister, D. (2019). Sustainable mobility at thirty. *Sustainability*, 11(7), 1965.
- Holden, E., Banister, D., Gössling, S., Gilpin, G., et Linnerud, K. (2020). Grand Narratives for sustainable mobility: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 65, 101454.
- Hoogendoorn, R., van Arerm, B., et Hoogendoorn, S. (2014). Automated driving, traffic flow efficiency, and human factors: Literature review. *Transportation Research Record*, 2422(1), 113-120.
- Hörl, S., Ciari, F., et Axhausen, K. W. (2016). *Recent perspectives on the impact of autonomous vehicles*. Institute for Transport Planning and Systems, ETH Zurich, Suisse.
- Hörl, S. (2017). Agent-based simulation of autonomous taxi services with dynamic demand responses. *Procedia Computer Science*, 109, 899-904.
- Houlé, A., et Levy-Heidmann, H. (2018). *Véhicules autonomes: ne ratons pas la révolution!*. Presses des Mines.
- Houssin, D. (2019). Les grands enjeux de la transformation du secteur des transports et de la mobilité durable. *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, 3(95), 37-41.
- Hubbard, S. M. (2018). Automated vehicle legislative issues. *Transportation Research Record*, 2672(7), 1-13.
- Huguenin-Richard, F. (2018). *Mobilité et place des enfants et des jeunes dans l'espace public*. Les Rencontres territoriales de la mobilité «Les collectivités et la mobilité des enfants et des jeunes au carrefour des enjeux d'aménagement, d'éducation et de santé», Paris, France.
- Hyard, A. (2013). Non-technological innovations for sustainable transport. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1375-1386.

- Hymel, K. M., Small, K. A., et Van Dender, K. (2010). Induced demand and rebound effects in road transport. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(10), 1220-1241.
- Ibañez-Guzman, J., Laugier, C., Yoder, J. D., et Thrun, S. (2012). Autonomous driving: Context and state-of-the-art. Dans A., Eskandarian, *Handbook of Intelligent Vehicles* (2^e éd.) (p.1271–1310). Springer, London.
- Innamaa, S., et Kuisma, S. (2018). *Key performance indicators for assessing the impacts of automation in road transportation: Results of the Trilateral key performance indicator survey*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Innamaa, S., Smith, S., Barnard, Y., Rainville, L., Rakoff, H., Horiguchi, R., et Gellerman, H. (2018). *Trilateral Impact Assessment Framework for Automation in Road Transportation: Version 2.0*. EU/US/Japan ITS Cooperation
- INSEE. (2019). *Nomenclature d'activités française*.
- INSEE Normandie. (2017). *Les systèmes urbains en Normandie : aires urbaines, métropoles, réseaux d'échanges* (INSEE Dossier Normandie n°6).
- INSEE Normandie. (2018). *La Normandie et ses territoires* (INSEE Dossier Normandie n°11).
- INSEE Normandie. (2019). *Diagnostic social infra-urbain et des quartiers prioritaires de la Métropole Rouen Normandie* (INSEE Dossier Normandie n°14).
- Isaac, L. (2016). How local governments can plan for autonomous vehicles. Dans G., Meyer, S., Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation 3* (p. 59-70). Springer, Cham.
- Islas, J., Manzini, F., et Martínez, M. (2003). Cost-benefit analysis of energy scenarios for the Mexican power sector. *Energy*, 28(10), 979-992.
- Jacob, S., et Ouvrard, L. (2009). *L'évaluation participative. Avantages et difficultés d'une pratique innovante*. Cahiers de la performance et de l'évaluation. Laboratoire PerfEval, Québec.
- Janic, M. (2003). An application of the methodology for assessment of the sustainability of air transport system. *Journal of Air Transportation*, 9(2), 40-82.
- Janssen, R. van Herwijnen, M. et Beinat, E. (2001). *Definite - Case studies and user manual*. Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit.
- Jantsch, E. (1967). *Technological forecasting in perspective*. OCDE.
- Jenkins, B., Annandale, D., et Morrison-Saunders, A. (2003). The evolution of a sustainability assessment strategy for Western Australia. *Environmental and Planning Law Journal*, 20(1), 56-65.
- Jeon, C.M., et Amekudzi, A. (2005). Addressing sustainability in transportation systems: definitions, indicators, and metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, 11(1), 31-50.
- Jo, K., Kim, J., Kim, D., Jang, C., et Sunwoo, M. (2015). Development of autonomous car—Part II: A case study on the implementation of an autonomous driving system based on distributed architecture. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(8), 5119-5132.
- Johnsen, A., Strand, N., Andersson, J., Patten, C., Kraetsch, C., et Takman, J. (2017). *D2.1. Literature review on the acceptance and road safety, ethical, legal, social and economic implications of automated vehicles*. BRidging Gaps for the Adoption of Automated Vehicles(BRAVE), Commission Européenne.

- Johnson, C., et Walker, J. (2016). *Peak Car Ownership, Research Report*. Rocky Mountain Institute.
- Jouffe, Y., Caubel, D., Fol, S., et Motte-Baumvol, B. (2015). Faire face aux inégalités de mobilité. Tactiques, stratégies et projets des ménages pauvres en périphérie parisienne. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 26697.
- Joumard, R., et Nicolas, J. P. (2010). Transport project assessment methodology within the framework of sustainable development. *Ecological Indicators*, 10(2), 136-142.
- Kalra, N. (2016). *Shaping the future of autonomous vehicles*. Rand Corporation.
- Kalra, N., et Paddock, S. M. (2016). Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 182-193.
- Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., McCarthy, J.J., Schellnhuber, H.J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kasperson, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O'Riordan T. et Svedin U. (2001). Sustainability science. *Science*, 292(5517), 641-642.
- Kates, R. W. (2011). What kind of a science is sustainability science?. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19449-19450.
- Keeney R., Raiffa H. (1976). *Decision with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge University Press.
- Kellerman, A. (2018). *Automated and autonomous spatial mobilities*. Edward Elgar Publishing.
- Kieffer, L. (2014). *L'organisation de la mobilité quotidienne: une question de genre?*. 5^e Conférence Internationale sur les Femmes et le Transport – Construire les ponts, Paris, France.
- Kloprogge, P., et Van Der Sluijs, J. P. (2006). The inclusion of stakeholder knowledge and perspectives in integrated assessment of climate change. *Climatic Change*, 75(3), 359-389.
- Kolarova, V., Steck, F., Cyganski, R., et Trommer, S. (2018). Estimation of the value of time for automated driving using revealed and stated preference methods. *Transportation Research Procedia*, 31, 35-46.
- König, H. J., Uthes, S., Schuler, J., Zhen, L., Purushothaman, S., Suarma, U., Sghaeir, M., Makokha, S., Helming, K., Sieber S., Chen, L., Brouwer, F., Morris, J., et Wiggering, H. (2013). Regional impact assessment of land use scenarios in developing countries using the FoPIA approach: Findings from five case studies. *Journal of Environmental Management*, 127, 56-64.
- Kondor, D., Zhang, H., Tachet, R., Santi, P., et Ratti, C. (2018). Estimating savings in parking demand using shared vehicles for home–work commuting. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(8), 2903-2912.
- Kool, D. J. (2016). *Exploring Causalities between Vehicle Automation and Vehicle Sharing* [Mémoire de master, Delft University of Technology].
- Kornhauser, A., Chang, A., Clark, C., Gao, J., Korac, D., Lebowitz, B., et Swoboda, A. (2013). *Uncongested mobility for all: New Jersey's area-wide aTaxi system*. Princeton University.

Kowalski, K., Stagl, S., Madlener, R., et Omann, I. (2009). Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1063-1074.

KPMG (2013). *Self-Driving Cars : Are We Ready ?*.

Kröger, F. (2016). Automated driving in its social, historical and cultural contexts. Dans M., Maurer, C., Gerdes, B. Lenz, H. Winner (dir.), *Autonomous Driving* (p. 41-68). Springer, Berlin, Heidelberg.

Kröger, L., Kuhnimhof, T., et Trommer, S. (2018). Does context matter? A comparative study modelling autonomous vehicle impact on travel behaviour for Germany and the USA. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 122, 146-161.

Krueger, R., Rashidi, T. H., et Rose, J. M. (2016). Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 69, 343-355.

Kulmala, R. (2010). Ex-ante assessment of the safety effects of intelligent transport systems. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1359-1369.

Kwon, J., et Varaiya, P. (2008). Effectiveness of California's high occupancy vehicle (HOV) system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(1), 98-115.

Kyu Associés. (2019). *Etude prospective sur l'évolution des emplois, des métiers et des compétences*.

Lang, N., Rüßmann, M., Mei-Pochtler, A., Dauner, T., Komiya, S., Mosquet, X., et Doubara, X. (2016). *Self-driving vehicles, robo-taxis, and the urban mobility revolution*. The Boston Consulting Group.

Larsen, K., et Höjer, M. (2007). Technological innovation and transformation perspectives in environmental futures studies for transport and mobility. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 3(1), 95-115.

Latour, B. (1992). *Aramis ou l'amour des techniques*. La Découverte.

Lavieri, P. S., Garikapati, V. M., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., Astroza, S., et Dias, F. F. (2017). Modeling individual preferences for ownership and sharing of autonomous vehicle technologies. *Transportation Research Record*, 2665(1), 1-10.

Lazarus, J., Shaheen, S., Young, S. E., Fagnant, D., Voege, T., Baumgardner, W., Fishelson J., Lott, J. S. (2018). Shared automated mobility and public transport. Dans G., Meyer, S., Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation 4* (p.141-161). Springer, Cham.

Lee, N. (2006). Bridging the gap between theory and practice in integrated assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(1), 57-78.

Legacy, C., Ashmore, D., Scheurer, J., Stone, J., et Curtis, C. (2019). Planning the driverless city. *Transport Reviews*, 39(1), 84-102.

Le Gallic, T., et Aguiléra, A. (2019). Comment appréhender les impacts des véhicules autonomes sur la mobilité? Une revue de la littérature récente. 2e Rencontres Francophones Transport Mobilité (RFTM), Montréal, Canada.

Leimenstoll, W. (2017). *Autonomous Vehicles Could Have a Big Impact on DC's Budget*. DC Policy Center, Washington, DC.

- Lempert, R. J., Groves, D. G., Popper, S. W., et Bankes, S. C. (2006). A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. *Management Science*, 52(4), 514-528.
- Le Néchet, F., et Aguiléra, A. (2012). Forme urbaine et mobilité domicile-travail dans 13 aires urbaines françaises: une analyse multiéchelle. *Recherche Transports Sécurité*, 28(3), 259-270.
- Levin, M. W., et Boyles, S. D. (2015). Effects of autonomous vehicle ownership on trip, mode, and route choice. *Transportation Research Record*, 2493(1), 29-38.
- Le Vine, S., Zolfaghari, A., et Polak, J. (2015). *The tension between autonomous cars' impacts on intersection level-of-service and their occupants' use of travel time for leisurely or economically-productive activities*. Transportation Research Board 94th Annual Meeting, Washington, D.C., Etats-Unis.
- Liebert, W., et Schmidt, J. C. (2010). Towards a prospective technology assessment: challenges and requirements for technology assessment in the age of technoscience. *Poiesis & Praxis*, 7(1), 99-116.
- Lipson, H., et Kurman, M. (2016). *Driverless: intelligent cars and the road ahead*. MIT Press.
- Litman, T. (2016). *Autonomous vehicle implementation predictions*. Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2017). *Autonomous vehicle implementation predictions*. Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2017a). *Introduction to multi-modal transportation planning*. Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2018). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*. Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2019a). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*. Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2019b). *Well Measured Developing, Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T., et Burwell, D. (2006). Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(4), 331-347.
- Liu, R. (2016). *Automated transit: Planning, operation, and applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Loeb, B., et Kockelman, K. M. (2019). Fleet performance and cost evaluation of a shared autonomous electric vehicle (SAEV) fleet: A case study for Austin, Texas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 374-385.
- López, E., Monzón, A., et Pfaffenbichler, P.C. (2012). Assessment of energy efficiency and sustainability scenarios in the transport system. *European Transport Research Review*, 4(1), 47-56.
- Loro, A. (2014). *Road vehicle automation technologies: anticipating the impacts on urban travel and land use*. School of Urban Planning, McGill University.

- Luo, L. H., Liu, H., Li, P., et Wang, H. (2010). Model predictive control for adaptive cruise control with multi-objectives: comfort, fuel-economy, safety and car-following. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 11(3), 191-201.
- Luo, Y., Xiang, Y., Cao, K., et Li, K. (2016). A dynamic automated lane change maneuver based on vehicle-to-vehicle communication. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 62, 87-102.
- Lyons, G., Jain, J., et Holley, D. (2007). The use of travel time by rail passengers in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(1), 107-120.
- Macharis, C., Verbeke, A., et De Brucker, K. (2004). The strategic evaluation of new technologies through multicriteria analysis: the ADVISORS case. *Research in Transportation Economics*, 8, 443-462.
- Macharis, C., et Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 37, 177-186.
- Marchand, G. (2013). Un système d'indicateurs pour évaluer les impacts territoriaux des politiques de développement durable dans les zones rurales en Amazonie brésilienne: l'expérience IDURAMAZ [Thèse de doctorat, Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III].
- Maréchal, J. P. (1996). Le développement durable dans la pensée néo-classique. Dans I., Rens, SEBES, (dir.), *Le droit international face à l'éthique et à la politique de l'environnement* (p.223-230).Georg.
- Mares, R., Stix, C., et Dewey, S. (2018). *How autonomous vehicles will drive our budgets. An Analysis of the economic and fiscal impacts of self-driving cars on the Commonwealth of Massachusetts*. Conservation Law Foundation.
- Martinez, L., et Crist, P. (2015). *Urban Mobility System Upgrade—How shared self-driving cars could change city traffic*. International Transport Forum.
- Marttunen, M., Lienert, J., et Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 1-17.
- Massot, M. H., et Zaffran, J. (2007). Auto-mobilité urbaine des adolescents franciliens. *Espace, populations, sociétés*, (2-3), 227-241.
- Maurice, J., Crozet, Y., Abraham, C., Gaudry, M., Ivaldi, M., Vibes, C., Gollier, C., Andrieu, L., De Palma, A., Picard, N., Baumstrak, L., Chevasson, G., Bonnafous, A., Roy, W., Quinet, E., Sauvant, A., Raux, C., Souche, S., Mercier, A., Proost, S., ... et Vaskova, L. (2007). *Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*. Economica.
- Mazur, C., Offer, G. J., Contestabile, M., et Brandon, N. B. (2018). Comparing the effects of vehicle automation, policy-making and changed user preferences on the uptake of electric cars and emissions from transport. *Sustainability*, 10(3), 676.
- McDonald, M., Delle Site, P., Stam, D., Salucci, M. V., et Alessandrini, A. (2018). The CityMobil2 Evaluation Framework. Dans A. Alessandrini (dir.), *Implementing Automated Road Transport Systems in Urban Settings* (p. 84-107). Elsevier.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., et Behrens, W. W. (1972). *Rapport sur les limites de la croissance*. Fayard.

- Meadows, D. H. (1998). *Indicators and information systems for sustainable development*. The Sustainability Institute.
- Meeder, M., Bosina, E., et Weidmann, U. (2017). *Autonomous vehicles: Pedestrian heaven or pedestrian hell*. 17th Swiss Transport Research Conference, Ascona, Suisse.
- Mercier, S. (2010). Une analyse historique du concept de parties prenantes: Quelles leçons pour l'avenir?. *Management & Avenir*, 3(33), 142-156.
- Merlin, P. (1991). *Géographie, économie et planification des transports*. Presses Universitaires de France.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2014). *Plan de déplacements urbains de la Métropole Rouen Normandie*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2015a). *Schéma de cohérence territoriale de la Métropole Rouen Normandie. Demain 2030*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2015b). *Plan Territorial de Lutte Contre les Discriminations 2015-2022 de la Métropole Rouen Normandie*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2016). *Une décennie de projets (2015-2025)*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2018a). *Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET)*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2018b). *Accord de Rouen pour le climat. Mobilisation des acteurs du territoire pour sa transition écologique*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2019a). *Programme local de l'habitat (2020-2025)*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2019b). *Plan égalité Femmes-Hommes (2020-2022)*.
- Métropole Rouen Normandie (MRN). (2020). *Plan Local d'Urbanisme de la Métropole Rouen Normandie*.
- Metz, D. (2018). Developing policy for urban autonomous vehicles: Impact on congestion. *Urban Science*, 2(2), 33.
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., et Axhausen, K. W. (2017). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?. *Research in Transportation Economics*, 62, 80-91.
- Milakis, D., Snelder, M., Van Arem, B., Van Wee, G. P., et Homem de Almeida Correia, G. (2015). *Development of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050*. Delft University of Technology.
- Milakis, D., Van Arem, B., et Van Wee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 21(4), 324-348.
- Milakis, D. (2019). Long-term implications of automated vehicles: an introduction. *Transport Reviews*, 39(1), 1-8.
- Millard-Ball, A. (2018). Pedestrians, autonomous vehicles, and cities. *Journal of Planning Education and Research*, 38(1), 6-12.
- Ministère de la Transition écologique. (2019). Fiches outils du référentiel d'évaluation des projets de transport. https://www.ecologie.gouv.fr/evaluation-des-projets-transport#scroll-nav_5.

- Mitteregger, M., Soteropoulos, A., Bröthaler, J., et Dorner, F. (2019). *Shared, Automated, Electric: the Fiscal Effects of the "Holy Trinity"*. 24th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society, Karlsruhe, Allemagne.
- Molinié, M. A., et Schultz, E. (2019). L'OPECST au travail. Enquête sur la genèse d'un rapport. *Histoire de la recherche contemporaine. La revue du Comité pour l'histoire du CNRS*, 8(1), 54-66.
- Montibeller, G., Gummer, H., et Tumidei, D. (2006). Combining scenario planning and multi-criteria decision analysis in practice. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 14(1-3), 5-20.
- Moore, M. A., Lavieri, P. S., Dias, F. F., et Bhat, C. R. (2020). On investigating the potential effects of private autonomous vehicle use on home/work relocations and commute times. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 110, 166-185.
- Moradi, A., et Vagnoni, E. (2018). A multi-level perspective analysis of urban mobility system dynamics: What are the future transition pathways?. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 231-243.
- Morrison-Saunders, A., Pope, J., et Bond, A. (2015). *Handbook of sustainability assessment*. Edward Elgar Publishing.
- Munda, G., Nijkamp, P., et Rietveld, P. (1995). Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 79-97.
- Nadi, P. A., et Murad, A. (2017). Review of methods and indicators in sustainable urban transport studies overview from 2000 to 2016. *Communications in Science and Technology*, 2(2).
- Naess, A. (1989). From ecology to ecosophy, from science to wisdom. *World Futures: Journal of General Evolution*, 27(2-4), 185-190.
- Nashashibi, F., Trebucq, O., Goatin, P., Issarny, V., et Simonin, O. (2018). *Véhicules autonomes et connectés, les défis actuels et les voies de recherche*. INRIA.
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2017) *Blueprint for autonomous urbanism* (2^e éd.).
- Nelson, D., Shakow, D. (1996). *Sustainable transportation through an integrated planning process*. OECD International Conference "Toward Sustainable Transportation", Vancouver, Canada.
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., et Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 60(3), 498-508.
- Netto, M., Burkhardt, J-M., Fiat, E., Guilbot, M., Seidowky, R., et Smadja, D. (2020). *Les nouvelles technologies au service des mobilités, Une approche prospective pour un développement éthique et socialement responsable*. Séminaire « La ville en transformation-Approches pluridisciplinaires et nouveaux défis », Marne-la-Vallée, France.
- NHTSA. (2016). *Automated Vehicles for Safety*.
- Nicolas, J. P., Pochet, P., et Poimboeuf, H. (2003). Towards sustainable mobility indicators: application to the Lyons conurbation. *Transport Policy*, 10(3), 197-208.

- Nicolas, J. P., et Verry, D. (2005). *Indicateurs de mobilité durable: outils d'analyse comparative de la mobilité urbaine*. 41^e colloque de l'ASRDLF, Dijon, France.
- Nicolas, J. P., Vanco, F., et Verry, D. (2012). Mobilité quotidienne et vulnérabilité des ménages. *Revue d'Economie Régionale Urbaine*, (1), 19-44.
- Nioche, J. P. (1982). De l'évaluation à l'analyse des politiques publiques. *Revue française de science politique*, 32(1), 32-61.
- Nioche, J. P. (2016). Les trois paradigmes de l'évaluation des politiques publiques face à l'obligation de rendre des comptes et de rendre compte. *Revue française d'administration publique*, 4(160), 1227-1240.
- Nordhoff, S., De Winter, J., Kyriakidis, M., Van Arem, B., et Happee, R. (2018). Acceptance of driverless vehicles: Results from a large cross-national questionnaire study. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- Nourinejad, M., Bahrami, S., et Roorda, M. J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 109, 110-127.
- Observatoire des mobilités de la Métropole Rouen Normandie (OMMeR). (2019). Chiffres clés 2019. Agence d'Urbanisme de Rouen et des Boucles de Seine et Eure.
- Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR). (2019). *Accidentalité routière 2018, Estimations au 28 janvier 2019*.
- OCDE/Eurostat. (2005). *Manuel d'Oslo. Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation* (3^e éd.). Editions OCDE.
- Ohnemus, M., et Perl, A. (2016). Shared autonomous vehicles: Catalyst of new mobility for the last mile?. *Built Environment*, 42(4), 589-602.
- Offer, G. J. (2015). Automated vehicles and electrification of transport. *Energy & Environmental Science*, 8(1), 26-30.
- Olsson, L. E., Maier, R., et Friman, M. (2019). Why do they ride with others? Meta-analysis of factors influencing travelers to carpool. *Sustainability*, 11(8).
- Omura, M. (2004). Cost-benefit analysis revisited: is it a useful tool for sustainable development. *Kobe University Economic Review*, 50, 43-58.
- Orfeuil, J. P., et Leriche, Y. (2019). *Piloter le véhicule autonome: au service de la ville*. Descartes et Cie.
- Orfila, O. (2011). *Impact of the penetration rate of ecodriving on fuel consumption and traffic congestion*. ECTRE-FEHL-FERSI Young Researchers Seminar, Copenhagen, Denmark
- O'Shaughnessy, A., Caravone, R., Amos, J., et Gardner, A. (2017). Urban Policy For Autonomous Vehicles. Dans J. Skov, (dir.), *New Urban Mobility Ecosystem* (p. 107-119). University of Oregon.
- Pakusch, C., Stevens, G., Boden, A., et Bossauer, P. (2018). Unintended effects of autonomous driving: A study on mobility preferences in the future. *Sustainability*, 10(7), 2404.
- Papa, E., et Ferreira, A. (2018). Sustainable accessibility and the implementation of automated vehicles: Identifying critical decisions. *Urban science*, 2(1), 5.

- Papon, F., et De Solère, R. (2010). *Les modes actifs: marche et vélo de retour en ville*. Service de l'observation et des statistiques, Commissariat général au développement durable.
- Park, H., Khattak, Z., et Smith, B. (2018). *Glossary of Connected and Automated Vehicle Terms*. University of Virginia Center for Transportation Studies.
- Patris, C., Valenduc, G., et Warrant, F. (2001). *L'innovation technologique au service du développement durable*. Centre de recherche Travail & Technologies, Fondation Travail-Université asbl, Namur.
- Pearce, D., et Atkinson, G. (1998). The concept of sustainable development: An evaluation of its usefulness ten years after Brundtland. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 134(3), 251-269.
- Pernestål Brenden, A., et Kristoffersson, I. (2018). *Effects of driverless vehicles: A review of simulations*. Working papers in Transport Economics. Centre for Transport Studies Stockholm.
- Pernestål, A., et Kristoffersson, I. (2019). Effects of driverless vehicles. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 19(1).
- Petit, M. (2009). Les technologies de l'information et de la communication (TIC) au service du développement durable. *Annales des Mines-Réalités industrielles*, (2), 83-88.
- Petit, J., et Shladover, S. E. (2015). Potential Cyberattacks on Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2), 546-556.
- Peugeot, V. (2015). À quoi sert le Conseil national du numérique?. *I2D-Information, Données & Documents*, 52(4), 23-25.
- Pfleging, B., Rang, M., et Broy, N. (2016). *Investigating user needs for non-driving-related activities during automated driving*. 15th international conference on mobile and ubiquitous multimedia, Rovaniemi, Finlande.
- Philanthropies, B. (2018). *Initiative on Cities and Autonomous Vehicles*. Aspen Institute.
- Pintér, L., Hardi, P., Martinuzzi, A., et Hall, J. (2012). Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. *Ecological Indicators*, 17, 20-28.
- Plottu, B. (2005). Comment concilier débat public et décision rationnelle ? Vers une méthode d'évaluation démocratique. *Revue d'Economie Régionale Urbaine*, (3), 355-372.
- Plottu, B., et Plottu, E. (2009). Contraintes et vertus de l'évaluation participative. *Revue française de gestion*, 2(192), 31-58.
- Pochet, P. (2003). Mobilité et accès à la voiture chez les personnes âgées: évolutions actuelles et enjeux. *Recherche-Transports-Sécurité*, 79, 93-106.
- Poczter, S. L., et Jankovic, L. M. (2014). The google car: driving toward a better future?. *Journal of Business Case Studies*, 10(1), 7-14.
- Pope, J., Annandale, D., et Morrison-Saunders, A. (2004). Conceptualising sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(6), 595-616.
- Pope, J. (2006). What's so special about sustainability assessment?. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 8(3), 5-10.

- Pope, J., Bond, A., et Morrison-Saunders, A. (2015). A conceptual framework for sustainability assessment. Dans A., Morrison-Saunders, J., Pope, A., Bond (dir.), *Handbook of sustainability assessment* (p.20-42). Edward Elgar Publishing.
- Pope, J., Bond, A., Huges, J., et Morrison-Saunders, A. (2017). Reconceptualising sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 205-215.
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (2012) *Application of the Sustainability Assessment of Technologies Methodology: Guidance Manual*.
- Quarles, N. T. (2018). *Americans' plans for acquiring and using electric, shared, and self-driving vehicles and costs and benefits of electrifying and automating US bus fleets* [Mémoire de master, University of Texas].
- Quinet, E. (2010). *La pratique de l'analyse coût-bénéfice dans les transports: Le cas de la France* (n°2010-17). Joint Transport Research Centre, OCDE.
- Ram, C., Montibeller, G., et Morton, A. (2011). Extending the use of scenario planning and MCDA for the evaluation of strategic options. *Journal of the Operational Research Society*, 62(5), 817-829.
- Rämä, P., Kuisma, S., Steger-Vonmetz, C., Vlk, T., Page, Y., Malone K., Wilmink I., Bärgrman J., Macbeth, I., Sumner, G., Homem de Almeida Correia, J., Gougeon, P., Wilsch, B., Barnard, Y., Cizkova, T., Alessandrini A., Nikolaou S. (2018). *Societal Challenges- Smart, Green and Integrated Transport, D5.3 Societal impacts of automated driving, D5.3 Societal impacts of automated driving*. DG Recherche et Innovation, Commission Européenne.
- Rangesh, A., Ohn-Bar, E., Yuen, K., et Trivedi, M. M. (2016). *Pedestrians and their phones- detecting phone-based activities of pedestrians for autonomous vehicles*. IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Rio de Janeiro, Brésil.
- Reck, D. J., et Axhausen, K. W. (2019). *Autonomous taxi operations: Market structure, competitive dynamics and regulatory implications*. Transportation Research Board 98th Annual Meeting, Washington, D.C., Etats-Unis.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological economics*, 32(2), 319-332.
- Rérat, P., et Haldimann, L. (2020). Le permis de conduire chez les jeunes: qui ne le passe pas (encore) et pourquoi?. *Flux*, 1-2(119-120), 5-24.
- Resce, G., Tasiou, M., et Vidoli, F. (2018). *PROMETHEE Package for R*.
- Revillard, A. (2018). *Quelle place pour les méthodes qualitatives dans l'évaluation des politiques publiques?* (Working Paper, n°81). SciencesPo Laboratoire Interdisciplinaire d'Evaluation des Politiques Publiques.
- Richardson, B. C. (2005). Sustainable transport: analysis frameworks. *Journal of Transport Geography*, 13(1), 29-39.
- Riggs, W., Larco, N., Tierney, G., Ruhl, M., Karlin-Resnick, J., et Rodier, C. (2019). Autonomous vehicles and the built environment: exploring the impacts on different urban contexts. Dans G., Meyer, S. Beiker (dir.) *Road vehicle automation 5* (p. 221-232). Springer, Cham.
- Riggs, W., Appleyard, B., et Johnson, M. (2020). A design framework for livable streets in the era of autonomous vehicles. *Urban, Planning and Transport Research*, 8(1), 125-137.

- Robert, A. D., et Bouillaguet, A. (2007). *L'analyse de contenu* (3^e éd.). Presses Universitaires de France.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Stuart Chapin III F., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Joachim Schellnhuber, H., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., et Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461, 472-475.
- Rodarius, C., Dufils, J., Fahrenkrog, F., Roesener, C., Varhelyi, A., Fernandez, R., Wang, L., Seiniger, P., Willemsen, D., van Roij, L., (2015). *Deliverable D7. 1 Test and Evaluation Plan*. Projet AdaptIVe, Septième Programme Cadre de l'Union Européenne (2007-2013).
- Rodier, C. J. (2018). *Travel effects and associated greenhouse gas emissions of automated vehicles*. National Center for Sustainable Transportation.
- Rondinone, M., Walter, T., Blokpoel, R., et Schindler, J. (2018). *V2X communications for infrastructure-assisted automated driving*. IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks", Platania, Grèce.
- Rouchitsas, A., et Alm, H. (2019). External human-machine interfaces for autonomous vehicle-to-pedestrian communication: a review of empirical work. *Frontiers in psychology*, 10, 2757.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers.
- Roy, B., et Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Economica.
- Roy, B., et Damart, S. (2002). L'analyse Coûts-Avantages, outil de concertation et de légitimation. *Metropolis*, (108-109), 7-16.
- Rupprecht Consult. (2019). *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan* (2^e éd.).
- Saaty T.L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill.
- Sainteny, G. (2008). L'étalement urbain. *Annales des Mines-Responsabilité et environnement* (1), 7-15.
- Sala, S., Farioli, F., et Zamagni, A. (2013). Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 1653-1672.
- Sala, S., Ciuffo, B., et Nijkamp, P. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 119, 314-325.
- Salter, J., Robinson, J., et Wiek, A. (2010). Participatory methods of integrated assessment—a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(5), 697-717.
- Saujot, M., Brimont, L., et Sartor, O. (2018). *Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable*. Institut du développement durable et des relations internationales.
- Schärlig, A. (1999). *Décider sur plusieurs critères: panorama de l'aide à la décision multicritère* (vol. 1). Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Schaub, A. (2018). *Robust perception from optical sensors for reactive behaviors in autonomous robotic vehicles*. Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Schipper, L. (1996). *Sustainable Transport: What it is, and Whether it is*. OECD International Conference "Toward Sustainable Transportation", Vancouver, Canada.
- Schoemaker, P. J. (1995). Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2), 25-50.
- Schoettle, B., et Sivak, M. (2014). *A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the US, the UK, and Australia*. Transportation Research Institute, University of Michigan.
- Schoettle, B., et Sivak, M. (2015a). *A preliminary analysis of real-world crashes involving self-driving vehicles*. Transportation Research Institute, University of Michigan.
- Schoettle, B., et Sivak, M. (2015b). *Potential impact of self-driving vehicles on household vehicle demand and usage*. Transportation Research Institute, University of Michigan.
- Schroeder, M. J., et Lambert, J. H. (2011). Scenario-based multiple criteria analysis for infrastructure policy impacts and planning. *Journal of Risk Research*, 14(2), 191-214.
- Schultz, E., et Dubois, M. (2019). L'OPECST, trente ans d'évaluations des choix scientifiques et techniques au Parlement. *Histoire de la recherche contemporaine. La revue du Comité pour l'histoire du CNRS*, 8(1), 6-8.
- Sessa, C., Alessandrini, A., Flament, M., Hoadley, S., Pietroni, F., et Stam, D. (2016). The socio-economic impact of urban road automation scenarios: CityMobil2 participatory appraisal exercise. Dans G., Meyer, S., Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation 3* (p. 163-186). Springer, Cham.
- Shaheen, S., Cohen, A., & Bayen, A. (2018). *The benefits of carpooling*. University of California.
- Shaheen, S., Cohen, A., et Farrar, E. (2019). Carsharing's impact and future. *Advances in transport policy and planning*, 4, 87-120.
- Sheate, W. R., Do Partidário, M. R., Byron, H., Bina, O., et Dagg, S. (2008). Sustainability assessment of future scenarios: methodology and application to mountain areas of Europe. *Environmental management*, 41(2), 282-299.
- Shi, L., et Prevedouros, P. (2016). Autonomous and connected cars: HCM estimates for freeways with various market penetration rates. *Transportation Research Procedia*, 15, 389-402.
- Shladover, S. (2012). *Automated Vehicles: Terminology and Taxonomy*. Transportation Research Board Taxonomy Working Group.
- Shladover, S. E. (2018). Connected and automated vehicle systems : Introduction and overview. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 190-200.
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., et Dikshit, A. K. (2009). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological indicators*, 9(2), 189-212.
- Singleton, P. A. (2018). Discussing the "Positive Utilities" of Autonomous Vehicles: Will Travellers Really Use Their Time Productively?. *Transport Reviews*, 39(1), 1.
- Sioui, L. (2014). *Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable: concept, méthodes et outils* [Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de Montréal].

- Small, B., et Jollands, N. (2006). Technology and ecological economics: Promethean technology, Pandorian potential. *Ecological Economics*, 56(3), 343-358.
- Smith, S., Bellone, J., Bransfield, S., Ingles, A., Noel, G., Reed, E., et Yanagisawa, M. (2015). *Benefits estimation framework for automated vehicle operations* (n° FHWA-JPO-16-229). United States Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.
- Smith, S., Koopmann, J., Rakoff, H., Peirce, S., Noel, G., Eilbert, A., et Yanagisawa, M. (2018). *Benefits estimation model for automated vehicle operations: Phase 2 Final Report* (n° FHWA-JPO-18-636). United States Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.
- Smits, R., et Den Hertog, P. (2007). TA and the management of innovation in economy and society. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 3(1), 28-52.
- Snyder, R. (2016). Implications of autonomous vehicles : A planner's perspective. *Institute of Transportation Engineers Journal*, 86(12), 25.
- Société Française d'Évaluation (SFE). (2006). *Charte de l'évaluation des politiques publiques et des programmes publics*.
- Sofia, D., Gioiella, F., Lotrecchiano, N., et Giuliano, A. (2020). Cost-benefit analysis to support decarbonization scenario for 2030: A case study in Italy. *Energy Policy*, 137, 111137.
- Soldo, E., Marais, M., et Hernandez, S. (2010). Les pratiques évaluatives au cœur de l'action publique locale en matière de développement durable: une lecture néo-institutionnaliste. *Management international*, 14(4), 69-84.
- Soteropoulos, A., Berger, M., et Ciari, F. (2019). Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies. *Transport reviews*, 39(1), 29-49.
- Spangenberg, J. H., Hinterberger, F., Moll, S., et Schutz, H. (1999). Material flow analysis, TMR and the MIPS concept: a contribution to the development of indicators for measuring changes in consumption and production patterns. *International Journal of Sustainable Development*, 2(4), 491-505.
- Spieser, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D., et Pavone, M. (2014). Toward a systematic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in Singapore. Dans G., Meyer, et S. Beiker (dir.), *Road vehicle automation* (p. 229-245). Springer, Cham.
- Srinivasan, S., Smith, S. et Milakis, D. (2016). Implications of vehicle automation for planning. Dans G., Meyer, S., Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation 3* (p. 287-295). Springer, Cham.
- Stead, D., et Vaddadi, B. (2019). Automated vehicles and how they may affect urban form: A review of recent scenario studies. *Cities*, 92, 125-133.
- Steck, F., Kolarova, V., Bahamonde-Birke, F., Trommer, S., et Lenz, B. (2018). How autonomous driving may affect the value of travel time savings for commuting. *Transportation Research Record*, 2672(46), 11-20.
- Stephens, T. S., Gonder, J., Chen, Y., Lin, Z., Liu, C., et Gohlke, D. (2016). *Estimated bounds and important factors for fuel use and consumer costs of connected and automated vehicles* (n°NREL/TP-5400-67216). National Renewable Energy Lab, Golden, CO.

- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- Stewart, T. J., French, S., et Rios, J. (2013). Integrating multicriteria decision analysis and scenario planning—Review and extension. *Omega*, 41(4), 679-688.
- Stilgoe, J. (2018). Machine learning, social learning and the governance of self-driving cars. *Social studies of science*, 48(1), 25-56.
- Stocker, A., et Shaheen, S. (2018). Shared automated mobility: early exploration and potential impacts. Dans G., Meyer, S., Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation 4* (p. 125-139). Springer, Cham.
- Strategy Analytics (2017). *Accelerating the Future: The Economic Impact of the Emerging Passenger Economy*.
- Sultana, S., Salon, D., et Kuby, M. (2019). Transportation sustainability in the urban context : A comprehensive review. *Urban geography*, 40(3), 279-308.
- Taeihagh, A., et Lim, H. S. M. (2019). Governing autonomous vehicles: emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity, and industry risks. *Transport reviews*, 39(1), 103-128.
- Taiebat, M., Brown, A. L., Safford, H. R., Qu, S., et Xu, M. (2018). A review on energy, environmental, and sustainability implications of connected and automated vehicles. *Environmental Science & Technology*, 52(20), 11449-11465.
- Taiebat, M., et Xu, M. (2019). Synergies of four emerging technologies for accelerated adoption of electric vehicles: Shared mobility, wireless charging, vehicle-to-grid, and vehicle automation. *Journal of Cleaner Production*, 230, 794-797.
- Telepak, G., et Augustin, H. (2018). *Automated vehicles in a major European city—a technical perspective on urban transport policy options: the case of Vienna*. 7th Transport Research Arena TRA, Vienne, Autriche.
- Terry, J., et Bachmann, C. (2019). Quantifying the potential impact of autonomous vehicle adoption on government finances. *Transportation Research Record*, 2673(5), 72-83.
- Thakur, P., Kinghorn, R., et Grace, R. (2016). *Urban form and function in the autonomous era*. 38th Australasian Transport Research Forum, Melbourne, Australie.
- Thébert, M., et Lesteven, G. (2018). *Le véhicule autonome comme objet médiatique, scientifique et social*. Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux.
- Thomopoulos, N., et Givoni, M. (2015). The autonomous car—a blessing or a curse for the future of low carbon mobility? An exploration of likely vs. desirable outcomes. *European Journal of Futures Research*, 3(1), 14.
- Tientrakool, P., Ho, Y. C., et Maxemchuk, N. F. (2011). *Highway capacity benefits from using vehicle-to-vehicle communication and sensors for collision avoidance*. IEEE 73rd Vehicular Technology Conference, Budapest, Hongrie.
- Tran, T. A., et Daim, T. (2008). A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(9), 1396-1405.
- Treiber, M., et Helbing, D. (2001). *Microsimulations of freeway traffic including control measures*. Institute for Economics and Traffic, TU Dresden.

- Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., Lenz, B., et Phleps, P. (2016). *Autonomous driving-the impact of vehicle automation on mobility behaviour*. Institute for Mobility Research, BMW Group.
- Tudela, A., Akiki, N., et Cisternas, R. (2006). Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(5), 414-423.
- Turner, R. K., et Pearce, D. W. (1993). Sustainable economic development: economic and ethical principles. Dans B., Barbier, *Economics and Ecology* (p. 177-194). Springer, Dordrecht.
- Tzanopoulos, J., Kallimanis, A. S., Bella, I., Labrianidis, L., Sgardelis, S., et Pantis, J. D. (2011). Agricultural decline and sustainable development on mountain areas in Greece: Sustainability assessment of future scenarios. *Land Use Policy*, 28(3), 585-593.
- United States Congress. (1972). Technology Assessment Act of 1972. Report of the Committee on Rules and Administration.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2011). *Transport for Sustainable Development in the ECE Region*. UNECE Transport Division.
- Vakayil, A., Gruel, W., et Samaranayake, S. (2017). *Integrating shared-vehicle mobility-on-demand systems with public transit*. Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington, D.C., Etats-Unis.
- Vallée, J., Commenges, H., Perchoux, C., Kestens, Y., et Chaix, B. (2015). Mobilité quotidienne et accès potentiel aux ressources urbaines: quelles inégalités sociales ?. M.F., Mattei, et P., Pumain, (dir.), *Données Urbaines* (vol. 7, p. 87-95). Economica.
- Van Arem, B., Van Driel, C. J., et Visser, R. (2006). *The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics*. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 7(4), 429-436.
- Van Brummelen, J., O'Brien, M., Gruyer, D., et Najjaran, H. (2018). Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 384-406.
- Van den Berg, V. A., et Verhoef, E. T. (2016). Autonomous cars and dynamic bottleneck congestion: The effects on capacity, value of time and preference heterogeneity. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 43-60.
- Van den Ende, J., Mulder, K., Knot, M., Moors, E., et Vergragt, P. (1998). Traditional and modern technology assessment: toward a toolkit. *Technological Forecasting and Social Change*, 58(1-2), 5-21.
- Vandersmissen, M. H. (2008). Modes de transport et territoires pratiqués en solo par les adolescents de la région urbaine de Québec. *Enfances, familles, générations*, (8).
- Van Notten, P. W., Rotmans, J., Van Asselt, M. B., et Rothman, D. S. (2003). An updated scenario typology. *Futures*, 35(5), 423-443.
- Verheem, R. (2002). *Recommendations for sustainability assessment in the Netherlands*. Commission for EIA.
- Vosooghi, R., Puchinger, J., Jankovic, M., et Sirin, G. (2017). A critical analysis of travel demand estimation for new one-way carsharing systems. *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Yokohama, Japon.

- Vidal, P., et Mus, M. (2009). Les TIC dans l'élaboration de la ville accessible: l'exemple des publics handicapés. *Flux*, (4), 38-48.
- Viel, L. (2018). *La légitimité des parties prenantes dans l'aménagement des villes: éthique de la conduite des projets urbains* [Thèse de doctorat, Université de Montréal].
- Villalba, B. (2009). *Appropriations du développement durable: émergences, diffusions, traductions*. Presses Universitaires du Septentrion.
- Vincent-Geslin, S., Pochet, P., Ortar, N., Bonnel, P., et Bouzouina, L. (2017). «Je t'aime... moi non plus». Quels changements dans le rapport des jeunes lyonnais à l'automobile ?. *Espaces Temps.net*.
- Vivanco, D. F., Kemp, R., et van der Voet, E. (2015). The relativity of eco-innovation: environmental rebound effects from past transport innovations in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 101, 71-85.
- Von Winterfeldt, D., Edwards, W. (1986). *Decision analysis and behavioural research*. Cambridge University Press.
- Wadud, Z., MacKenzie, D., et Leiby, P. (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 86, 1-18.
- Wadud, Z., et Huda, F. Y. (2019). *Fully automated vehicles: the use of travel time and its association with intention to use*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport. Thomas Telford. ICE Publishing.
- Walliser, B. (1990). *Le calcul économique*. La Découverte.
- Wardman, M., et Lyons., G. (2016). The digital revolution and worthwhile use of travel time: implications for appraisal and forecasting. *Transportation*, 43, 507-530.
- Warhurst, A. (2002). *Sustainability indicators and sustainability performance management*. IIED et WBCSD.
- Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemia, P., Karczmarczyk, A., et Ziolo, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 86, 107-124.
- Wen, J., Chen, Y. X., Nassir, N., et Zhao, J. (2018). Transit-oriented autonomous vehicle operation with integrated demand-supply interaction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97, 216-234.
- Wetmore, J. (2003). Driving the dream. The history and motivations behind 60 years of automated highway systems in America. *Automotive History Review*, 7, 4-19.
- Wiek, A., et Binder, C. (2005). Solution spaces for decision-making - a sustainability assessment tool for city-regions. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(6), 589-608.
- Winebrake, J. J., et Creswick, B. P. (2003). The future of hydrogen fueling systems for transportation: an application of perspective-based scenario analysis using the analytic hierarchy process. *Technological Forecasting and Social Change*, 70(4), 359-384.
- Winter, K., Cats, O., Martens, K., et van Arem, B. (2021). Relocating shared automated vehicles under parking constraints: assessing the impact of different strategies for on-street parking. *Transportation*, 48, 1931-1965.

- Wright, G., et Goodwin, P. (1999). Future-focussed thinking: combining scenario planning with decision analysis. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8(6), 311-321.
- Xiao, L., et Gao, F. (2010). A comprehensive review of the development of adaptive cruise control systems. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 48(10), 1167-1192.
- Yigitcanlar, T., Wilson, M., et Kamruzzaman, M. (2019). Disruptive impacts of automated driving systems on the built environment and land use: An urban planner's perspective. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(2), 24.
- Zakharenko, R. (2016). Self-driving cars will change cities. *Regional Science and Urban Economics*, 61, 26-37.
- Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., et Zhang, G. (2015). Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 19, 34-45.
- Zhang, W., Guhathakurta, S., et Ross, C. (2017) Parking spaces in the age of shared autonomous vehicles: How much parking will we need and where?. *Transportation Research Record*, 2651(1), 80-91.
- Zhang, S., Chen, J., Lyu, F., Cheng, N., Shi, W., et Shen, X. (2018a). Vehicular communication networks in the automated driving era. *IEEE Communications Magazine*, 56(9), 26-32.
- Zhang, W., Guhathakurta, S., et Khalil, E. B. (2018b). The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, 156-165.
- Ziegler, J., Bender, P., Schreiber, M., Lategahn, H., Strauss, T., Stiller, C., Dang, T., Franke, U., Appenrodt, N., Keller, C.G., Kaus, E., Herrtwich, R.G., Rabe, C., Pfeiffer, D., Lindner, F., Stein, F., Erbs, F., Enzweiler, M., Knöppel, G. et Zeeb, E. (2014). Making bertha drive—an autonomous journey on a historic route. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6(2), 8-20.
- Zijp, M. C., Heijungs, R., Van der Voet, E., Van de Meent, D., Huijbregts, M. A., Hollander, A., et Posthuma, L. (2015). An identification key for selecting methods for sustainability assessments. *Sustainability*, 7(3), 2490-2512.
- Zlocki, A., Fahrenkrog, F., Benmimoun, M., Josten, J., et Eckstein, L. (2014). Evaluation of Automated Road Vehicles. Dans G., Meyer, et S. Beiker (dir.), *Road Vehicle Automation* (p. 197-208). Springer, Cham.
- Zmud, J., Sener, I. N., et Wagner, J. (2016). *Consumer acceptance and travel behavior: impacts of automated vehicles* (n°PRC 15-49 F). Texas A & M Transportation Institute.

Annexes

Annexe 1 : Représentations des fonctions de conduite automatisées

Figure 52 : Fonctions de conduite dans le cadre de l'automatisation (Van Brummelen et al., 2018)

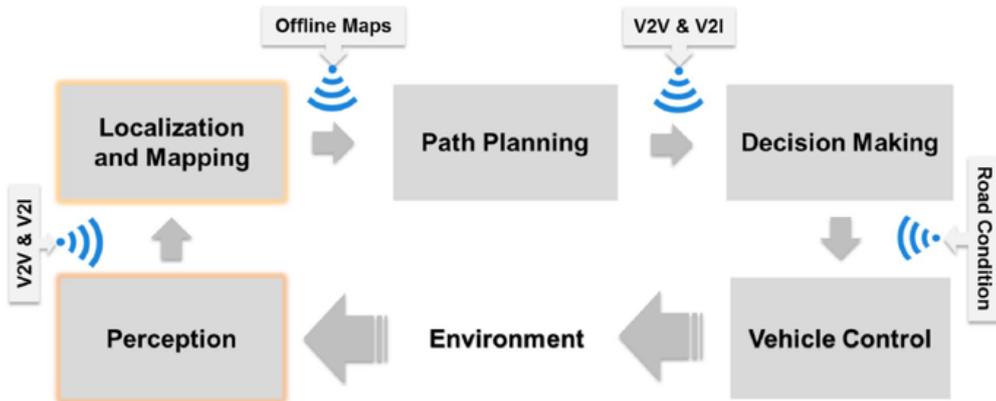
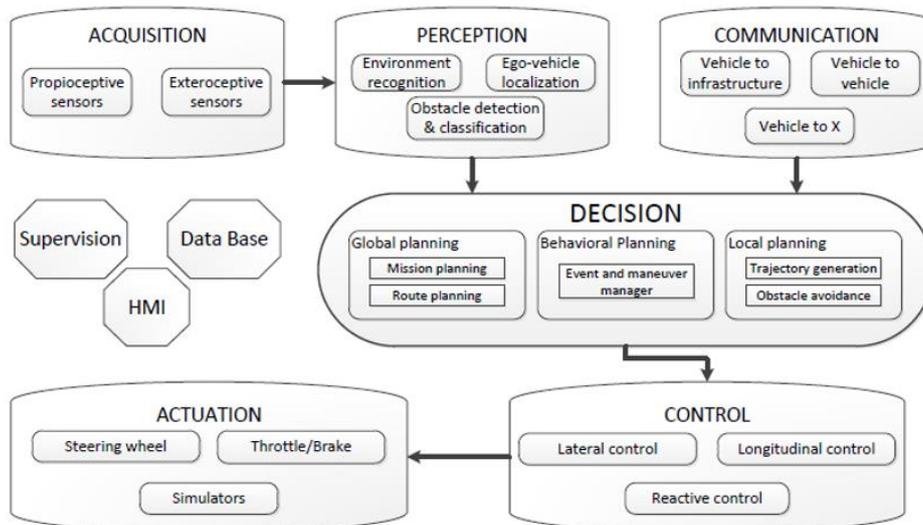
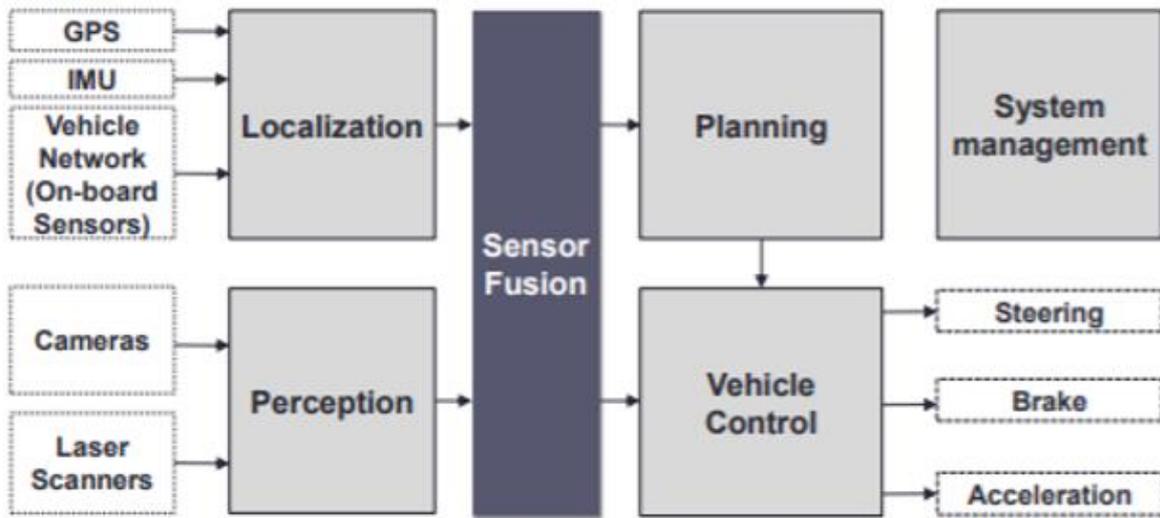


Figure 53 : Fonctions de conduite dans le cadre de l'automatisation (Gonzalez et al., 2015)



Gonzalez et al. (2015) précisent avoir réalisé cette représentation à partir des travaux antérieurs suivants : Thrun, et al. (2006). ; Broggi et al. (2013) ; Urmson et al. (2008) ; Thrun et al. (2008) ; Ferguson et al. (2008) ; Jo et al. (2015) et Jo (2015).

Figure 54: Fonctions de conduite dans le cadre de l'automatisation (Jo et al., 2015)



Annexe 2 : Niveaux d'automatisation de conduite

Tableau 102 : Niveaux d'automatisation de conduite (BASt, 2012, mis en forme par l'auteurice)

Full automation	The system takes over longitudinal and lateral control completely and permanently. In case of a take-over request that is not followed, the system will return to the minimal risk condition by itself.
High automation	The system takes over longitudinal and lateral control; the driver is no longer required to permanently monitor the system. In case of a take-over request, the driver must take over control with a certain time buffer.
Partial automation	The system takes over longitudinal and lateral control, the driver shall be prepared to take over control at any time.
Driver assistance	The driver permanently controls either longitudinal or lateral control. The other task can be automated to a certain extent by the assistance system.
Driver only	Human driver executes manual driving task

Tableau 103 : Niveaux d'automatisation de conduite (NHTSA, 2013, mis en forme par l'auteurice)

Level 0 – No-Automation	The driver is in complete and sole control of the primary vehicle controls (brake, steering, throttle, and motive power) at all times, and is solely responsible for monitoring the roadway and for safe operation of all vehicle controls. Vehicles that have certain driver support/convenience systems but do not have control authority over steering, braking, or throttle would still be considered “level 0” vehicles. Examples include systems that provide only warnings (e.g., forward collision warning, lane departure warning, blind spot monitoring) as well as systems providing automated secondary controls such as wipers, headlights, turn signals, hazard lights, etc. Although a vehicle with V2V warning technology alone would be at this level, that technology could significantly augment, and could be necessary to fully implement, many of the technologies described below, and is capable of providing warnings in several scenarios where sensors and cameras cannot (e.g., vehicles approaching each other at intersections).
Level 1 – Function-specific Automation	Automation at this level involves one or more specific control functions; if multiple functions are automated, they operate independently from each other. The driver has overall control, and is solely responsible for safe operation, but can choose to cede limited authority over a primary control (as in adaptive cruise control), the vehicle can automatically assume limited authority over a primary control (as in electronic stability control), or the

	<p>automated system can provide added control to aid the driver in certain normal driving or crash-imminent situations (e.g., dynamic brake support in emergencies). The vehicle may have multiple capabilities combining individual driver support and crash avoidance technologies, but does not replace driver vigilance and does not assume driving responsibility from the driver. The vehicle's automated system may assist or augment the driver in operating one of the primary controls – either steering or braking/throttle controls (but not both). As a result, there is no combination of vehicle control systems working in unison that enables the driver to be disengaged from physically operating the vehicle by having his or her hands off the steering wheel AND feet off the pedals at the same time. Examples of function specific automation systems include: cruise control, automatic braking, and lane keeping.</p>
<p>Level 2 - Combined Function Automation</p>	<p>This level involves automation of at least two primary control functions designed to work in unison to relieve the driver of control of those functions. Vehicles at this level of automation can utilize shared authority when the driver cedes active primary control in certain limited driving situations. The driver is still responsible for monitoring the roadway and safe operation and is expected to be available for control at all times and on short notice. The system can relinquish control with no advance warning and the driver must be ready to control the vehicle safely. An example of combined functions enabling a Level 2 system is adaptive cruise control in combination with lane centering. The major distinction between level 1 and level 2 is that, at level 2 in the specific operating conditions for which the system is designed, an automated operating mode is enabled such that the driver is disengaged from physically operating the vehicle by having his or her hands off the steering wheel AND foot off pedal at the same time</p>
<p>Level 3 - Limited Self-Driving Automation:</p>	<p>Vehicles at this level of automation enable the driver to cede full control of all safety-critical functions under certain traffic or environmental conditions and in those conditions to rely heavily on the vehicle to monitor for changes in those conditions requiring transition back to driver control. The driver is expected to be available for occasional control, but with sufficiently comfortable transition time. The vehicle is designed to ensure safe operation during the automated driving mode. An example would be an automated or self-driving car that can determine when the system is no longer able to support automation, such as from an oncoming construction area, and then signals to the driver to reengage in the driving task, providing the driver with an appropriate amount of transition time to safely regain manual control. The major distinction between level 2 and level 3 is that at level 3, the vehicle is</p>

	designed so that the driver is not expected to constantly monitor the roadway while driving.
Level 4 - Full Self-Driving Automation	The vehicle is designed to perform all safety-critical driving functions and monitor roadway conditions for an entire trip. Such a design anticipates that the driver ¹ will provide destination or navigation input, but is not expected to be available for control at any time during the trip. This includes bot occupied and unoccupied vehicles. By design, safe operation rests solely on the automated vehicle system.

Tableau 104 : Niveaux d'automatisation de conduite selon la SAE (2018)

Level	Name	Narrative definition	DDT		DDT fallback	ODD
			Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	OEDR		
<i>Driver performs part or all of the DDT</i>						
0	No Driving Automation	The performance by the <i>driver</i> of the entire DDT, even when enhanced by <i>active safety systems</i> .	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	n/a
1	Driver Assistance	The <i>sustained</i> and ODD-specific execution by a <i>driving automation system</i> of either the <i>lateral</i> or the <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtask of the DDT (but not both simultaneously) with the expectation that the <i>driver</i> performs the remainder of the DDT.	<i>Driver and System</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	Limited
2	Partial Driving Automation	The <i>sustained</i> and ODD-specific execution by a <i>driving automation system</i> of both the <i>lateral</i> and <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtasks of the DDT with the expectation that the <i>driver</i> completes the OEDR subtask and <i>supervises</i> the <i>driving automation system</i> .	System	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	Limited
ADS ("System") performs the entire DDT (while engaged)						
3	Conditional Driving Automation	The <i>sustained</i> and ODD-specific performance by an ADS of the entire DDT with the expectation that the <i>DDT fallback-ready user</i> is <i>receptive</i> to ADS-issued <i>requests to intervene</i> , as well as to <i>DDT performance-relevant system failures</i> in other <i>vehicle</i> systems, and will respond appropriately.	<i>System</i>	System	<i>Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)</i>	Limited
4	High Driving Automation	The <i>sustained</i> and ODD-specific performance by an ADS of the entire DDT and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	<i>System</i>	<i>System</i>	System	Limited
5	Full Driving Automation	The <i>sustained</i> and unconditional (i.e., not ODD-specific) performance by an ADS of the entire DDT and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	<i>System</i>	<i>System</i>	<i>System</i>	Unlimited

DDT : Dynamic Driving Task

ODD : Operational Design Domain

OEDR : Object and Event Detection Response

ADS : Automated Driving System

Annexe 3 : Les variables mobilisées dans l'analyse structurelle

Tableau 105 : Définition des variables mobilisées dans l'analyse structurelle

Variable	Définition
VARIABLES INTERNES	
1. Vitesse de développement technologique	Rapidité du développement de l'automatisation de conduite complète
2. Accidents à la phase de développement	Nombre et gravité des accidents impliquant des véhicules automatiques lors de la phase de développement et de test
3. Niveau d'automatisation	Niveau d'automatisation SAE
4. Capacité du véhicule	Nombre de personnes que peut transporter le véhicule
5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	Nécessité d'une infrastructure de télécommunication spécifique pour la circulation des VA
6. Infrastructures physiques nécessaires	Nécessité d'une infrastructure physique (accotement, marquage, signalisation, etc.) pour la circulation des VA
7. Mode d'exploitation	Manière dont le véhicule est « exploité », soit essentiellement selon deux modalités : possédé et utilisé par son propriétaire ou exploité au sein d'une flotte
8. Service à la demande	Le service de transport est proposé sur demande de l'utilisateur
9. Disponibilité temporelle	Largesse de la plage temporelle pendant laquelle les services de transport assurés par des VA sont disponibles
10. Disponibilité spatiale	Largesse de la zone géographique dans laquelle les services de transport assurés par des VA sont disponibles
11. Intégration aux transports en commun	Exploitation des VA dans le cadre du réseau de transports en commun
12. Taux d'occupation	Part des déplacements partagés dans le cas des VA
13. Coûts d'investissement	Coûts d'investissement du système nécessaire à la circulation des VA
14. Coûts de fonctionnement	Coûts de fonctionnement du système permettant la circulation des VA
15. Taux de pénétration	Part des véhicules automatiques dans les véhicules en circulation de capacité semblable

16. Type de motorisation	Type de motorisation des VA
17. Consommation énergétique	Consommation énergétique du véhicule (kWh)
18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	Prix du mode de transport automatique par rapport à un mode conduit équivalent
19. Temps de parcours comparé	Temps de parcours du mode de transport automatique par rapport aux autres modes de transport disponibles
20. Temps d'attente	En minute
21. Confort	Confort de déplacement au sein du VA
22. Fiabilité	Gravité et régularité des pannes des VA
23. Sécurité	Gravité et nombre d'accidents causés par les VA
24. Services à bord	Disponibilité de services à bord (divertissement audiovisuel, jeux vidéo, lecture, etc.)
25. Attitudes vis-à-vis des VA	Attitudes des individus en contact avec des VA (animosité, crainte, fascination, etc.)
26. Comportements à bord des VA	Comportements des individus lorsqu'ils se déplacent au sein d'un VA
27. Financement des infrastructures dédiées au VA	Mode de financement (décision, origine des crédits) des infrastructures nécessaires à la circulation des VA
28. Enjeux économiques et industriels nationaux	Importance des enjeux économiques et industriels nationaux que constituent les activités en lien avec le développement, la construction, l'exploitation ou la maintenance des VA
29. Compétition économique et industrielle mondiale	Intensité de la compétition autour du VA
30. Nature des entreprises impliquées	Secteur d'activité et taille des entreprises impliquées dans le développement, la construction, l'exploitation ou la maintenance des VA.
31. Mouvements d'entreprises	Partenariats, prises de participation et de rachats d'entreprises en lien avec le développement, la construction, l'exploitation ou la maintenance des VA
32. Soutien des autorités publiques locales aux VA	Soutien politique et financier des autorités publiques locales au VA
33. Soutien des autorités publiques nationales aux VA	Soutien politique et financier des autorités publiques nationales au VA
VARIABLES EXTERNES	

34. Part modale de la voiture individuelle	En nombre de déplacements
35. Part modale des transports en commun	En nombre de déplacements
36. Part modale du vélo	En nombre de déplacements
37. Part modale de la marche à pied	En nombre de déplacements
38. Part modale des engins de déplacements personnels	En nombre de déplacements
39. Taux de motorisation	Nombre de véhicules individuels / 1000 hab.
40. Part des ménages mutlimotorisés	Part des ménages ayant deux voitures ou plus
41. Covoiturage	Part des déplacements effectués en covoiturage (en tant que passager)
42. Autopartage	Part des déplacements effectués grâce à un véhicule issu d'un système d'autopartage
43. Nombre moyen de déplacement par jour/ind.	
44. Distance moyenne de déplacement par jour/ind.	
45. Mutlimodalité	Un système de transport multimodal renvoie à un système offrant différentes options de transport intégrées, permettant un bon niveau d'accessibilité à des non conducteurs (Litman, 2017a)
46. Digitalisation des activités et des échanges	Part des échanges physiques dématérialisés (télétravail, téléconférence, etc.)
47. Qualité du réseau de transports en commun	Niveau de desserte spatiale et temporelle du réseau de transports en commun dans la zone géographique considérée
48. Prix des transports en commun	Tarif des abonnements aux transports en commun mensuels/annuels et des tickets unitaires de transport
49. <i>MaaS</i>	Disponibilité de services d'information et/ou de billettique liant plusieurs modes de transport dans la zone géographique considérée
50. Offre de taxis/VTC	Nombre de véhicules disponibles au sein de flottes de taxis et de VTC dans la zone géographique considérée
51. Offre de services d'autopartage	Nombre de véhicules disponibles au sein de systèmes d'autopartage dans la zone géographique considérée
52. Congestion	

53. Etat des infrastructures de transport routier	Qualité du réseau routier dans la zone géographique considérée
54. Infrastructures majeures de transport à venir	Grands projets d'infrastructure de transport (lignes structurantes de transports en commun, projets routiers majeurs) dans la zone géographique considérée
55. Organisation du marché des transports	Mode de réalisation/d'attribution des différents services de transport locaux (transports en commun, taxis, autopartage, vélopartage, etc.)
56. Réglementation des services de taxis/VTC	Règles de circulation et d'exploitation dans la zone géographique considérée
57. Dispositifs de restriction de la demande automobile	Dispositifs physiques ou législatifs de restriction de la circulation automobile mis en place dans la zone géographique considérée
58. Occupation de l'espace public	Répartition de l'espace public entre les différents modes de transport dans la zone géographique considérée
59. Voies réservées aux véhicules à occupation multiple	Longueur des voies réservées aux véhicules à occupation multiple dans la zone géographique considérée
60. Forme urbaine	Organisation spatiale intra-urbaine des activités
61. Stratégies/orientations nationales en matière de transports	

Tableau 106 : Détails des relations de cause à effet entre variables inscrites dans la matrice d'analyse structurelle

Influence de ...	sur...	Valeur	Justification/Explication
1. Vitesse de développement technologique (Horizon temporel de déploiement)	5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	3	Selon l'horizon temporel de déploiement de l'automatisation de conduite, différents supports infrastructurels pourraient se montrer nécessaires.
	6. Infrastructures physiques nécessaires	3	
	16. Motorisation	2	La temporalité du développement des VA déterminera le type de motorisation, dans le sens d'une évolution parallèle de ces deux technologies.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	2	Des avancées technologiques régulières garantissent le soutien des pouvoirs publics.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
2. Accidents à la phase de développement	1. Vitesse de développement technologique	2	Des accidents à la phase de développement sont susceptibles de freiner les investissements et les recherches dans le domaine.
	5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	1	Des accidents à la phase de développement sont susceptibles de renforcer les nécessités infrastructurelles, en vue d'assurer la sécurité du système.
	6. Infrastructures physiques nécessaires	1	
	25. Attitudes vis-à-vis du VA	3	Des accidents à la phase de développement sont susceptibles de provoquer des comportements de crainte ou de répulsion des individus vis-à-vis des véhicules automatiques.

	32. Soutien des autorités publiques nationales	2	De la même façon, ils sont susceptibles de diminuer le soutien des pouvoirs publics à cette technologie.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
3. Niveau d'automatisation	5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	3	Même si la classification SAE ne traite pas des éventuels besoins en infrastructures des véhicules automatiques, l'idée de « <i>operational design domain</i> », soit de zone d'opération, peut rejoindre l'idée d'une zone géographiquement définie. Ainsi, le niveau d'automatisation des véhicules visé conditionnera les nécessités infrastructurelles.
	6. Infrastructures physiques nécessaires	3	
	7. Mode d'exploitation	3	Le niveau d'automatisation détermine les possibilités d'exploitation des VA, l'automatisation complète permettant une exploitation collective, à la demande, disponible sur une large plage horaire et spatiale.
	8. Service à la demande	2	
	9. Disponibilité temporelle	3	
	10. Disponibilité spatiale	2	
	11. Intégration aux transports en commun	2	De la même manière, la possibilité du remplacement total ou partiel du conducteur déterminera la manière dont peuvent être exploités ces véhicules dans le réseau de transports en commun.
	17. Consommation énergétique	2	Le niveau d'automatisation visé détermine les équipements et les échanges de données nécessaires.
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	2	Le niveau d'automatisation, à travers les besoins en matière d'équipements et de main d'œuvre qu'il suppose, influence le prix d'utilisation du VA.

	24. Services à bord	3	L'automatisation totale du véhicule permet de proposer des activités à bord indépendamment des besoins d'attention liés à la conduite ou la reprise en main du véhicule.
	25. Attitudes vis-à-vis du VA	3	L'automatisation complète des véhicules constitue une modification fondamentale dans leur fonctionnement par rapport à une automatisation partielle, et affecterait donc la manière dont ils sont perçus par les individus.
	26. Comportement à bord des VA	2	Le comportement des individus au sein des véhicules automatiques sera conditionné par le niveau d'automatisation au sens des possibilités d'actions ou de la présence ou non d'un conducteur.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	Le niveau d'automatisation détermine les usages possibles des véhicules, et ainsi, l'intérêt pour les pouvoirs publics de soutenir leur développement, d'autant plus au niveau local où les enjeux de compétitivité industrielle est peu déterminante des décisions.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
4. Capacité du véhicule	6. Infrastructures physiques nécessaires	2	Des véhicules de taille importante pourraient générer des besoins d'adaptation des infrastructures routières, particulièrement s'agissant des points de prise en charge des personnes.
	17. Consommation énergétique	2	La taille du véhicule influence sa consommation d'énergie.
	21. Confort	2	L'espace à disposition de l'utilisateur est un déterminant du confort lors du déplacement.

	26. Comportement à bord des VA	2	Le comportement des individus à bord des véhicules est influencé par la taille de celui-ci.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	Un véhicule capable de transporter un nombre de personnes important obtiendra plus facilement le soutien des autorités publiques locales, face aux problèmes engendrés par l'autosolisme.
5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	6. Infrastructures physiques nécessaires	2	Les infrastructures de télécommunications et physiques peuvent se montrer complémentaires dans l'exploitation des véhicules automatiques.
	10. Disponibilité spatiale	3	La nécessité d'infrastructures de télécommunications, dont le déploiement est à financer et à organiser, est susceptible de limiter la disponibilité spatiale des VA.
	13. Coûts d'investissement	3	La nécessité d'infrastructures de télécommunication engendrent naturellement des coûts d'investissement et de maintenance supplémentaires pour la mise en circulation des VA.
	14. Coûts de fonctionnement	3	
	15. Taux de pénétration	2	Idem que pour la disponibilité spatiale.
	17. Consommation énergétique	2	La nécessité d'infrastructures de télécommunication support entraîne une consommation d'énergie supplémentaire due au fonctionnement du matériel de bord de route.
	30. Nature des entreprises impliquées	3	La nécessité d'infrastructures de télécommunication impliquerait l'intervention d'entreprises du domaine des télécommunications.
	58. Occupation de l'espace public	1	Les infrastructures de télécommunication mentionnées vont se matérialiser par du mobilier de bord de route induisant une emprise spatiale.

6. Infrastructures physiques nécessaires	4. Infrastructures de télécommunication nécessaires	2	Les infrastructures de télécommunications et physiques peuvent se montrer complémentaires dans l'exploitation des véhicules automatiques.
	10. Disponibilité spatiale	3	La nécessité d'infrastructures physiques, dont le déploiement est à financer et à organiser, est susceptible de limiter la disponibilité spatiale des VA.
	13. Coûts d'investissement	2	La nécessité d'infrastructures physiques engendre naturellement des coûts d'investissement et de fonctionnement supplémentaires.
	14. Coûts de fonctionnement	2	
	15. Taux de pénétration	2	Idem que pour la disponibilité spatiale.
	53. Etat des infrastructures de transport routier	3	La nécessité d'infrastructures physiques consisterait notamment en une rénovation des éléments actuels, allant ainsi dans le sens de l'amélioration globale des infrastructures routières.
	58. Occupation de l'espace public	2	La nécessité d'infrastructures physiques reconfigurerait l'espace public, particulièrement l'espace actuellement dédié à la circulation des véhicules automobile.
7. Mode d'exploitation	4. Capacité du véhicule	3	Le type d'exploitation des VA influence différents caractéristiques du mode de transport considéré, ainsi que des variables propres à l'utilisation comme le taux d'occupation, le taux de pénétration ou le confort.
	8. Service à la demande	3	
	9. Disponibilité temporelle	3	
	10. Disponibilité spatiale	3	

	11. Intégration aux transports en commun	2	
	12. Taux d'occupation	3	
	15.21 Taux de pénétration	2	
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	3	
	19. Temps de parcours comparé	3	
	20. Temps d'attente	3	
	21. Confort	3	
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	Une exploitation collective des VA obtiendra plus facilement le soutien des autorités publiques locales, face aux problèmes engendrés par l'autosolisme.
	50. Offre de taxi/VTC	2	Suivant le type d'exploitation, les VA pourraient participer à la mise en place de nouvelles offres de services de taxis.
	51. Offre de services d'autopartage	2	Suivant le type d'exploitation, les VA pourraient participer à la mise en place de nouvelles offres de services d'autopartage.
8. Service à la demande	4. Capacité du véhicule	2	La réalisation de services de transport à la demande à partir des VA influence différentes caractéristiques du mode de transport considéré, ainsi que des variables propres à l'utilisation comme le taux de pénétration.
	15. Taux de pénétration	3	
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	2	

	19. Temps de parcours comparé	2	
	20. Temps d'attente	3	
	30. Nature des entreprises impliquées	2	Ce type de services peut impliquer des entreprises spécialisées dans les services de taxis.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	La flexibilité d'un service de transport à la demande est d'intérêt pour les pouvoirs publics locaux, notamment pour la desserte de zones peu denses.
9. Disponibilité temporelle	12. Taux d'occupation	2	La disponibilité temporelle du mode influence son utilisation, soit le taux d'occupation des véhicules.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	La disponibilité temporelle constitue une caractéristique de performance d'un service de transport pour les pouvoirs publics locaux, en vue notamment d'assurer des transports en heures creuses ou de nuit.
10. Disponibilité spatiale	12. Taux d'occupation	2	La disponibilité spatiale du mode influence son utilisation, soit le taux d'occupation des véhicules.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	La disponibilité spatiale constitue une caractéristique de performance d'un service de transport pour les pouvoirs publics locaux, en vue notamment d'assurer un accès équitable aux transports.
11. Intégration aux transports en commun	4. Capacité du véhicule	3	La capacité du véhicule est adaptée aux besoins des transports en commun, à la ligne desservie. Les véhicules de transports en commun sont généralement de taille importante.
	6. Infrastructures physiques nécessaires	1	L'intégration des VA aux transports en commun signifie un équipement en signalisation, voire en points d'arrêts.
	7. Mode d'exploitation	3	L'intégration des VA aux transports en commun sous-tend une exploitation collective de ceux-ci.

	9. Disponibilité temporelle	3	La disponibilité temporelle et spatiale des VA dépendra de celle prévalant pour le reste du réseau de transports en commun, identique ou complémentaire.
	10. Disponibilité spatiale	3	
	12. Taux d'occupation	3	L'intégration de VA au système de transport modifierait les caractéristiques d'utilisation du mode, le taux d'occupation dépendrait notamment de la demande globale s'adressant au réseau de TC et le taux de pénétration de la politique d'achat de VA.
	15. Taux de pénétration	2	
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	2	Le prix d'utilisation des VA est mis en cohérence avec la tarification appliquée au reste du réseau.
	19. Temps de parcours comparé	2	Le temps de parcours et d'attente des services de transport réalisés grâce à des VA sont dépendants des modalités d'intégration au réseau de transport, des caractéristiques d'exploitation.
	20. Temps d'attente	3	
	21. Confort	2	Le niveau de confort est en cohérence avec les conditions sur le reste du réseau.
	26. Comportement à bord des VA	2	Le comportement des usagers au sein de VA intégrés au réseau de transport en commun serait sûrement proche de celui dans les autres véhicules du réseau.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	2	Les pouvoirs publics sont susceptibles de préférer une intégration des VA aux transports en commun, surtout si des gains de performance ou financiers sont possibles.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
	47. Qualité du réseau de transport en commun	2	L'intégration de VA au système de transport en commun peut permettre de le renforcer ou de le compléter.

	48. Prix des transports en commun	1	L'effet sur les coûts d'investissement et de fonctionnement que pourrait avoir l'intégration des VA au réseau de transports en commun pourrait à terme modifier la tarification appliquée.
12. Taux d'occupation	17. Consommation énergétique	2	Le partage du véhicule permet de réduire la consommation énergétique par passagers transportés.
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	1	Selon la tarification en place, le partage du véhicule permet de réduire le coût pour chacun des passagers transportés.
	19. Temps de parcours comparé	2	Le partage du véhicule peut potentiellement augmenter le temps de parcours du fait des temps de prise en charge.
	21. Confort	1	Le partage du véhicule influence le confort lors du déplacement.
	24. Services à bord	1	Le partage du véhicule influence les services qui peuvent être proposés.
	26. Comportement à bord des VA	1	Le partage du véhicule influence les comportements au sein du véhicule.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	Le développement du covoiturage est un objectif poursuivi par les pouvoirs publics.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
	59. Voies réservées aux véhicules à occupation multiple	1	Le développement du covoiturage dans le cas du VA pourrait amener au développement de telles voies de circulation.
13. Coûts d'investissement	10. Disponibilité spatiale	3	Des infrastructures au coût d'investissement élevé pourraient limiter le déploiement géographique de ces dernières.
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	2	Le coût des infrastructures nécessaires se répercutera sur le prix d'utilisation de cette technologie.
	25. Attitudes vis-à-vis des VA	1	Un coût d'investissement en infrastructures important pourrait influencer négativement l'attitude des individus par rapport à cette technologie.

	27. Financement des infrastructures dédiées au VA	3	Le niveau d'investissement constitue un élément déterminant pour la possibilité de son financement.
	29. Compétition économique et industrielle mondiale	1	La perspective d'un coût infrastructurel élevé freinera la dynamique de recherche et d'investissement dédiée aux VA, dans la perspective d'une demande limitée.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	Des infrastructures au coût d'investissement élevé pourraient diminuer le soutien des pouvoirs publics nationaux.
	33. Soutien des autorités publiques locales	3	Des infrastructures au coût d'investissement élevé affecteraient négativement le soutien des autorités publiques locales, en charge de la voirie.
	54. Infrastructures majeures de transport à venir	2	Des infrastructures au coût d'investissement élevé pourraient remettre en cause d'autres projets d'infrastructure de transport.
	61. Stratégies/orientations nationales en matière de transports	1	Des infrastructures au coût d'investissement élevé risquent d'influencer la priorisation de cette thématique par rapport à d'autres politiques et projets.
14. Coûts de fonctionnement	10. Disponibilité spatiale	2	Des infrastructures au coût de fonctionnement élevé pourraient limiter leur déploiement géographique.
	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	1	Les coûts de fonctionnement des infrastructures nécessaires se répercuteront sur le prix d'utilisation de cette technologie.
	27. Financement des infrastructures dédiées au VA	3	Le niveau des coûts de fonctionnement influencera le mode de financement des infrastructures.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	Des coûts de fonctionnement élevés pourraient diminuer le soutien des pouvoirs publics nationaux.
	33. Soutien des autorités publiques locales	3	Des coûts de fonctionnement élevés affecteraient négativement le soutien des autorités publiques locales, en charge de la voirie.

15. Taux de pénétration	9. Disponibilité temporelle	3	Plus les VA représentent une partie importante du parc de véhicules, plus leur opération sera continue, ils seront disponibles à tout heure.
	10. Disponibilité spatiale	3	Plus les VA représentent une partie importante du parc de véhicules, plus ils sont disponibles spatialement.
	20. Temps d'attente	3	Plus les VA représentent une partie importante du parc de véhicules, plus le temps d'attente est réduit.
	28. Enjeux économiques et industriels nationaux	1	Plus les VA représentent une partie important du parc de véhicules, plus les enjeux économiques et industriels associés peuvent être importants.
	29. Compétition économique et industrielle mondiale	1	Plus les VA représentent une partie important du parc de véhicules, plus la compétition des entreprises à l'échelle mondiale sera importante.
	34. Part modale de la voiture	1	La proportion de VA, quel que soit la forme des services proposés, en tant que niveau de disponibilité d'un nouveau mode de transport influencera l'utilisation des autres modes de transport.
	35. Part modale des transports en commun	1	
	36. Part modale du vélo	1	
	37. Part modale de la marche à pied	1	
	38. Part modale des engins de déplacements personnels	1	
	50. Offre de taxi/VTC	1	La généralisation des VA pourrait amener à l'extension de l'offre de taxis, si ces derniers étaient ainsi exploités.

	51. Offre de services d'autopartage	1	La généralisation des VA pourrait amener à l'extension d'autopartage, si ces derniers étaient ainsi exploités.
16. Type de motorisation	17. Consommation énergétique	2	Le type de motorisation influence la consommation énergétique du véhicule.
	30. Nature des entreprises impliquées	1	Le type de motorisation, et ainsi le type d'énergie utilisée par les VA, peut influencer le type d'entreprise impliquée.
	32. Soutien autorités publiques nationales	1	Une motorisation alternative à une motorisation thermique pour les VA permet de s'assurer du soutien des pouvoirs publics, étant donné leurs objectifs en la matière.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	
17. Consommation énergétique	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	1	Le niveau d'énergie consommée influence le prix d'utilisation du VA.
18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	12. Covoiturage	3	Un prix d'utilisation élevé peut inciter à partager ses trajets.
	15. Taux de pénétration	3	Le prix d'utilisation influence la part de véhicules automatiques dans la flotte de véhicules.
	25. Attitudes vis-à-vis du VA	1	Le prix d'utilisation influence l'opinion des individus sur cette technologie.
	32. Soutien autorités publiques nationales	3	Le prix de commercialisation et d'utilisation de tels véhicules influence le soutien des pouvoirs publics, considérant les enjeux d'équité d'accès.
	33. Soutien des autorités publiques locales	3	
19. Temps de parcours comparé	15. Taux de pénétration	3	Le temps de parcours étant un élément important de choix du mode de transport, celui-ci influence le taux de pénétration des VA.

20. Temps d'attente	15. Taux de pénétration	3	Le temps d'attente, en tant que caractéristique de performance du mode, influence le taux de pénétration des VA.
21. Confort	15. Taux de pénétration	1	Le confort, en tant que caractéristique de performance du mode, influence le taux de pénétration des VA.
	24. Services à bord	3	Le niveau de confort permettra d'entreprendre différents types d'activité à bord.
	26. Comportement à bord des VA	1	Le niveau de confort est un déterminant du comportement des individus au sein du véhicule lors du déplacement.
22. Fiabilité	15. Taux de pénétration	2	La fiabilité, en tant que caractéristique de performance du mode, influence le taux de pénétration des VA.
	20. Temps d'attente	2	La récurrence de pannes des véhicules peut engendrer un allongement du temps d'attente.
	25. Attitudes vis-à-vis du VA	2	La fiabilité est un élément positif dans l'appréciation du VA par les individus, et conséquemment déterminant des attitudes.
	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	1	La fiabilité des véhicules influence l'intérêt du financement d'infrastructures dédiées, au sens de l'intérêt du déploiement de la technologie.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	La fiabilité, en tant que caractéristique de performance du mode, influence le soutien des pouvoirs publics à son développement et son intégration.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	
23. Sécurité	5. Infrastructures de télécommunication nécessaires	1	Des infrastructures de télécommunication ou physiques peuvent être nécessaires pour renforcer la sécurité des VA.
	6. Infrastructures physiques nécessaires	1	

	15. Taux de pénétration	2	Le niveau de sécurité, en tant que caractéristique de performance du mode, influence le taux de pénétration des VA.
	25. Attitudes vis-à-vis du VA	3	La sécurité est un élément positif dans l'appréciation du VA par les individus, et conséquemment déterminant des attitudes.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	2	La sécurité, en tant que caractéristique de performance du mode, influence le soutien des pouvoirs publics à son développement et son intégration.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
24. Services à bord	18. Prix par rapport à un mode conduit équivalent	1	La disponibilité de services à bord peut influencer le prix à la hausse.
	26. Comportement à bord des VA	1	La disponibilité d'activités au sein du véhicule influence le comportement des utilisateurs.
25. Attitudes vis-à-vis des VA	15. Taux de pénétration	3	L'opinion des individus au sujet des VA, retranscrite par leurs attitudes, influence le taux de pénétration.
	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	1	L'opinion des individus influencera les décisions de financement d'infrastructures dédiées aux VA.
	29. Compétition économique et industrielle mondiale	1	L'opinion des individus influencera l'intensité de la compétition mondiale autour de cette technologie.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	Le soutien des pouvoirs publics est dépendant de l'opinion des citoyens sur une technologie.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	
26. Comportements à bord des VA	12. Taux d'occupation	2	Le partage des trajets au sein de VA aura lieu si les comportements des individus sont compatibles.

	15. Taux de pénétration	1	Dans le cas d'une exploitation collective, le comportement des individus au sein du véhicule est déterminant de son utilisation, et incidemment de son taux de pénétration.
	21. Confort	1	Dans le cas d'une exploitation collective, le comportement des individus au sein du véhicule est déterminant du confort des autres utilisateurs.
27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	15. Taux de pénétration	2	Les décisions d'investissement en infrastructures influenceront potentiellement les capacités des VA à circuler uniformément sur le territoire, et par là leur taux de pénétration.
	53. Etat des infrastructures de transport routier	2	Les décisions d'investissement en infrastructures influenceront l'état général des infrastructures de transport routier.
	54. Infrastructures de transport majeures à venir	2	Les décisions d'investissement en infrastructures influenceront les autres décisions d'importance en matière de financement d'infrastructures.
28. Enjeux économiques et industriels nationaux	32. Soutien des autorités publiques nationales	3	L'importance industrielle et économique nationale des activités liées aux VA influencera le soutien des pouvoirs publics.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	Par écho, au niveau local également. Une spécificité économique territoriale dans ces activités pourra également jouer un rôle.
30. Nature des entreprises impliquées	7. Mode d'exploitation	3	Les entreprises impliquées dans le secteur influencent la manière dont le véhicule est exploité (firmes de services de taxis, opérateurs de transports en commun, constructeurs automobiles, etc).
	11. Intégration aux transports en commun	2	L'implication éventuelle des opérateurs de transports en commun dans le domaine permet l'intégration des VA aux réseaux de transports en commun.
	32. Soutien des autorités publiques nationales	1	La nature des entreprises impliquées, dépendamment de la structure économique, influence le soutien des pouvoirs publics nationaux.

	33. Soutien des autorités publiques locales	2	
31. Mouvements d'entreprises	1. Vitesse de développement technologique	3	Les mouvements partenariaux et de rachats d'entreprises influencent la vitesse de développement des VA (ex : Lallement et Wisnia-Weill, 2007).
32. Soutien des autorités publiques nationales	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	3	Le soutien des pouvoirs publics nationaux déterminera les décisions de financement des infrastructures.
	33. Soutien des autorités publiques locales	2	Le soutien des pouvoirs publics nationaux trouve un écho dans les démarches des pouvoirs publics locaux, notamment considérant les crédits pouvant être sollicités.
	61. Stratégies/orientations nationales en matière de transports	3	Le soutien des pouvoirs publics nationaux est retranscrit dans les orientations nationales en matière de transport.
33. Soutien des autorités publiques locales	15. Taux de pénétration	1	Idem que dans le cas des pouvoirs publics nationaux.
	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	2	Le soutien des pouvoirs publics locaux, leur vision de l'utilité de la technologie, influence les décisions de financement en matière d'infrastructures, même si elles pourraient avoir lieu à des strates de décisions supérieures.
34. Part modale de la voiture individuelle	43. Nombre de déplacements	1	La part modale de la voiture individuelle dans le système de transport influence le volume de déplacement.
	44. Distance moyenne de déplacement	2	
	53. Congestion	3	La part modale de la voiture individuelle est le principal facteur de congestion. (ex : Richardson, 2005)
	54. Infrastructures majeures des transports à venir	1	La part modale de la voiture individuelle est un déterminant des besoins et ainsi des décisions en matière de construction d'infrastructures, particulièrement d'infrastructures routières.

35. Part modale des transports en commun	11. Intégration aux transports en commun	1	Une part de marché des transports en commun importante incitera à l'intégration de nouveaux véhicules, comme les VA, au réseau de transports en commun.
	39. Taux de motorisation	1	La fréquentation des transports en commun montre une relation d'évolution inverse avec le taux de motorisation (ex : Sterman, 2000).
	40. Part des ménages multimotorisés	1	
	48. Prix des transports en commun	1	La fréquentation des transports en commun et leur prix évoluent inversement (ex : Sterman, 2000), à noter que nous considérons une relation plutôt faible entre ces deux éléments étant donné le mode de financement des transports publics dans la zone d'étude.
	52. Congestion	2	La fréquentation des transports en commun et la congestion évoluent inversement (ex : Sterman, 2000).
	58. Occupation de l'espace public	1	Une fréquentation importante des transports en commun entraîne la nécessité d'une répartition de l'espace public adapté, notamment à son profit.
36. Part modale du vélo	58. Occupation de l'espace public	1	Une utilisation importante du vélo nécessite des infrastructures adaptées, et influence ainsi la répartition de l'espace public.
37. Part modale de la marche à pied	58. Occupation de l'espace public	1	Une pratique importante de la marche à pied nécessite des infrastructures adaptées, et influence ainsi la répartition de l'espace public.
38. Part modale des engins de déplacements personnels	58. Occupation de l'espace public	1	Une utilisation importante d'engins de déplacements personnels nécessite des infrastructures adaptées, et influence ainsi la répartition de l'espace public.
39. Taux de motorisation	34. Part modale de la voiture individuelle	3	La possession d'un véhicule incite à son utilisation et influence donc la part modale de la voiture individuelle.
	41. Covoiturage	1	Le fait de ne pas posséder de voiture personnelle incite à des usages collectifs et partagés de la voiture (Godillon et Louvet, 2013).
	42. Autopartage	1	

40. Part des ménages multimotorisés	34. Part modale de la voiture individuelle	2	Idem que la variable précédente.
	41. Covoiturage	1	
	42. Autopartage	1	
41. Covoiturage	12. Taux d'occupation	2	Les pratiques initiales de covoiturage se reporteront, en tout cas pour partie, dans l'utilisation du VA.
	52. Congestion	2	La pratique du covoiturage réduit la congestion, du fait de l'utilisation d'un nombre inférieur de véhicules pour un nombre de passagers transportés équivalent (ex : Shaheen et al. 2018).
42. Autopartage	7. Mode d'exploitation	1	Les pratiques d'autopartage existantes vont influencer l'exploitation des VA, les formes de services proposées.
	52. Congestion	1	L'autopartage diminue la congestion puisqu'il entraîne une réduction du volume de déplacement et le report modal de la voiture personnelle vers d'autres modes de transport (ex : Shaheen et al., 2019).
43. Nombre moyen de déplacements par jour/ind.	52. Congestion	2	Le nombre moyen de déplacements contribue, avec la distance moyenne de déplacements, à constituer le volume de circulation, et, s'il est supérieur à la capacité routière, la congestion. (ex : Serman, 2000)
44. Distance moyenne de déplacement	52. Congestion	2	Idem que la variable précédente (ex : Serman, 2000).
45. Multimodalité	34. Part modale de la voiture individuelle	1	Un système de transport multimodal propose différentes options de transport de manière intégrée. A travers cette offre, il influence la part modale des différents modes de transport (ex : Litman, 2017a).
	35. Part modale des transports en commun	1	
	36. Part modale du vélo	1	
	37. Part modale de la marche à pied	1	

	38. Part modale des engins de déplacements personnels	1	
	41. Covoiturage	1	
	42. Autopartage	1	
46. Digitalisation des échanges	43. Nombre moyen de déplacements par jour/ind.	1	La réalisation d'activités à distance influence la demande de transport, le volume de déplacements (ex : Patris et al., 2001).
	44. Distance moyenne de déplacement	1	
47. Qualité du réseau de transports en commun	35. Part modale des transports en commun	3	La qualité du réseau de transports en commun entraîne une fréquentation plus importante, et donc une part modale des transports en commun plus importante (ex : Sterman, 2000).
48. Prix des transports en commun	35. Part modale des transports en commun	1	Article. Le prix des transports en commun joue sur sa fréquentation, sa part modale, il constitue un des éléments de choix du mode (ex : Sterman, 2000).
49. MaaS	45. Multimodalité	2	Un service dit <i>MaaS (Mobility as a Service)</i> , soit l'accès à l'intégration informationnelle et tarifaire de différents modes de transport, permet de faciliter les pratiques de multimodalité.
50. Offre de taxis/VTC	7. Mode d'exploitation	1	L'offre existante de services de taxi peut influencer l'intégration du VA, d'un complément bienvenu à des protestations.
51. Offre de services d'autopartage	42. Autopartage	3	La disponibilité des services conditionnent son utilisation.
52. Congestion	54. Infrastructures majeures des transports à venir	3	Le niveau de congestion influence les décisions de construction de nouvelles infrastructures routières (ex : Sterman, 2000).
	57. Dispositifs de restriction de la demande automobile	2	Ces deux types d'intervention publique locale interviennent dans le cas d'un niveau de congestion problématique.

	59. Voies réservées aux véhicules à occupation multiple	2	
53. Etat des infrastructures de transport routier	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	2	Les nécessités de financement de l'entretien des infrastructures actuelles vont influencer la possibilité d'investissement dans des infrastructures dédiées au VA.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	De la même manière, les besoins d'entretien des infrastructures actuelles anticipés influence le soutien des autorités locales à cette innovation technique.
54. Infrastructures majeures de transport à venir	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	2	Idem que la variable précédente.
	33. Soutien des autorités publiques locales	1	
55. Organisation du marché des transports	9. Disponibilité temporelle	1	L'AOM peut formuler des exigences s'agissant de la disponibilité temporelle des services de transports assurés par des VA.
	10. Disponibilité spatiale	1	Idem.
	11. Intégration aux transports en commun	1	
	16. Motorisation	1	
	27. Financement des infrastructures dédiées aux VA	1	Le modèle local d'organisation des services de transport peut donner lieu à différents schémas de financement des infrastructures.
	46. Qualité du réseau de transports en commun	2	L'AOM définit l'offre de transport disponible sur le territoire.
	48. Prix des transports en commun	1	
	49. MaaS	1	
51. Offre de services d'autopartage	1		

56. Réglementation des services de taxis/VTC	7. Mode d'exploitation	2	La réglementation sur les services de taxis influencera l'exploitation des VA.
	51. Offre de taxis/VTC	2	La réglementation sur les services de taxis influence l'offre disponible.
57. Dispositifs de restriction de la demande automobile	7. Mode d'exploitation	1	De tels dispositifs influencent potentiellement la manière dont les VA seront exploités, favorisant l'opération collective sur l'opération individuelle.
	34. Part modale de la voiture individuelle	2	Ces dispositifs sont conçus pour dissuader de l'utilisation et de la possession de véhicules personnels et favoriser une utilisation collective ou partagée.
	39. Taux de motorisation	1	
	40. Part des ménages multimotorisés	1	
	41. Covoiturage	1	
	42. Autopartage	1	
58. Occupation de l'espace public	34. Part modale de la voiture individuelle	1	L'occupation de l'espace public, le partage de la voirie, influence la répartition modale (ex : Ravazzoli et Torricelli, 2017 ; Joly et al., 2003)
	35. Part modale des transports en commun	1	
	36. Part modale du vélo	1	
	37. Part modale de la marche à pied	1	
	38. Part modale des engins de déplacements personnels	1	
	54. Infrastructures majeures de transport à venir	1	La planification de l'occupation de l'espace public est un déterminant des décisions en matière de construction d'infrastructures de transport.
59. Voies réservées aux véhicules à occupation multiple	12. Taux d'occupation	2	La plupart des études concluent à la favorisation du covoiturage grâce à des voies réservées aux véhicules au taux d'occupation élevé, même si leur performance est débattue (ex : Li et al., 2007 ; Kwon et al., 2008 ;
	41. Covoiturage	2	

			Olsson et al., 2019). Cela serait sûrement également valable dans le cas de voitures automatiques.
	58. Occupation de l'espace public	3	La présence de voies réservées aux véhicules à occupation multiple est une caractéristique de l'occupation de l'espace, du partage de la voirie.
60. Forme urbaine	35. Part modale des transports en commun	1	La forme urbaine, la configuration intra-urbaine, influence l'utilisation des différents modes et la distances de déplacements (ex : Néchet et Aguiléra, 2012)
	36. Part modale du vélo	1	
	37. Part modale de la marche à pied	1	
	39. Taux de motorisation	1	
	44. Distance moyenne de déplacement	2	
61. Stratégies/orientations nationales en matière de transport	2. Vitesse de développement technologique	2	Les orientations nationales en matière de transport formulent différents objectifs s'agissant des transports urbains, qui peuvent porter sur le véhicule automatique.
	7. Mode d'exploitation	1	
	11. Intégration aux transports en commun	1	
	16. Type de motorisation	1	
	27. Financement des infrastructures dédiées au VA	2	
	54. Infrastructures majeures de transport à venir	2	Les orientations nationales influencent la construction de nouvelles infrastructures, notamment par le biais de la Directive Territoriale d'Aménagement.

Tableau 108 : Caractéristiques de la matrice

Taille de la matrice	61*61
Nombre d'itération	2
Nombre de zéros	3467
Nombre de un	106
Nombre de deux	90
Nombre de trois	58
Taux de remplissage	7,3%

Annexe 5 : Communes de la Métropole de Rouen Normandie ciblées

Tableau 109 : Communes ciblées pour la prise de contact dans notre cas d'étude (en bleu)

Nom de la commune	Population en 2017
Rouen (76540)	110145
Notteville-lès-Rouen (76681)	28965
Saint-Étienne-du-Rouvray (76575)	28641
Grand-Quevilly (76322)	25698
Petit-Quevilly (76498)	21995
Mont-Saint-Aignan (76451)	18850
Elbeuf (76231)	16166
Canteleu (76157)	14181
Bois-Guillaume (76108)	13796
Oissel (76484)	11895
Maromme (76410)	10908
Déville-lès-Rouen (76216)	10492
Caudebec-lès-Elbeuf (76165)	10335
Darnétal (76212)	9707
Grand-Couronne (76319)	9648
Petit-Couronne (76497)	8619
Bihorel (76095)	8398
Saint-Aubin-lès-Elbeuf (76561)	8309
Saint-Pierre-lès-Elbeuf (76640)	8202
Mesnil-Esnard (76429)	7967
Notre-Dame-de-Bondeville (76474)	7015
Bonsecours (76103)	6462
Franqueville-Saint-Pierre (76475)	6123
Malaunay (76402)	6110
Cléon (76178)	4994
Trait (76709)	4942
Duclair (76222)	4198
Houlme (76366)	4050
Boos (76116)	3810
Saint-Léger-du-Bourg-Denis (76599)	3450
Amfreville-la-Mi-Voie (76005)	3273
Isneauville (76377)	3158
Saint-Jacques-sur-Darnétal (76591)	2835

Houpeville (76367)	2784
Tourville-la-Rivière (76705)	2501
Saint-Pierre-de-Varengeville (76636)	2338
Londe (76391)	2334
Neuville-Chant-d'Oisel (76464)	2240
Belbeuf (76069)	2201
Sainte-Marguerite-sur-Duclair (76608)	2028
Jumièges (76378)	1719
Saint-Martin-du-Vivier (76617)	1629
Saint-Martin-de-Boscherville (76614)	1521
Saint-Paër (76631)	1346
Montmain (76448)	1314
Hénouville (76354)	1302
Authieux-sur-le-Port-Saint-Ouen (76039)	1265
Sahurs (76550)	1226
Anneville-Ambourville (76020)	1190
Ymare (76753)	1154
Roncherolles-sur-le-Vivier (76536)	1114
Saint-Aubin-Celloville (76558)	1057
Yainville (76750)	1050
Saint-Aubin-Épinay (76560)	1033
Quévreville-la-Poterie (76514)	992
Moulineaux (76457)	944
Freneuse (76282)	932
Saint-Pierre-de-Manneville (76634)	921
Orival (76486)	913
Gouy (76313)	869
Sotheville-sous-le-Val (76682)	791
Bouille (76131)	753
Val-de-la-Haye (76717)	710
Bardouville (76056)	639
Mesnil-sous-Jumièges (76436)	639
Quevillon (76513)	598
Berville-sur-Seine (76088)	559
Épinay-sur-Duclair (76237)	529
Fontaine-sous-Préaux (76273)	508
Yville-sur-Seine (76759)	451
Hautot-sur-Seine (76350)	413

Annexe 6 : Support de recueil de données

Note sur la protection de vos données personnelles

Dans le cadre d'une **étude scientifique**, le Groupe Renault, en collaboration avec le Laboratoire Aménagement Economie Transports (LAET) de l'Université de Lyon, recueille l'avis de personnes représentantes d'organisations impliquées dans le système de transport rouennais sur le thème du **véhicule autonome**.

Le recueil de données s'effectue à travers le questionnaire qui suit, réalisé en face à face et enregistré sur un support audio. Les informations que vous fournirez nous permettront :

- de dresser un panorama du positionnement des différentes organisations par rapport à cette innovation
- d'étudier et de comparer les conséquences de différents scénarios d'introduction du véhicule autonome.

Vos informations personnelles resteront strictement confidentielles, et leur traitement sera réalisé de manière anonyme. Un formulaire de consentement, ainsi qu'une notice d'information sur la protection de vos données personnelles sont associés à ce questionnaire.

Nous vous remercions de votre participation.

Quel avenir souhaitable pour le véhicule autonome dans la Métropole de Rouen ?

Grâce au présent questionnaire, nous vous proposons d'étudier trois scénarios d'introduction du véhicule autonome dans la Métropole de Rouen. Après quelques questions préalables, les scénarios seront décrits, puis des questions s'y référeront.

Age	
Sexe	
Niveau de scolarisation / d'études	
Discipline étudiée (SHS, Droit, Gestion, Sciences pour l'ingénieur, etc.)	
Fonction	
Nombre d'années dans cette fonction	
Commune de résidence	
Nombre d'années de résidence dans la région de Rouen	
Mode de transport quotidien principal	

Connaissances et avis sur le véhicule autonome

1. Avez-vous déjà entendu, vu ou lu quelque chose à propos du véhicule autonome ?

- Oui, le sujet m'intéresse
 Oui
 Non

3. Connaissez-vous l'expérimentation Rouen Normandy Autonomous Lab ?

- Oui, j'y participe
 Oui
 Non

2. Si oui, que pensez-vous de cette technologie ?

4. Si oui, que pensez-vous de ce projet ?

5. Comment percevez-vous l'importance des risques liés au véhicule autonome listés ci-dessous ?
Veuillez utiliser une échelle d'intensité allant de 0 à 4.

- Protection des données personnelles
- Cybersécurité (risques de piratage)
- Erreurs du système informatique
- Comportement du véhicule en situation critique
- Cohabitation avec les autres usagers de la route
- Autres :

6. Comment percevez-vous l'importance des barrières potentielles à l'introduction du véhicule autonome listées ci-dessous ?
Veuillez utiliser une échelle d'intensité allant de 0 à 4.

- Oppositions politiques et de groupes de citoyens
- Craintes concernant la sécurité du système
- Craintes d'insécurité à l'intérieur du véhicule
- Difficultés d'utilisation de l'interface de commande
- Modifications des infrastructures
- Autres :

Transport et durabilité dans la Métropole de Rouen

7. Quelle importance relative accordez-vous aux enjeux ci-dessous dans l'optique d'un système de transport plus durable dans la Métropole de Rouen ?

Veuillez utiliser une échelle d'intensité allant de 0 à 4.

Environnement

- Pollution de l'air
- Pollution sonore
- Emissions de CO2
- Autres :

Economie

- Stabilité du budget de la Métropole dédié au transport
- Emplois dans le transport local
- Autres :

Social

- Sécurité des déplacements
- Equité d'accès à la mobilité selon l'âge
- Equité d'accès à la mobilité selon les revenus
- Equité d'accès à la mobilité selon la localisation
- Accès des personnes à mobilité réduite
- Equité d'accès à la mobilité selon le genre
- Autres :

Mobilité

- Congestion routière
- Utilisation des transports en commun
- Pratique du vélo
- Pratique de la marche à pied
- Autres :

Organisation spatiale

- Réduction de l'espace de stationnement automobile
- Densification des logements (Consommation d'espace)
- Densification des emplois (Consommation d'espace des activités économiques)
- Autres :

Scénarios d'introduction du véhicule autonome

Nous sommes en 2025. Les véhicules autonomes routiers sont désormais aboutis techniquement et suffisamment fiables. Les changements nécessaires en matière de législation, de réglementation, d'homologation et d'infrastructures ont été réalisés.

Les véhicules autonomes sont intégrés au système de transport de la Métropole de Rouen de trois manières. Nous souhaitons les comparer au sens de leur bénéfice pour la collectivité et de leur compatibilité avec un système de transport durable.

Dans tous les scénarios :

- les véhicules autonomes respectent l'ensemble des règles de circulation et de sécurité ;
- les véhicules autonomes sont connectés ;
- les véhicules autonomes peuvent transporter jusqu'à quatre personnes ;
- les véhicules autonomes peuvent se déplacer sans passager ;
- les véhicules autonomes sont accessibles aux personnes ne disposant pas du permis de conduire ou ne pouvant conduire pour d'autres raisons ;
- la consommation énergétique du véhicule autonome, qu'il soit thermique ou électrique, est similaire à un véhicule traditionnel.

Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel

Le véhicule autonome personnel est maintenant disponible.

Il est capable de se déplacer sur l'ensemble du territoire à tout moment. Le conducteur peut entreprendre toutes sortes d'activités en se déplaçant : travail, lecture, utilisation d'appareils électroniques, etc.

Le coût d'acquisition d'un véhicule autonome est supérieur de 7000 euros à un véhicule traditionnel. Au kilomètre, le coût s'élève à 0,45 €, semblablement à un véhicule traditionnel, des économies en matière d'assurance et d'entretien étant réalisées.

Scénario 2 : Le taxi autonome

Un service de taxis autonomes est maintenant disponible.

Il est accessible sur l'ensemble du territoire, 24h/24 et 7j/7. La réservation se fait grâce à une application mobile ou par téléphone. Une fois la réservation émise, le temps d'attente est en moyenne de 15 minutes. Les trajets peuvent être partagés, réduisant proportionnellement le prix pour chacun des utilisateurs.

Le prix d'utilisation est de 0,30 € par kilomètre, soit 0,90 € de la Gare de Rouen Rive Droite au CHU ou encore 2,60 € de la Gare de Rouen Rive Droite à la Plaine de la Ronce.

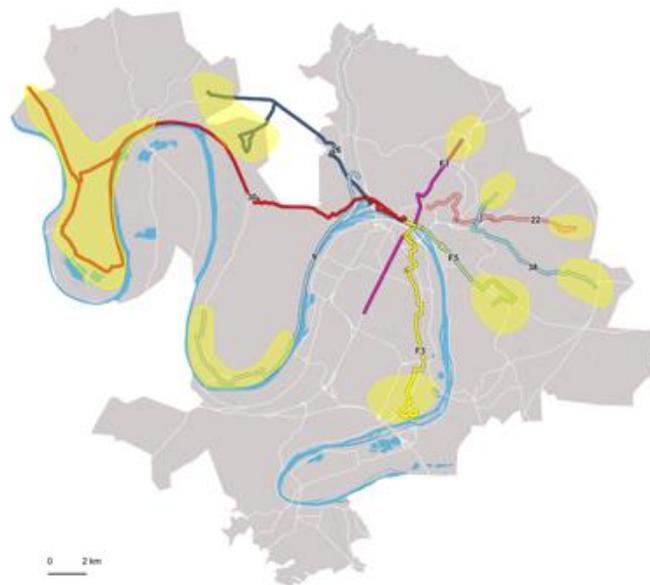
Scénario 3 : Le véhicule autonome intégré au réseau de transports en commun

Des véhicules autonomes complètent à présent les transports en commun en assurant le rabattement sur des lignes régulières en zones périurbaines, la fréquence et la capacité de ces dernières ont été renforcées.

Ils opèrent depuis ou jusqu'à une station et desservent les adresses selon les demandes. Le service est disponible lorsque les lignes de transport sont actives. Le temps d'attente est en moyenne de 5 minutes.

Le prix de ce service est intégré à l'abonnement mensuel et au ticket unitaire.

Le plan ci-dessous représente les zones de desserte et les lignes sur lesquelles s'effectue le rabattement.



Carte du « Scénario 3 » : Zones de desserte du service de rabattement autonome

Analyse des scénarios

Mobilité

8. Selon vous, quelle part des véhicules autonomes serait électrique dans chacun des scénarios ?
Veuillez utiliser une échelle d'intensité allant de 0 à 4.

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

9. Selon vous, le véhicule autonome serait-il partagé (covoiturage) ?
Veuillez utiliser une échelle d'intensité allant de 0 à 4.

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome

10. Si oui, à quelles conditions ?

	Scénario 1	Scénario 2
Personne(s) connue(s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Système de notation des covoitueurs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trajet de jour	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fas de détours importants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Incitation économique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la circulation automobile dans les différentes zones de la Métropole (Carte 1) ?
Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2 (-2, -1, 0, +1, +2).

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Urban très dense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Urban dense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Urban	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Périurban	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient :
Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2 (-2, -1, 0, +1, +2).

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
la fréquentation des transports en commun (Actuels) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l'utilisation du vélo ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
la pratique de la marche à pied ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Social

13. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient la sécurité des déplacements (pour les usagers de tous les modes) ?
Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2 (-2, -1, 0, +1, +2).

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

14. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des groupes d'âge suivants ?
Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2 (-2, -1, 0, +1, +2).

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
5-17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18-24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25-49	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50-64	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
65-79	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
80 et +	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

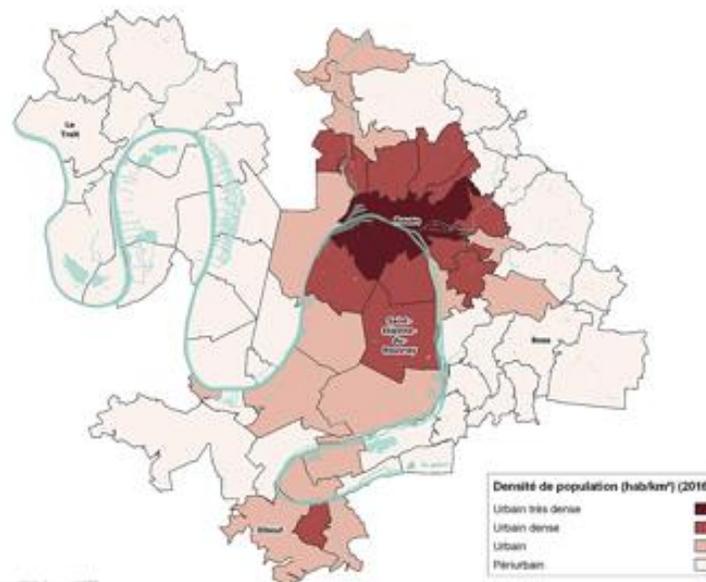
15. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des groupes de revenus suivants ?
Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2 (-2, -1, 0, +1, +2).

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Revenus faibles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Revenus moyens	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Revenus élevés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des habitants selon leur zone d'habitation (Carte 1) ?
Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2 (-2, -1, 0, +1, +2).

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Urbain très dense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Urbain dense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Urbain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Périurbain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Carte 1 : Zones d'habitation de la Métropole de Rouen Normandie (hab/km² par commune)



17. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité des personnes à mobilité réduite (PMR) ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

18. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient l'accès à la mobilité selon le genre ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Hommes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Femmes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Economie

19. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient les dépenses de la Métropole de Rouen dédiées à la mobilité des personnes (transports publics, gestion des infrastructures, etc.) ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

20. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient le nombre d'emplois dédiés à la mobilité locale des personnes (emplois de conduite, de réparation, etc.) ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

Organisation spatiale

21. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient les préférences de localisation des habitants au sein de la Métropole (Carte 1) ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Urbain très dense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Urbain dense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Urbain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Périurbain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

22. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient les préférences d'implantation des entreprises au sein de la Métropole (Carte 2) ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Rouen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zones d'emplois principales (Rouen Rive Gauche et Nord de Rouen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zone d'emplois secondaires (Le Trait, Elbeuf, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reste de la Métropole	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

23. Selon vous, comment les scénarios décrits influenceraient le nombre de places de stationnement sur voirie en zones urbaines denses et très denses (Carte 1) ?

Veuillez utiliser une échelle allant de -2 à +2.

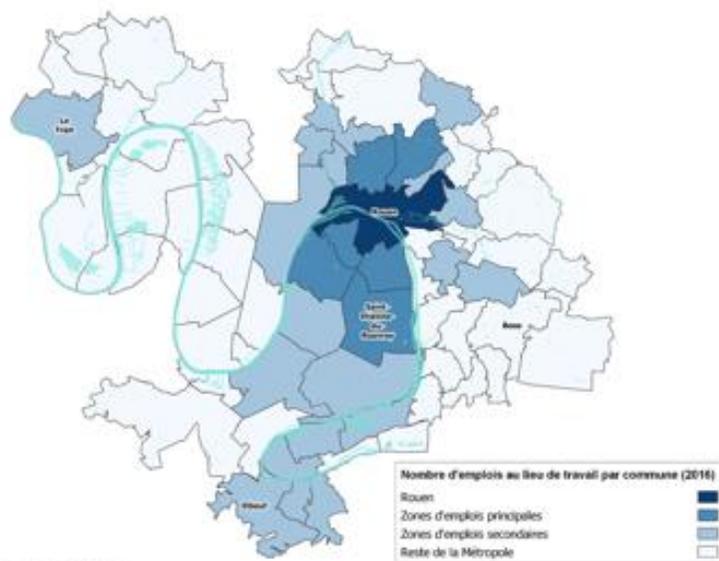
- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

24. Si le nombre de places de stationnement était réduit, quel aménagement de cet espace libéré serait réalisé ?

Veuillez utiliser une échelle d'intensité allant de 0 à 4.

Voies dédiées aux transports en commun	<input type="checkbox"/>
Pistes cyclables	<input type="checkbox"/>
Espaces piétonniers	<input type="checkbox"/>
Espaces verts	<input type="checkbox"/>
Commerces, cafés, restaurants	<input type="checkbox"/>
Densification du bâti	<input type="checkbox"/>
Autres :	<input type="checkbox"/>

Carte 2 : Zones d'emplois de la Métropole Rouen Normandie (nombre d'emplois au lieu de travail par commune)



Conclusion

25. Quel scénario vous paraît le plus souhaitable ?
Veuillez les classer par ordre de préférence.

- Scénario 1 : Le véhicule autonome personnel
- Scénario 2 : Le taxi autonome
- Scénario 3 : Le véhicule autonome pour les transports en commun

Nous vous remercions de votre participation à cette enquête.

Annexe 7 : Formulaire de consentement et notice d'information sur la protection des données personnelles utilisés

GROUPE RENAULT Direction de la Recherche
1 avenue du Golf
70084 Guyancourt

Formulaire de consentement

Je, soussigné(e), _____ (Nom et Prénom) accepte librement et volontairement de participer à l'étude « **Quel avenir souhaitable pour le véhicule autonome dans la Métropole de Rouen ?** » organisée par Lucile Buisson, doctorante au sein de la Direction de la recherche du Groupe Renault et du Laboratoire Aménagement Economie Transports (LAET) de l'Université de Lyon.
J'ai compris que je suis libre d'accepter ou de refuser de participer à l'étude proposée. Je peux demander l'arrêt de ma participation à tout moment.

CONSENTEMENT AU TRAITEMENT DE MES DONNEES PERSONNELLES

J'accepte que les données me concernant soient traitées pour les finalités de l'étude « **Quel avenir souhaitable pour le véhicule autonome dans la Métropole de Rouen ?** » conformément à la notice d'information sur la protection des données personnelles

A _____
Le _____

Signature du participant : _____ Signature de l'organisateur : _____

1

Confidential C

GROUPE RENAULT Direction de la Recherche
1 avenue du Golf
70084 Guyancourt

Information sur la protection de vos données personnelles

Le respect de la protection des données à caractère personnel constitue une valeur éthique du Groupe RENAULT conformément à sa Politique Groupe de protection des données personnelles (<https://group.renault.com/nos-engagements/le-groupe-renault-et-vos-donnees-personnelles/>).

RENAULT prend toutes les précautions nécessaires pour s'assurer que vos données personnelles soient traitées en toute sécurité et en conformité avec la réglementation.

- **Qui est le responsable de traitement de vos données personnelles ?**

Vos données personnelles sont traitées par la société Renault SAS (ci-après « RENAULT » ou « nous »), en leur qualité de responsables conjoints de traitement.

La société Renault SAS est située en France, au 13/15 quai le Gallo 92100 Boulogne-Billancourt. Les coordonnées de son délégué à la protection des données sont les suivantes : Renault SAS, Direction Juridique – Délégué à la protection des données, 13/15 quai le Gallo 92100 Boulogne-Billancourt et dpo@renault.com.

- **Quelles données personnelles utilisons-nous ?**

Lors de cette étude nous traitons :

Catégories de données	Détails des données traitées
Données directement Identifiantes	Nom, Prénom
Données Indirectement Identifiantes	Employeur, Profession, Commune de résidence

- **Pourquoi vos données personnelles sont-elles utilisées ?**

Nous traitons vos données personnelles sur la base de votre consentement pour mener une étude ayant pour finalité la **Recherche sur le véhicule autonome**.

2

Confidential C



Pour cela, nous mettons en place un traitement de données dans le cadre de l'étude « Quel avenir souhaitable pour le véhicule autonome dans la Métropole de Rouen ? » pour les objectifs et durées suivantes :

Objectifs du traitement	Durée de conservation pour l'étude	Durée d'archivage pour réutilisation aux seules fins de recherche scientifique
Dresser un panorama du positionnement des parties prenantes du transport rouennais vis-à-vis de cette technologie	2 ans	15 ans
Etudier et comparer les conséquences de différents scénarios d'introduction du véhicule autonome sur le territoire de la Métropole de Rouen		
Tester une méthodologie d'évaluation participative portant sur le véhicule autonome en zone urbaine		

• **Qui a accès à vos données ?**

L'accès à vos données vous concernant est réservé aux collaborateurs en charge de l'étude au sein de Renault SAS.

Nous pouvons être amenés à communiquer vos données personnelles à d'autres départements de Renault SAS et/ou à des tiers afin de se conformer à toute obligation légale ou décision administrative ou de justice.

Pour tout autre accès permis à un tiers, votre consentement sera préalablement requis.



• **Vos droits**

- Droit d'accès à vos données personnelles, c'est-à-dire d'en recevoir une copie,
- Droit de rectification, si vos données s'avéraient erronées ou périmées,
- Droit à l'effacement (ou droit à l'oubli) de vos données personnelles, lequel peut être limité au regard de nos obligations contractuelles ou légales,
- Droit d'opposition, sous réserve de justifier de raisons tenant à votre situation particulière,
- Droit de limitation du traitement de vos données personnelles, dans certains cas prévus par la réglementation,
- Droit de retirer votre consentement à tout moment, pour les finalités pour lesquelles nous avons collecté votre consentement.

Vous pouvez exercer ces droits à tout moment, en justifiant de votre identité, en nous adressant un email à dpo@renault.com ou un courrier postal à l'adresse Renault SAS, Direction juridique – Délégué à la protection des données, 13/15 quai le Gallo 92100 Boulogne-Billancourt.

...

Annexe 8 : Analyse en composantes principales de la pondération des critères

Tableau 110 : Variance de l'échantillon des pondérations des critères expliquée par les différentes dimensions de l'ACP

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
Valeur propre	3.833	3.249	2.328	1.771	1.290	1.155	1.063	0.801	0.707
Proportion de la variance expliquée (%)	21.295	18.052	12.931	9.837	7.167	6.416	5.908	4.452	3.925
Proportion de la variance expliquée cumulée (%)	21.295	39.347	52.278	62.115	69.282	75.697	81.605	86.057	89.982

Dim.10	Dim.11	Dim.12	Dim.13	Dim.14	Dim.15	Dim.16	Dim.17	Dim.18
0.591	0.409	0.333	0.170	0.140	0.077	0.041	0.032	0.010
3.285	2.275	1.851	0.943	0.775	0.429	0.227	0.178	0.055
93.267	95.542	97.393	98.335	99.110	99.539	99.766	99.945	100

Figure 55 : Analyse en composantes principales de la pondération des critères selon le type de parties prenantes

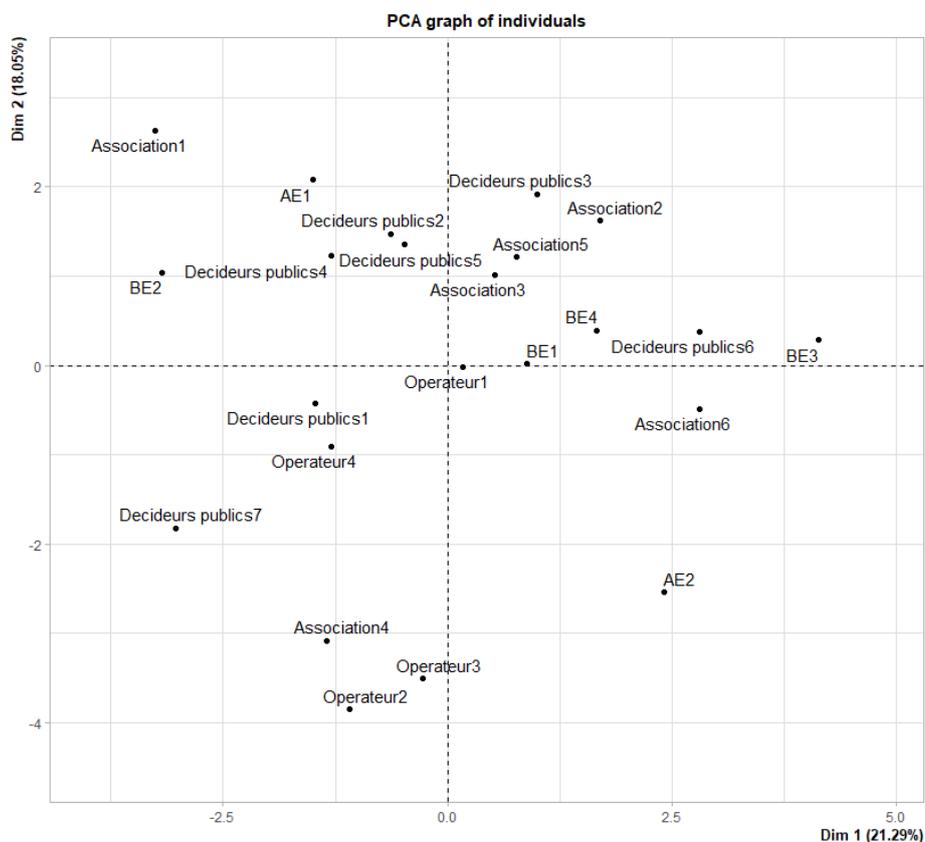
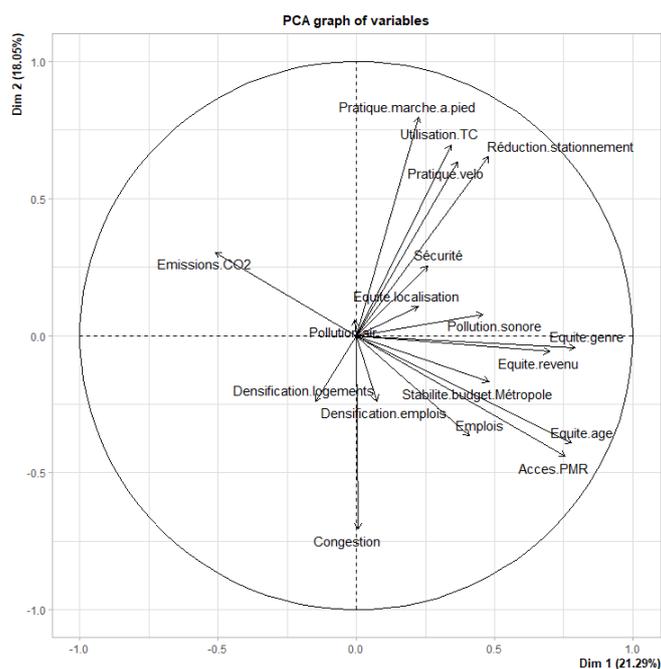


Figure 56 : Contribution des différentes variables à la formation des deux premières dimensions de l'ACP



Annexe 9 : Intervalles de stabilité du classement des scénarios selon l'application de PROMETHEE II

Figure 57 : Représentation graphique de l'intervalle de stabilité considérant la pondération du critère « Nombre d'emplois dans le transport local »

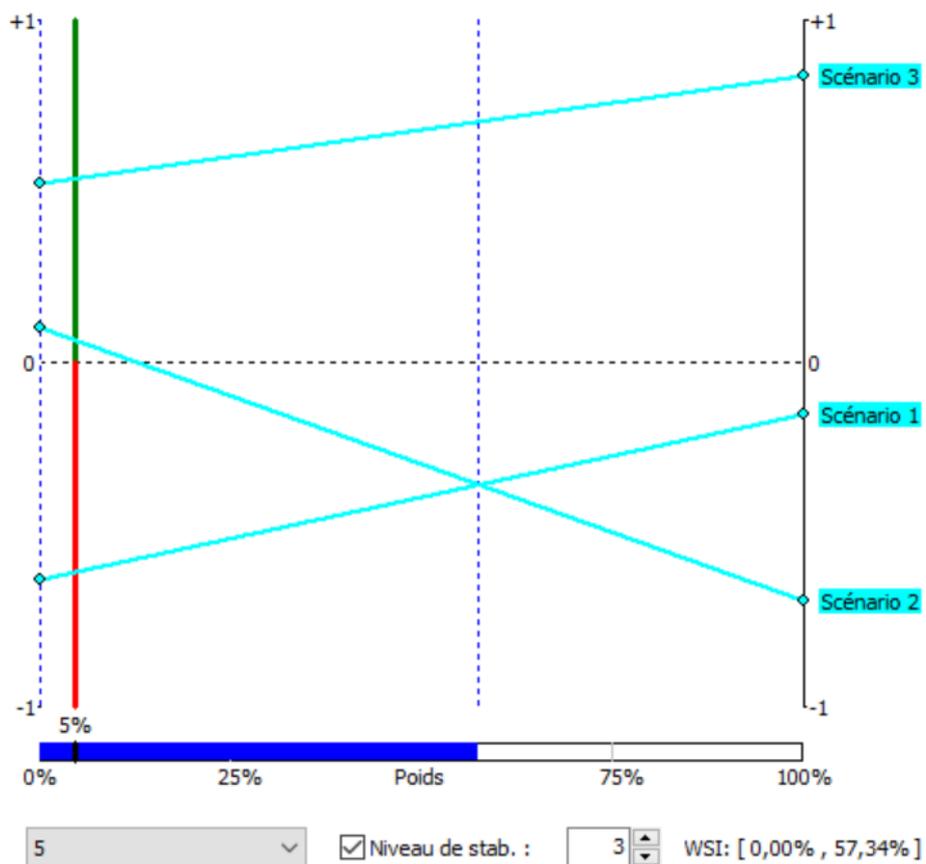


Figure 58: Représentation graphique de l'intervalle de stabilité considérant la pondération du critère « Accès des personnes à mobilité réduite »

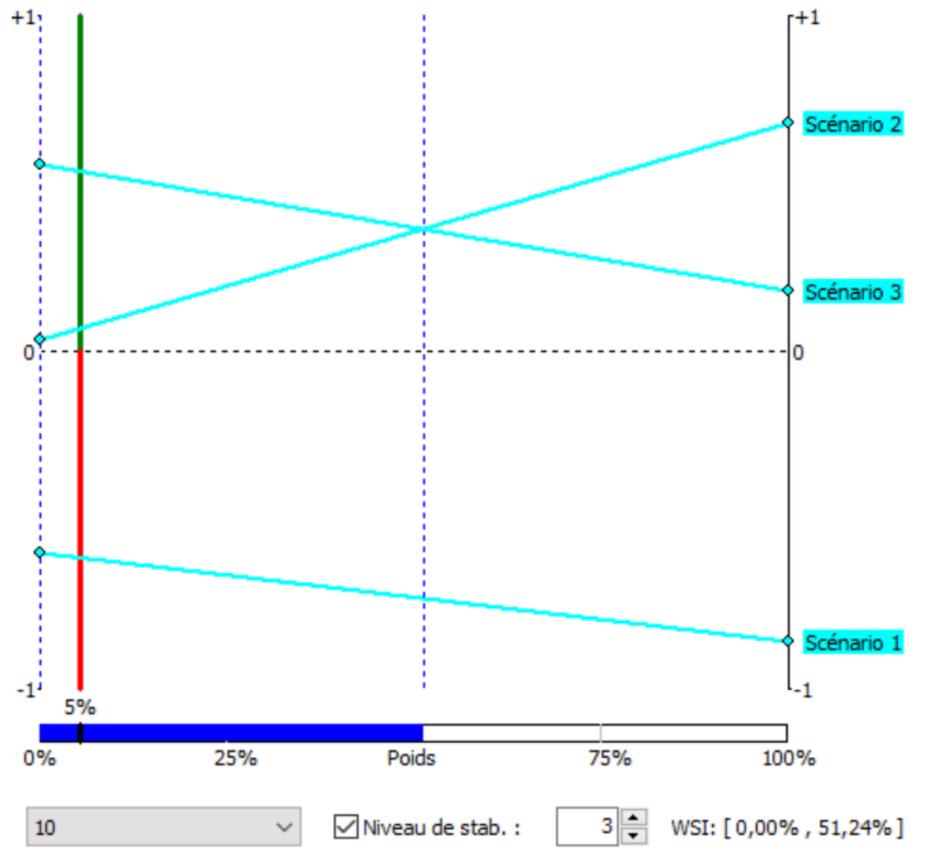


Figure 59 : Représentation graphique de l'intervalle de stabilité considérant la pondération du critère « Pratique du vélo »

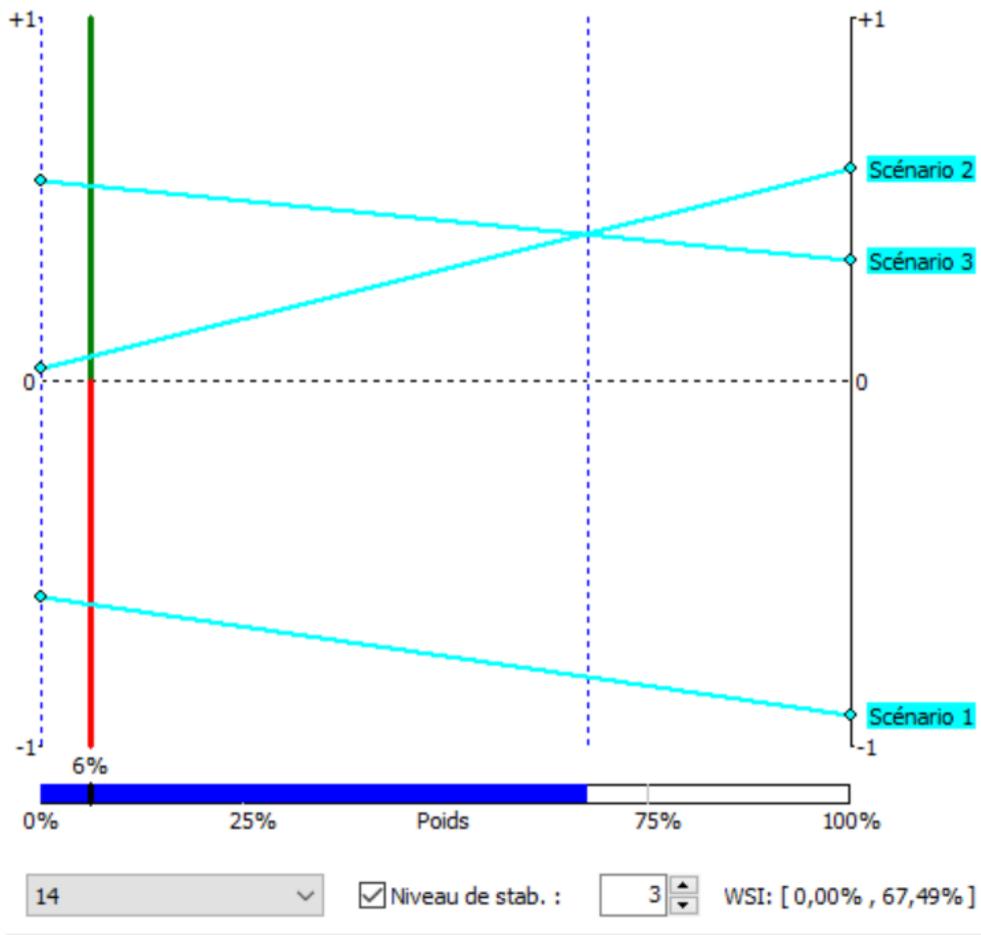


Figure 60 : Représentation graphique de l'intervalle de stabilité considérant la pondération du critère « Densification des logements »

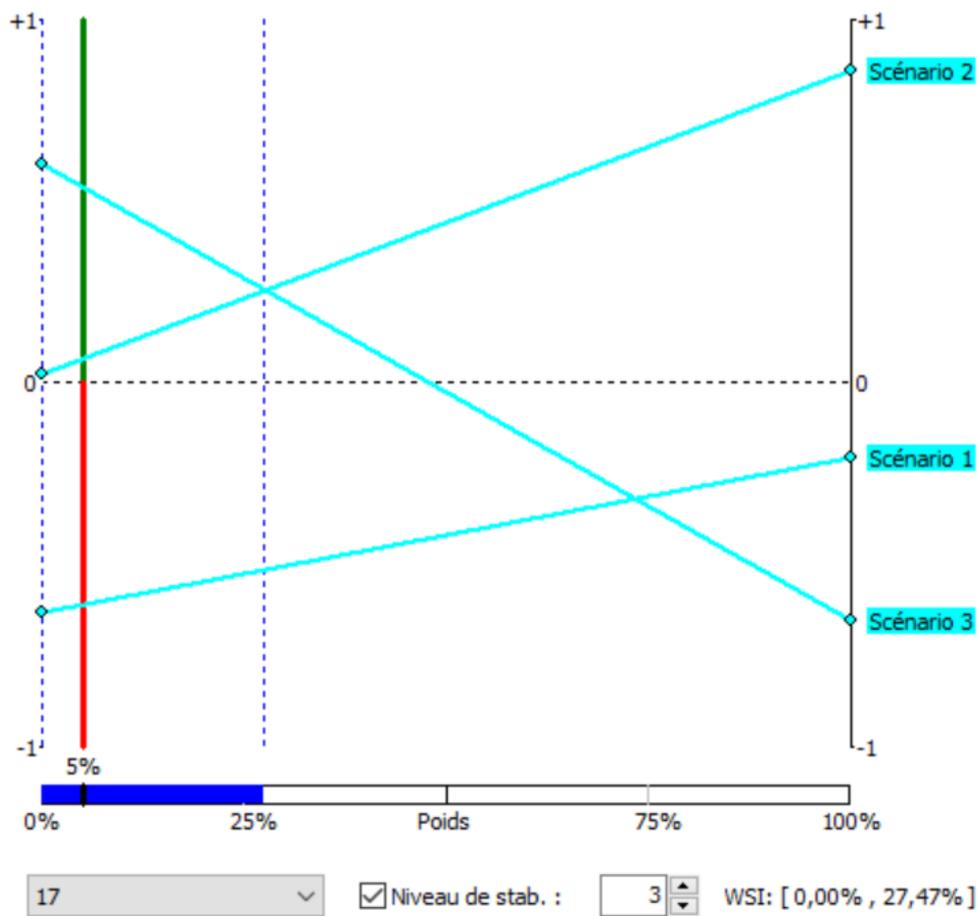


Figure 61 : Représentation graphique de l'intervalle de stabilité considérant la pondération du critère « Densification des emplois »

