

Projet de Fin d'Études (PFE) 2022-2023

Comment augmenter l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire ?



Comment augmenter l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire ?

***Impact de l'utilisation de leviers
infrastructurels sur la performance d'une
ligne ferroviaire et application à la ligne
Joué-Lès-Tours – Loches***

**Antonin Drouet
2022/2023**

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier dans un premier temps mon directeur de recherche Hervé Baptiste, professeur encadrant à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, qui m'a été d'une grande aide en me consacrant un temps conséquent tout au long de la recherche. Je le remercie pour ses conseils, sa sympathie, et sa confiance.

Je remercie également mon encadrant professionnel Thierry Balestrière pour ses précieux conseils et sa disponibilité afin de répondre à mes interrogations. Plus généralement, merci à l'ensemble des collègues de la direction territoriale à SNCF Réseau qui m'ont permis de découvrir le monde du transport ferroviaire.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui m'ont accompagné durant ces années d'étude, à commencer par ma famille, et en particulier mes parents et ma sœur qui m'ont toujours soutenu. Je remercie également Joa, sa famille ainsi que mes amis qui m'accompagnent au quotidien. Enfin, merci aux collègues et amis de l'école et plus généralement toutes les personnes rencontrées à l'université avec un remerciement particulier à Julie, gestionnaire de la scolarité qui nous accompagne pendant nos 3 années à Polytech avec sa bonne humeur quotidienne.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
---------------------------	----------

PARTIE 1 : L'ATTRACTIVITE D'UNE LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE	11
---	-----------

A. LES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE	11
1. L'ORIGINE DES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE : LE CLASSEMENT UIC	11
2. LES ENJEUX ASSOCIES AUX LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE	12
3. L'IMPORTANCE D'UNE REMISE EN QUESTION DU CLASSEMENT UIC	12
B. LA NOTION D'ATTRACTIVITE D'UNE LIGNE FERROVIAIRE	15
1. L'ATTRACTIVITE D'UN SYSTEME DE TRANSPORT	15
2. LES INDICATEURS DE QUALITE DE SERVICE MESURANT L'ATTRACTIVITE	15
3. LA VITESSE COMMERCIALE COMME INDICATEUR DE L'ATTRACTIVITE	19

PARTIE 2 : LES FACTEURS D'AUGMENTATION DES VITESSES SUR UNE LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE	21
---	-----------

A. INFRASTRUCTURE NODALE ET INFRASTRUCTURE LINEAIRE	21
1. L'INFRASTRUCTURE LINEAIRE DE TRANSPORT	21
2. L'INFRASTRUCTURE NODALE DE TRANSPORT	23
3. L'INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT FERROVIAIRE	24
B. LES LEVIERS D'AUGMENTATION DE LA VITESSE COMMERCIALE LIES A L'INFRASTRUCTURE LINEAIRE	25
1. LA VOIE FERREE : UN ELEMENT CENTRAL DE L'INFRASTRUCTURE LINEAIRE	25
2. L'INFRASTRUCTURE LINEAIRE EN LIEN AVEC SON ENVIRONNEMENT : LES PASSAGES A NIVEAU	29
3. LES OUVRAGES D'ART, UN ENJEU POUR LES LDFT	30
C. LES LEVIERS D'AUGMENTATION DE LA VITESSE COMMERCIALE LIES A L'INFRASTRUCTURE NODALE	32
1. DUREE DE TRAJET ET SILLON HORAIRE	32
2. DESSERTE FERROVIAIRE : LA FREQUENCE COMME LEVIER D'AMELIORATION	33
3. APPAREILS DE VOIE FERREE	34

PARTIE 3 : APPLICATION A LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS-LOCHES	36
--	-----------

A. LA LIGNE JOUE-LES-TOURS-LOCHES	36
1. LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS – LOCHES	36
2. ETAT DE LA LIGNE FERROVIAIRE	38
3. PERFORMANCE DE LA LIGNE ET REPRESENTATION GRAPHIQUE	38
B. LES SCENARIOS DE MODIFICATION DE LA LIGNE FERROVIAIRE	40
1. SCENARIO 1 : MODIFICATION DE LA VOIE FERREE	41
2. SCENARIO 2 : MODIFICATION DES PASSAGES A NIVEAU DE LA LIGNE FERROVIAIRE	42
3. SCENARIO 3 : MODIFICATION DE LA DESSERTE FERROVIAIRE	45
4. RESULTATS ET PERSPECTIVES	47

C. LES AUTRES PERSPECTIVES D’AMELIORATION DES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE	48
1. UNE FAIBLE CIRCULATION SUR LES LDFT	48
2. MATERIEL ROULANT ET ELECTRIFICATION DES LDFT	48
3. EXPLOITATION DIFFICILE DES LDFT	49
CONCLUSION.....	50
BIBLIOGRAPHIE	51
ANNEXES.....	53
ANNEXE 1 : INVESTISSEMENTS (EN VALEUR) DANS LES DIFFERENTES INFRASTRUCTURES LINEAIRES EN FRANCE	53
ANNEXE 2 : FREQUENTATION EN GARE (GARES DE LA LIGNE JOUE-LES-TOURS – LOCHES) EN 2021	54
ANNEXE 3 : DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE POUR L’ENSEMBLE DES 3 SCENARIOS	55
ANNEXE 4 : PART DE CHAQUE MODE DE CANTONNEMENT SUR LES LDFT	56
GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS.....	57

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : FORMULE DE CALCUL DU CLASSEMENT UIC	9
FIGURE 2 : KILOMETRAGE DES LIGNES FERROVIAIRES PAR CLASSEMENT UIC	12
FIGURE 3 : CLASSEMENT UIC DES LIGNES FERROVIAIRES DU RESEAU FERRE FRANÇAIS	14
FIGURE 4 : LES CARROSSES A CINQ SOLS	16
FIGURE 5 : CRITERES DE QUALITE SELON LA NORME NF EN 13816	17
FIGURE 6 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE ENTRE DEUX GARES	20
FIGURE 7 : EVOLUTION DES RESEAUX D'INFRASTRUCTURES LINEAIRES DE TRANSPORT ENTRE 1990 ET 2014...	22
FIGURE 8 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE INFRASTRUCTURE LINEAIRE DE TRANSPORT	22
FIGURE 9 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE INFRASTRUCTURE NODALE DE TRANSPORT	23
FIGURE 10 : LES GARES ET HALTES FERROVIAIRES DU DEPARTEMENT DE L'INDRE-ET-LOIRE (37).....	24
FIGURE 11 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT	25
FIGURE 12 : VOIE FERREE ENTRE JOUE-LES-TOURS ET LOCHES	26
FIGURE 13 : COMPOSITION DE LA VOIE FERREE	26
FIGURE 14 : ÂGE DES VOIES PAR CATEGORIE UIC	27
FIGURE 15 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UN RAYON DE COURBURE.....	28
FIGURE 16 : PASSAGE A NIVEAU N°52, DANS LA COMMUNE DE COURÇAY	29
FIGURE 17 : PART DES TYPES D'OUVRAGES D'ART SUR LE RESEAU FERROVIAIRE FRANÇAIS	31
FIGURE 18 : DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE PRENANT EN COMPTE L'HETEROGENEITE DE L'INFRASTRUCTURE LINEAIRE	32
FIGURE 19 : DIFFERENCE ENTRE LES HORAIRES D'UN TRAIN DIRECT ET D'UN TRAIN DE TYPE "OMNIBUS" : EXEMPLE DU TRAJET TOURS-ORLEANS	34
FIGURE 20 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UN AIGUILLAGE	35
FIGURE 21 : TRAVERSEES FERROVIAIRES DE TYPE CROISEMENT	35
FIGURE 22 : LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES	37
FIGURE 23 : LIMITE ENTRE LA VOIE FERREE REGENeree ET NON REGENeree SUR LA LIGNE JOUE-LES-TOURS - LOCHES	37
FIGURE 24 : LES PASSAGES A NIVEAU DE LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES	38
FIGURE 25 : TEMPS DE PARCOURS JOUE-LES-TOURS - LOCHES.....	39
FIGURE 26 : DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE ACTUEL SUR LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS	40
FIGURE 27 : DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE SUR LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES (SCENARIO 1)	41
FIGURE 28 : CALCUL DU TEMPS DE PARCOURS POTENTIEL ENTRE JOUE-LES-TOURS ET LOCHES POUR LE SCENARIO 1	42
FIGURE 29 : LES PASSAGES A NIVEAU NON GARDES DE LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES.....	43
FIGURE 30 : DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE SUR LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES (SECOND SCENARIO)	44
FIGURE 31 : CALCUL DU TEMPS DE PARCOURS POTENTIEL ENTRE JOUE-LES-TOURS ET LOCHES POUR LE SCENARIO 2	45
FIGURE 32 : DIAGRAMME VITESSE/DISTANCE SUR LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES (SCENARIO 3)	46
FIGURE 33 : CALCUL DU TEMPS DE PARCOURS POTENTIEL ENTRE JOUE-LES-TOURS ET LOCHES POUR LE SCENARIO 3	46
FIGURE 34 : TABLEAU RECAPITULATIF DES TEMPS DE PARCOURS ET DES VITESSES COMMERCIALES ACTUELLEMENT ET POUR CHAQUE SCENARIO ETUDIE.....	47

INTRODUCTION

Le réseau ferré national (RFN), géré majoritairement par SNCF Réseau, est le second réseau ferré européen derrière l'Allemagne, avec 27 700 km de lignes exploitées à fin 2021 (Autorité de Régulation des Transports, 2022). Chaque jour, ce sont alors près de 15000 trains qui circulent sur le réseau ferré français, dont environ 11 000 trains consacrés au transport de voyageurs (SNCF, 2021). Pourtant, le réseau ferré français (RFN) est aujourd'hui vieillissant avec un âge moyen des voies de 28 ans et des fermetures de lignes récurrentes depuis plusieurs décennies, notamment sur les petites lignes ferroviaires (Autorité de Régulation des Transports, 2022) avec 1300 km de voies de petites lignes fermées entre 2015 et 2020. Les petites lignes ferroviaires, également appelées lignes de desserte fine du territoire (LDFT), subissent d'importantes fermetures, notamment à cause des coûts élevés de maintenance de ces lignes mis en parallèle avec une sous-utilisation de ces petites lignes qui ne sont pas attractives pour l'usager (Baron et al., 2017).

Historiquement, le réseau ferré national français était à son apogée en 1930 avec 60 000 km de lignes. L'exode rural, la concentration des trafics autour des grands pôles urbains, ainsi que le déclin du fret depuis les années 1980 a depuis provoqué une baisse de l'attractivité des lignes ferroviaires secondaires (Deraëve et al., 2018). Ainsi, le réseau ferroviaire a fondu de moitié depuis le début du XX^{ème} siècle (Baron et al., 2017 ; Deraëve et al., 2018). La disparition d'une partie du réseau ferroviaire, causé par un manque d'investissements durant des décennies, a été mis en avant dans le rapport Rivier de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Rivier et al., 2005). Aujourd'hui, l'âge moyen du réseau ferroviaire est de vingt-huit ans (en 2021) et la situation reste critique (Autorité de Régulation des Transports, 2022; SNCF Réseau, 2021).

Ainsi, la disparition de la moitié du réseau ferroviaire français prouve que le modèle ferroviaire est aujourd'hui en danger. Il est mis en concurrence avec de nouveaux services de transports tels que les cars privés, les services de covoiturage, ou encore les lignes aériennes low cost (Baron et al., 2017). Le développement des lignes ferroviaires permet pourtant un report modal de la voiture particulière vers le train ou des camions vers le train pour le transport de marchandise. Dans le contexte actuel de changement climatique, le besoin de changer de façon drastique les habitudes d'usage dans le secteur des transports a été mis en évidence (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2022). 30% des émissions de CO₂ sont en effet générées par le secteur des transports et la part modale du transport ferroviaire, aujourd'hui estimée à 7,6% du transport de voyageurs et à 9,7% du transport de fret, doit augmenter dans l'objectif de décarboner les mobilités (Autorité de Régulation des Transports, 2021 ; Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020). Bien qu'encore très insuffisante pour rendre effective la transition en termes de mobilité, la part modale des transports collectifs, transport ferroviaire y compris, était tout de même en augmentation avant la crise sanitaire de 2020 (Autorité de Régulation des Transports, 2021).

De plus, la transition écologique des mobilités du quotidien est inscrite dans la loi d'orientation des mobilités (LOI n° 2019-1428) du 24 décembre 2019, composée de 178 articles et qui a pour ambition de réformer la politique des mobilités en intégrant les problématiques actuelles, notamment environnementales. Les 4 objectifs de la loi d'orientation des mobilités sont d' « *apporter à tous et partout des solutions alternatives à la dépendance à l'usage individuel de la voiture* », de « *développer l'innovation et les nouvelles solutions de mobilités* », de « *réduire l'empreinte environnementale des transports* », et enfin « *d'investir davantage dans les infrastructures qui améliorent les déplacements du quotidien* » (LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (1), 2019). Ainsi, le développement du transport ferroviaire est une des priorités de la LOM car il peut répondre aux quatre enjeux de celle-ci.

Le développement du réseau ferroviaire et la mise en application de la LOM est alors en partie à la charge des Régions avec un contexte de régionalisation des réformes ferroviaires depuis les lois de décentralisation de 1982. La loi du 13 décembre 2000 relative à la Solidarité et au renouvellement urbains (SRU) désigne ainsi la Région comme organisatrice des transports collectifs d'intérêt général (Commission nationale du débat public, s. d.; LOI n° 2018-515 du 27 juin 2018 pour un nouveau pacte ferroviaire (1), 2018) et la LOM permet aux Régions de solliciter un transfert de gestion portant sur tout ou partie des missions de gestion d'infrastructure s'agissant des lignes dites d'intérêt local ou régional et à faible trafic (LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (1), 2019). Les Régions, mais également l'Etat et SNCF Réseau, ont la responsabilité du développement des lignes de desserte fine du territoire.

Ce développement et le regain d'attractivité passent par des améliorations de l'état de l'infrastructure ferroviaire. Dans ce travail de recherche, nous nous concentrerons sur les lignes de desserte fine du territoire en nous demandant comment peut-on améliorer l'attractivité de ces lignes à travers l'utilisation de leviers infrastructurels. Pour répondre à cet enjeu de recherche de l'amélioration de l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire, nous nous basons dans un premier temps sur une méthodologie de recherche particulière sous la forme d'une revue de littérature. Cela consiste à recenser un certain nombre d'articles et d'écrits existants sur notre sujet de recherche, qu'ils soient issus de littérature grise ou non. La revue de littérature permet alors de faire le point sur les connaissances actuelles et sur les réponses apportées sur un sujet mais également de critiquer les travaux antérieurs et d'en établir les limites (Berland et al., 2013). La revue de littérature sera mobilisée dans les deux premières parties de ce travail de recherche.

La première partie de la recherche aura pour objectif de cadrer le sujet de recherche, s'agissant ici de définir ce que l'on considérera comme des lignes de desserte fine du territoire, et pourquoi il est important de s'intéresser à ces lignes, mais également de définir les indicateurs de qualité de service liés à l'attractivité d'une ligne ferroviaire. La seconde partie sera consacrée à l'analyse des facteurs et des leviers infrastructurels sur lesquels il est possible d'agir afin d'améliorer l'attractivité d'une ligne ferroviaire. La troisième et dernière partie consistera finalement à appliquer sur le cas d'étude de la ligne de desserte fine du territoire Joué-lès-Tours – Loches l'utilisation de ces leviers.

PARTIE 1 : L'ATTRACTIVITE D'UNE LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE

A. Les lignes de desserte fine du territoire

Dans ce travail, nous nous intéressons aux lignes de desserte fine du territoire, également appelées « *petites lignes* », « *lignes secondaires* », « *réseau capillaire* », ou encore « *lignes locales* ». En effet, les appellations diffèrent selon les acteurs (SNCF Réseau, les différentes régions, les chercheurs, ...) ou selon les prismes d'étude. Cependant, à l'origine, les lignes dites de « *desserte fine du territoire* » proviennent d'une appellation de la SNCF. En fait, ce sont à l'origine les lignes ayant un classement UIC (Union internationale des chemins de fer) compris entre 7 et 9 (SNCF Réseau, 2021).

1. L'origine des lignes de desserte fine du territoire : le classement UIC

Bien qu'inspiré de l'Union Internationale des chemins de fer, le classement UIC est un classement spécifique au réseau ferroviaire français (SNCF Réseau, 2021). Il exprime un trafic théorique à travers la sollicitation de la voie pondérée par le tonnage, la vitesse, et la fréquence d'utilisation.

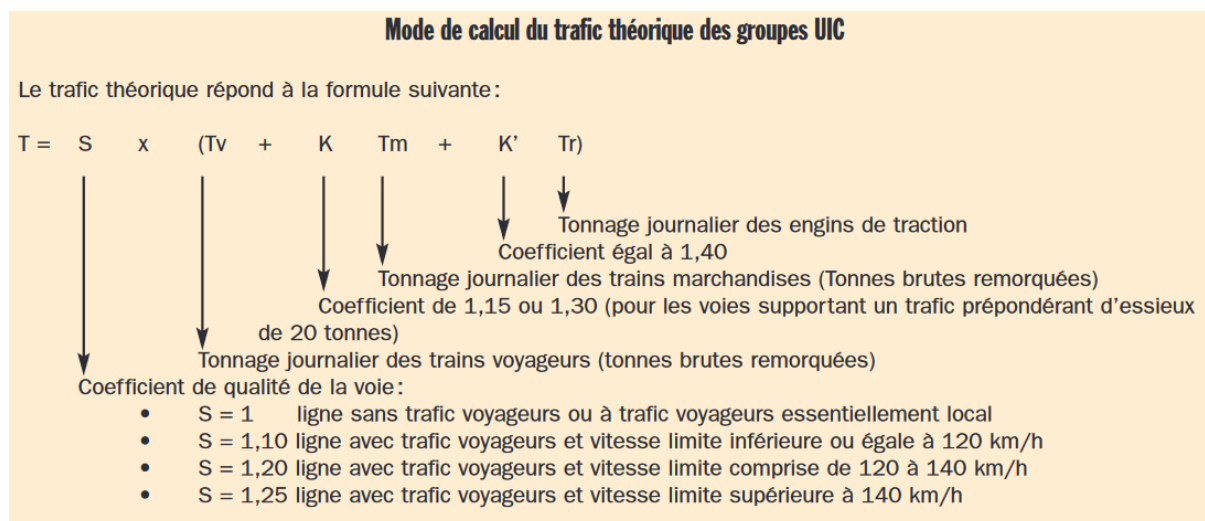


Figure 1 : Formule de calcul du classement UIC, Source : Pierre-Henri Emangard, 2005

Ensuite, le classement UIC est séparé en 9 classes distinctes dépendant du trafic théorique obtenu. Les lignes classées de 1 à 6 appartiennent au réseau dit « structurant » alors que les lignes classées de 7 à 9 appartiennent au réseau des LDFT : lignes de desserte fine du territoire (SNCF Réseau, 2021). Les lignes de desserte fine du territoire sont alors des lignes secondaires avec un trafic global voyageurs et fret faible. Le classement UIC est calculé à partir du tonnage et de la fréquentation actuelle et il a été créé à l'origine afin de qualifier

l'usure d'une ligne de chemin de fer, afin d'adapter la qualité de maintenance de la ligne au résultat obtenu (Deraëve et al., 2018).

2. Les enjeux associés aux lignes de desserte fine du territoire

Bien que considérées comme non structurantes au regard du classement UIC et de leur trafic actuel, les lignes de desserte fine du territoire sont aujourd'hui au cœur des enjeux pour le réseau ferré de demain. En effet, elles représentent 42% du linéaire des lignes ferroviaires mais seulement 10% des trains kilomètres produits. Les lignes de desserte fine du territoire avaient en 2019 un âge moyen des voies égal à trente-sept ans alors même que la moyenne du réseau était de 24 ans. De plus, on peut constater depuis plusieurs décennies un déséquilibre de l'offre ferroviaire avec 80 % des circulations de trains qui s'effectuent sur 39% des lignes du RFN, lignes se situant principalement sur du réseau structurant (Autorité de Régulation des Transports, 2021b).

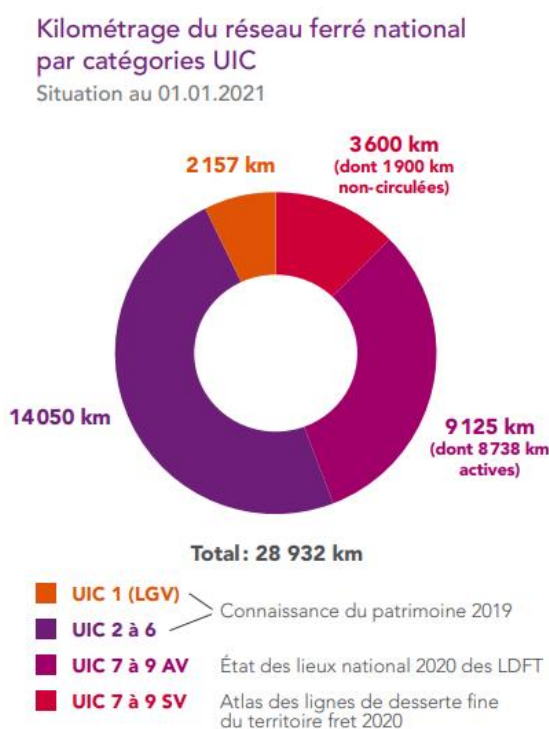


Figure 2 : Kilométrage des lignes ferroviaires par classement UIC, Source : SNCF Réseau, 2021

3. L'importance d'une remise en question du classement UIC

Le rapport Rivier, utilisant le classement UIC pour déterminer les lignes prioritaires, a eu un fort retentissement lors de sa parution en 2005 (Deraëve et al., 2018). De ce fait, il a, conjointement avec d'autres rapports (Jean-Cyril Spinetta, 2018; Putallaz & Tzieropoulos, 2012) remis au goût du jour le classement UIC en distinguant les lignes à préserver (globalement les lignes ayant un classement UIC inférieur à 6) et les lignes qui n'auraient pas d'avenir et sur lesquelles il ne faudrait plus investir (lignes 7 à 9). Ainsi, le fort impact de ce rapport mettant en avant le classement UIC implique qu'aujourd'hui, cette nomenclature UIC

oriente les politiques publiques et les investissements sur le réseau ferroviaire en France (Deraëve et al., 2018).

Cette prépondérance du classement UIC dans les discussions sur l'avenir du réseau est remise en cause avec un classement qui ne convient ni à SNCF Réseau, chargé de la maintenance et du renouvellement des infrastructures ferroviaires, ni aux Régions, autorités organisatrices du transport chargées de la gestion des petites lignes ferroviaires (Deraëve et al., 2018; Émangard, 2005). La critique est notamment due à l'importance accordée au trafic fret dans le classement UIC. En effet, l'existence d'un trafic marchandise sur une ligne fait gagner deux à trois niveaux dans le classement UIC grâce au tonnage très important des trains fret. Par exemple, la ligne Rouen-Amiens est classée en catégorie 4 et 5 avec un trafic voyageurs très faible alors que la ligne Nantes-Bordeaux est en catégorie 6 et 7 car le trafic de marchandises y est très faible (Émangard, 2005). Les instances telles que SNCF Réseau ou les Régions souhaiteraient alors mettre en place un nouvel indicateur qui reflèterait davantage les usages des lignes et qui permettraient de mieux cadrer les investissements suivant les différents types de lignes (SNCF Réseau, 2021).

En effet, le choix du maintien ou non des petites lignes ferroviaires, les LDFT, se fait actuellement suivant l'état actuel de l'infrastructure et non en étudiant le potentiel d'usage des lignes (Deraëve et al., 2018). Le maintien de cette politique mènerait d'après le rapport Spinetta de 2018 à une fermeture de 4000 km de lignes d'ici 2026 (Jean-Cyril Spinetta, 2018).

De ce fait, la grande part des LDFT dans le réseau ferroviaire que l'on peut observer sur la Figure 3 (lignes bleues, jaunes, et vertes) invite à se questionner sur l'avenir de ces lignes. Ainsi, les lignes de desserte fine du territoire font aujourd'hui l'objet d'investissements visant à ne pas les laisser disparaître. En effet, elles ont pour intérêt de desservir les gares non urbaines à proximité de villes moins densément peuplées. Leur maintien est également essentiel au regard de la loi LOM afin d' « *apporter à tous et partout des solutions alternatives à la dépendance à l'usage individuel de la voiture* » (LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (1), 2019).

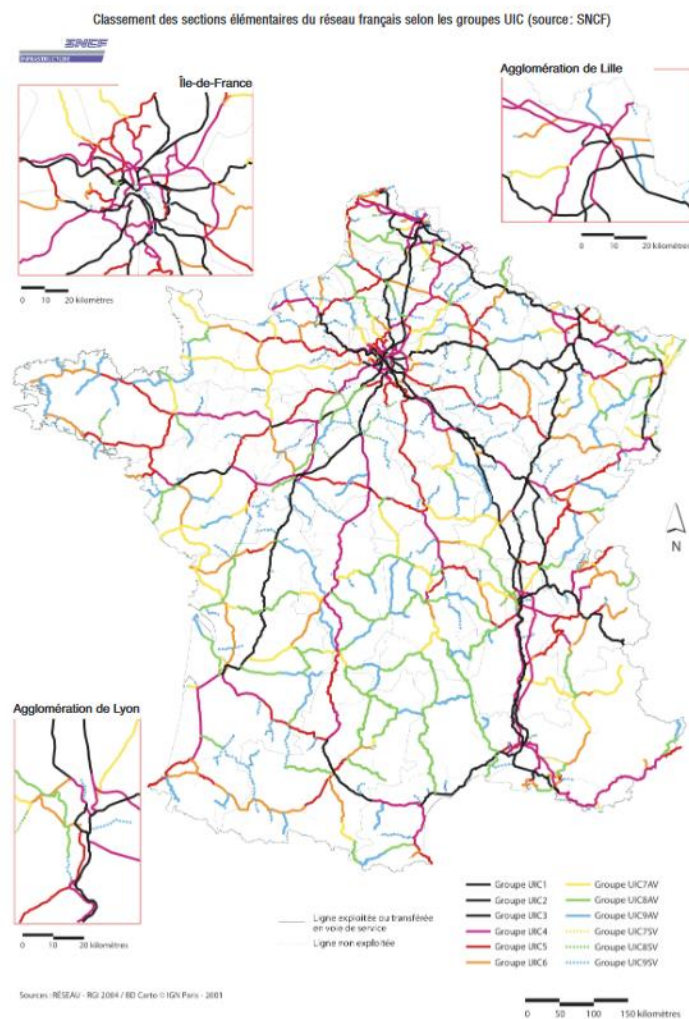


Figure 3 : Classement UIC des lignes ferroviaires du réseau ferré français, Source : SNCF, 2004

AV : avec voyageurs

SV : sans voyageurs

Le maintien des lignes de desserte fine du territoire est conditionné par une attractivité de ces lignes qui doit être forte. Pourtant, depuis quelques années, les TER (trains express régionaux), principaux matériels roulants qui circulent sur les LDFT avec plus de 80% des trains kilomètres (Autorité de Régulation des Transports, 2021a), attirent de moins en moins avec un taux de remplissage en baisse de 30% (Cour des Comptes, 2014). Afin de répondre à cette baisse d'intérêt des usagers pour les petites lignes, l'augmentation de l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire est au cœur des enjeux pour la construction du réseau ferroviaire de demain.

B. La notion d'attractivité d'une ligne ferroviaire

L'attractivité d'une ligne ferroviaire et notamment d'une LDFT est une notion complexe à définir. Pour la définir, des indicateurs de qualité de service peuvent être définis afin d'aider à l'évaluation de la qualité d'un service de transport ferroviaire et afin de quantifier l'attractivité d'une ligne ferroviaire.

1. L'attractivité d'un système de transport

L'attractivité est définie comme le pouvoir attractif d'un bien ou d'une personne, donc qui a la propriété d'attirer (Encyclopédie, 1re édition, 1751). En analyse spatiale, l'attractivité d'un lieu est définie comme la force d'attraction, capacité à *faire venir en un lieu les hommes, les activités, les flux* (Bavoux & Chapelon, 2014) alors qu'en géographie, elle est définie comme *l'influence d'un espace sur des réalités sociales consistant à les orienter ou à les déplacer dans sa direction*, donc à les influencer (Lévy & Lussault, 2013).

L'attractivité d'une ligne ferroviaire est un sujet complexe, souvent traité sous l'angle de la comparaison de l'attractivité du train par rapport à la voiture ou par rapport à un autre mode de transport (CEREMA, 2020; Debrincat et al., 2018). L'attractivité pour un système de transport est alors sa capacité à attirer les usagers en globalité (actifs, étudiants, touristes, ...) en valorisant ses atouts (*Attraction et attractivité — Géoconfluences*, s. d.).

Ainsi, on définira ici l'attractivité d'une ligne ferroviaire comme la capacité de la ligne ferroviaire à attirer les flux et les usagers et de ce fait à induire un report modal de la voiture vers le mode de transport ferroviaire. Afin d'augmenter l'attractivité d'une ligne ferroviaire, il est d'abord nécessaire d'évaluer cette attractivité à l'aide de valeurs quantitatives et qualitatives exprimant la performance d'une ligne ferroviaire sur plusieurs aspects.

2. Les indicateurs de qualité de service mesurant l'attractivité

En effet, il est d'usage depuis l'existence du transport collectif d'analyser, à travers des indicateurs, la performance d'un service de transport de personnes ou de marchandises. Dès 1662, les premiers carrosses de transport public de Paris étaient mis en place avec une logique de service pour l'utilisateur. Développés par Blaise Pascal et considérés encore aujourd'hui comme le premier transport en commun urbain mondial, le créateur des carrosses à cinq sols promulguait d'ores et déjà la « *qualité du service proposé* » (Kühn & Hayat, 1999).

La notion de qualité de service peut alors être définie comme une « *conformité aux exigences du client* » (Kühn & Hayat, 1999), le service étant « *l'ensemble des prestations auxquelles le client s'attend* » (Noyé, 1984). On distingue le service de base et le service associé à ce service de base. Le service de base dans un système de transport est d'être transporté au bon endroit, en sécurité et à l'heure alors que le service associé serait l'environnement lié au service ou encore la clarté des informations relatives au transport (Kühn & Hayat, 1999). L'évaluation de la qualité de service et le concept de qualité de service sont directement liés à la vision de l'utilisateur du système de transport. Cela implique une grande diversité d'évaluations de la qualité de service (autant que d'utilisateurs empruntant le système de transport). De ce fait, certains utilisateurs considéreront que la qualité de service est bonne

quand le tarif leur convient alors que d'autres privilégieront par exemple le critère « durée de trajet ». Nous avons tous en tant qu'utilisateur du train un avis sur l'intensité idéale des trafics, sur les fréquences à honorer, sur les vitesses, les prix, et globalement les niveaux de service nécessaires (Baron et al., 2017).

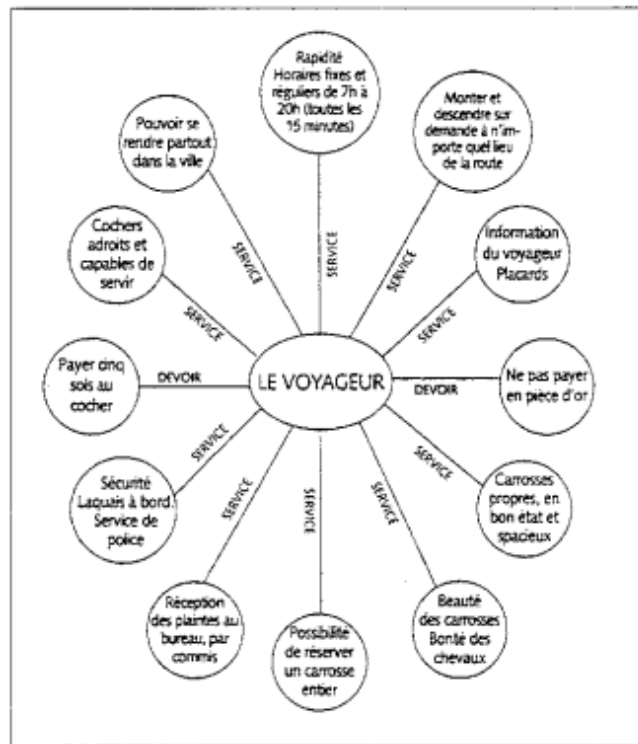


Figure 4 : Les carrosses à cinq sols, Source : Mathieu, 1994

Ainsi, pour évaluer l'attractivité d'un service de transport, il est essentiel d'établir des indicateurs de qualité de service communs à l'ensemble des systèmes de transport (Kühn & Hayat, 1999). L'organisation du transport public définie dans le Code des Transports fait explicitement référence à la notion de qualité de service avec l'article L.1111-2 : « *La mise en œuvre progressive du droit au transport permet aux usagers de se déplacer dans des conditions raisonnables d'accès, de qualité et de prix ainsi que de coût pour la collectivité, notamment par l'utilisation d'un moyen de transport ouvert au public.* ». C'est alors aux AOT (Autorité Organisatrice de Transports) de garantir ce droit à la mobilité pour tous et une qualité de service suffisante avec un suivi régulier des réseaux de transport dont elle ont la charge (CEREMA, 2015). Ainsi, la loi prévoit une obligation de suivi de la qualité de service mais elle ne fournit ni les indicateurs de qualités de service ferroviaires ni indicateurs de mesure quelconques.

La norme NF EN 13816 définie par l'AFNOR pour le transport public de voyageurs a été créée afin de normer cette évaluation nécessaire. Elle contient huit catégories de critères de qualité d'un service ou d'un produit dans les transports (voir Figure 5) (CEREMA, 2015).

Critères de qualité de service selon la norme NF EN 13816	
1	Offre de service
2	Accessibilité
3	Informations
4	Durée
5	Attention portée au client
6	Confort
7	Sécurité
8	Impact environnemental

Figure 5 : Critères de qualité selon la norme NF EN 13816, Source : CEREMA, 2015

Les huit critères ont été définis suite à la mise en place de différents groupes de travail. L'un d'entre eux, composé de membres de l'UTP (Union des transports publics et ferroviaires), avait pour objectif de définir ce qu'était un bon indicateur de qualité de service (Kühn & Hayat, 1999).

Un bon indicateur serait alors :

- Corrélé avec un levier d'action, fiable, sensible, non pervers (ne s'améliore pas sans améliorer le service pour l'utilisateur). Il doit mesurer sans sanction et il doit être pérenne dans le temps
- Communicable, compréhensible par tous, appropriable, reconnu, et déclinable localement
- Mesurable de façon simple, peu coûteuse, et quantifiable objectivement même si c'est un indicateur qualitatif
- Orienté client : appréhendé avec le regard client et traduisible en nombre de clients servis et non servis

Des recherches et des études ont été réalisées afin de comparer les gares, les lignes ferroviaires ou le réseau de transport ferroviaire avec les autres réseaux de transport (Baptiste, 2003 ; CEREMA, 2015 ; Kühn & Hayat, 1999 ; PREDIT, 1999). Ces études utilisent alors des indicateurs de qualité de service définis par les chercheurs ou auteurs. L'attractivité des lignes ferroviaires peut alors être analysée à travers différents indicateurs.

Avant tout, deux aspects bien distincts des indicateurs de qualité de service sont à prendre en compte. Le premier aspect concerne la qualité de service à proprement parler, composé par exemple du confort ou de l'information voyageur. Le second aspect est la qualité de l'offre composée par exemple des horaires, de la fréquence de desserte, ou de l'amplitude horaire (FNAUT, 2013). C'est ce second aspect que nous expliciterons dans la présente étude sur l'attractivité d'une ligne ferroviaire.

De plus, un système de transport de type ferroviaire peut être défini par le couple matériel-infrastructure. En effet, d'après Laurent Chapelon, « *la définition d'un système de transport renvoie à une double dimension : infrastructurelle par l'intermédiaire des réseaux et fonctionnelle si l'on ajoute les moyens de transports qui les empruntent* ». C'est la notion de binôme fonctionnel (Chapelon, 1997).

Dans le cas de l'étude, nous ne traiterons ici que des leviers d'amélioration infrastructurels mais aussi, d'une façon indirecte et secondaire, de l'amélioration fonctionnelle. Ainsi, nous n'étudierons pas le matériel roulant et sa modification mais prioritairement la modification de leviers liés à l'infrastructure. En effet, l'objet principal de l'étude est bien ici les lignes ferroviaires (infrastructure) indépendamment du type de train (matériel roulant) et de ses caractéristiques. Les indicateurs de qualité de service indépendants de l'infrastructure ne seront pas étudiés dans le cadre de ce projet de recherche (ponctualité des trains, confort de voyage, ...).

Malgré le choix d'étudier principalement l'infrastructure, les indicateurs de qualité de service ayant un impact sur l'attractivité ferroviaire en choisissant d'étudier les leviers infrastructurels sont nombreux. En voici une liste non exhaustive (Baptiste, 2003 ; PREDIT, 1999) :

- Durée moyenne d'un trajet (incluant également par définition la vitesse commerciale)
- Fréquence de desserte
- Sécurité ferroviaire
- Meilleur temps de trajet
- Moins bons temps de trajet
- Intermodalité
- Accessibilité des gares
- Disponibilité de sillons supplémentaires en heure de pointe
- Niveau de concurrence entre transports collectifs
- Adaptation des horaires à la population
- Différence de durée de parcours en comparaison avec un autre mode de déplacement (voiture, bus, ...)

Ils peuvent être désagrégés ou agrégés (Baptiste, 2003). Un indicateur désagrégé représente une image instantanée de la ligne en reflétant notamment la meilleure ou la pire situation au cours d'une journée. C'est le cas par exemple d'un indicateur de meilleur temps de trajet entre une gare et une autre gare. Un indicateur agrégé donne quant à lui une donnée agrégée (moyenne ou somme) qui peut être par exemple la durée moyenne de trajet ou encore la fréquence de desserte d'une gare.

De plus, l'étude de l'attractivité des LDFT en particulier implique une étude restreinte à des petites lignes à circulation TER, avec des déplacements principalement de type mobilité pendulaire domicile-travail ou domicile-école, qui est le premier motif de déplacements des Français¹(SDES, 2021).

¹ D'après l'enquête « Mobilités des personnes » de 2019, les déplacements dans le cadre du travail ou dans le cadre scolaire représentent 81,5% des déplacements

En effet, le TER représente plus de 80 % des trains.km sur les lignes de catégorie 7 à 9 avec voyageurs (Autorité de Régulation des Transports, 2021). L'étude de ce type de trajets peut avoir un impact sur les indicateurs. Par exemple, le calcul d'une durée de trajet durant les heures de pointe pourrait avoir plus de pertinence que la durée moyenne d'un trajet dans la journée. Un indicateur tel que le nombre d'allers retours possibles de type "8 heures à destination" avec une plage de 6h à 20h pour les travailleurs ou étudiants pourrait être de ce fait plus légitime.

3. La vitesse commerciale comme indicateur de l'attractivité

La modification de l'infrastructure ferroviaire peut entraîner des conséquences sur la qualité du service proposée par un système de transport. Pour la suite de l'étude qui traite des effets de la modification de l'infrastructure sur l'attractivité, nous choisissons de nous concentrer sur le volet performance des lignes de desserte fine du territoire et plus particulièrement sur l'indicateur de la vitesse commerciale.

La vitesse commerciale d'une ligne ferroviaire est définie comme la vitesse perçue par l'usager qui emprunte une ligne ferroviaire (SMTU, s. d.). La vitesse commerciale est une vitesse moyenne, correspondant au quotient de la distance parcourue par le train par la durée de son parcours. De ce fait, la vitesse commerciale correspond à la moyenne pondérée des vitesses instantanées d'un train sur une ligne ferroviaire, prenant en considération des périodes d'arrêts en gares mais aussi des phases d'accélération et de décélération. La vitesse commerciale d'un train sur une ligne ferroviaire dépend de plusieurs paramètres. La vitesse du train, dépendant elle-même de la vitesse maximale nominale qui est la vitesse maximale autorisée en est un premier. Ainsi, la vitesse nominale dépend intrinsèquement de l'état de l'infrastructure sur laquelle le train circule. D'autres paramètres comme la fréquence de desserte ou le temps d'arrêt en gare influent sur la vitesse commerciale lors d'un trajet sur une ligne ferroviaire.

Entre deux gares, la vitesse d'un train peut être représentée schématiquement par une courbe de la vitesse d'un train en fonction de la distance (appelé Diagramme Vitesse/Distance) comme sur la Figure 6 représentée à la page suivante. Théoriquement, un trajet entre deux gares sur un tronçon ferroviaire homogène est alors composé de trois phases : la phase d'accélération, la phase de vitesse constante (vitesse de croisière), et enfin la phase de décélération où la vitesse diminue jusqu'à atteindre une vitesse instantanée nulle. Dans ce type de graphique, la distance est représentée en abscisses du graphique et la vitesse est représentée en ordonnées, permettant de visualiser l'évolution de celle-ci sur une ligne ferroviaire.

Diagramme Vitesse/Distance

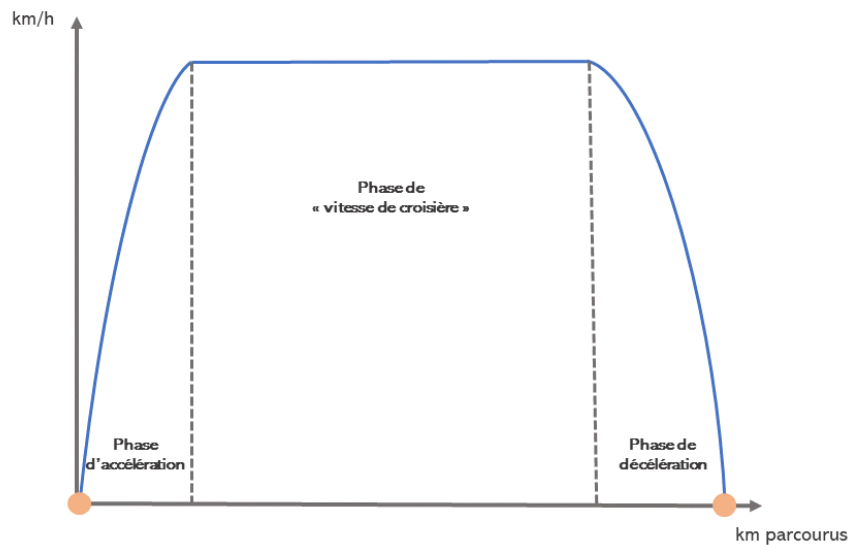


Figure 6 : Représentation schématique du diagramme Vitesse/Distance entre deux gares, Antonin DROUET (2023)

La moyenne des vitesses instantanées en fonction du temps est alors appelée vitesse commerciale. Cependant, la représentation schématique des variations de la vitesse d'un train (Figure 6) au cours d'un trajet est une représentation sans contraintes et hétérogénéités. Pourtant, une infrastructure de transport ferroviaire traverse des milieux contraints, et est en relation avec d'autres infrastructures. Cela implique des variations de vitesses plus complexes dues à l'infrastructure (type de voie, état des équipements, sinuosité de la voie, ...), mais également à des contraintes d'exploitation (cantonnement¹, espacement entre les trains, ...) ou encore à des contraintes vis-à-vis du matériel roulant. Afin d'augmenter l'attractivité d'une ligne de desserte fine du territoire, l'objectif est de minimiser ces contraintes afin de maximiser la vitesse commerciale, afin de réduire la durée du trajet pour l'utilisateur sur la ligne ferroviaire.

¹ Les termes techniques relatifs notamment au transport ferroviaire, comme « cantonnement », sont définis dans le **glossaire** p.54

PARTIE 2 : LES FACTEURS

D'AUGMENTATION DES VITESSES SUR UNE

LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE

La seconde partie consiste à étudier les leviers infrastructurels permettant une augmentation de la vitesse commerciale sur une ligne ferroviaire et plus particulièrement sur les lignes de desserte fine du territoire. Nous verrons d'abord les facteurs infrastructurels qui concernent l'infrastructure linéaire du transport ferroviaire puis dans une seconde partie les facteurs infrastructurels liés à l'infrastructure nodale.

A. Infrastructure nodale et infrastructure linéaire

Tout d'abord, il convient de définir ce que l'on nomme infrastructure linéaire de transport et infrastructure nodale de transport, ainsi que la combinaison des deux, appelée infrastructure de transport.

1. L'infrastructure linéaire de transport

Dans une étude des vitesses de circulation sur une ligne ferroviaire, une part de l'étude concerne l'infrastructure linéaire. De ce fait, une infrastructure linéaire de transport peut être définie comme l'ensemble des « *installations fixes destinées au transport de voyageurs ou de marchandises, de longue distance ou de proximité* » (Commissariat général au développement durable, 2016). Les infrastructures linéaires de transport (ILT) peuvent prendre différentes formes : réseau routier, réseau ferroviaire, réseau ferré de transport urbain, réseau fluvial, réseau de transport d'électricité ou encore réseau de transport de gaz (Le service de l'observation et des statistiques (SOeS), 2016).

La Figure 7 de la page suivante montre les différentes infrastructures linéaires de transport et leurs évolutions entre 1990 et 2014 . On peut observer une augmentation du nombre de kilomètres de voies pour le réseau routier alors que la longueur du réseau ferroviaire a subi une baisse de plusieurs milliers de km depuis 1990, notamment sur les lignes de desserte fine (représentées notamment dans le tableau par les lignes à voie unique, qui sont majoritairement des LDFT)

Milliers de km	1990	1994	2005	2014	Évolution totale 1990-2014* (%)
Routes	926,5	950,1	1 006,8	1 073,5	15,9
Réseau principalement destiné au transport de longue distance	35,1	36,0	36,8	38,2	8,8
Autoroutes concédées	5,5	6,2	8,2	9,0	62,7
Autoroutes non concédées**	1,3	1,8	2,6	2,6	100,7
Autres routes nationales	28,3	28,1	26,0	9,6	- 65,9
Route nationales déclassées en 2007				17,0	
Réseau principalement destiné au transport de courte distance	891,4	914,1	970,0	1 052,3	18,0
Routes départementales (non compris les routes nationales déclassées en 2007)	353,8	357,3	359,7	379,0	7,1
Routes communales	537,6	556,8	610,3	673,3	25,2
Réseau ferroviaire exploité par la SNCF	34,1	32,3	30,9	29,3	- 14,0
Ligne LGV	0,7	1,2	1,6	2,0	190,9
Autres lignes ferroviaires à 2 voies ou plus	15,1	14,9	14,6	14,9	- 1,4
Lignes ferroviaires à 1 voie	18,3	16,2	14,7	12,4	- 32,2
Réseaux ferrés de transport urbain	nd	0,5	0,7	1,1	127,0
Métros et RER	nd	0,4	0,4	0,5	14,0
Tramways	nd	0,1	0,3	0,7	544,3
Voies navigables fréquentées	6,2	5,7	5,4	4,7	- 23,9
Moins de 400 t	3,8	3,4	3,3	2,5	- 33,3
400 à 1 500 t	0,6	0,5	0,4	0,4	- 36,3
Plus de 1 500 t	1,8	1,7	1,7	1,8	0,2

Figure 7 : Evolution des réseaux d'infrastructures linéaires de transport entre 1990 et 2014
Source : Mémento de statistiques des transports 2016

L'infrastructure linéaire de transport ferroviaire sera alors l'ensemble des infrastructures liées à un tronçon de ligne ferroviaire, sans prendre en compte la notion de réseau. Ainsi, l'infrastructure linéaire se compose des voies ferrées en tant que telles, mais aussi des ouvrages d'art présents sur une voie ferrée (ponts-rails, ponts-routes, passages à niveaux, ouvrages en terre, ou ouvrages hydrauliques). Elle peut être représentée par le tronçon linéaire reliant deux gares comme représenté dans la représentation schématique de la Figure 8.

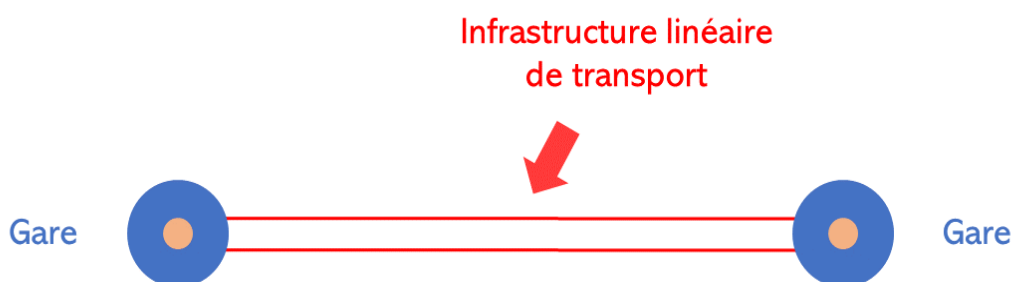


Figure 8 : Représentation schématique d'une infrastructure linéaire de transport, Antonin DROUET

2. L'infrastructure nodale de transport

L'infrastructure nodale de transport, quant à elle, se compose comme son nom l'indique des nœuds d'un réseau de transport, faisant la jonction entre les différentes infrastructures linéaires. Les nœuds d'un réseau de transport sont par exemple les gares, les ports, les aéroports. Ils sont des points d'échange entre les infrastructures linéaires du réseau de transport mais également des points d'échanges intermodaux entre deux ou plusieurs modes de transports.

Dans le cadre de l'étude de l'infrastructure de transport de type ferroviaire, les infrastructures nodales sont les gares du réseau ferré national. Ainsi, les infrastructures nodales ferroviaires peuvent être des gares de marchandise, des gares de voyageurs, ou encore des haltes ferroviaires. On peut définir une gare comme un nœud, étant un point d'arrêt ou d'intersection sur une ligne ferroviaire.

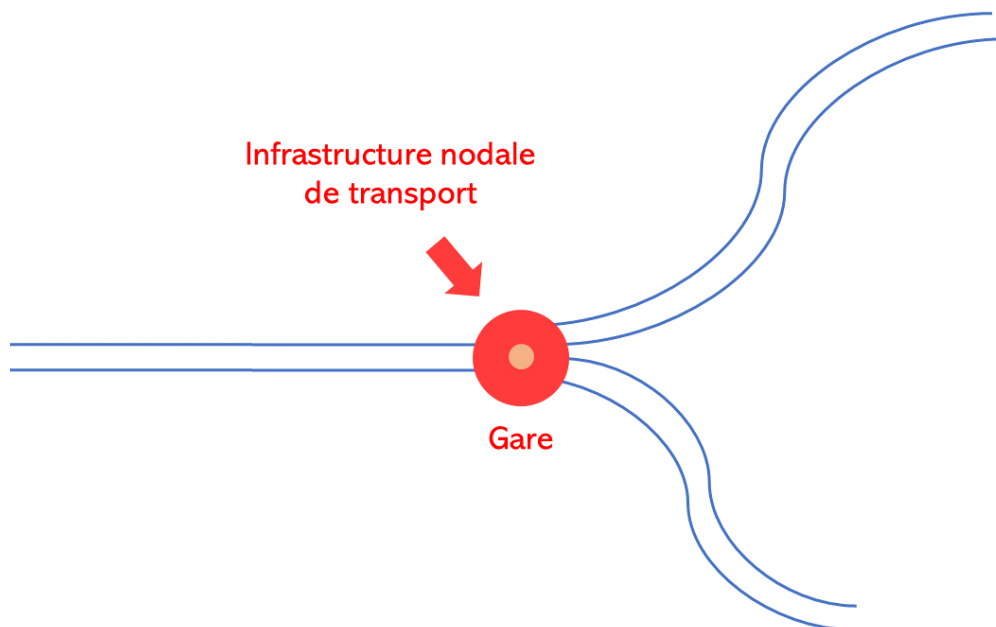


Figure 9 : Représentation schématique d'une infrastructure nodale de transport, Antonin DROUET

L'étude de l'infrastructure nodale prend en considération l'étude du système de transport interconnecté avec la prise en compte des gares, qu'elles soient des gares intermédiaires, ou d'origine/destination, en tant que nœuds ferroviaires avec une logique de réseau de lignes.

De ce fait, on pourrait définir un nœud ferroviaire comme un nœud de bifurcation, c'est-à-dire l'intersection entre au moins deux lignes de chemin de fer, offrant la possibilité au train d'aller dans au moins 3 directions différentes. Cependant, toutes les gares du réseau ferré national ne sont pas des nœuds ferroviaires. C'est d'autant plus le cas sur le cas d'étude des lignes de desserte fine du territoire. En effet, on peut par exemple observer sur la carte de la Figure 10 que sur l'ensemble des 48 gares d'Indre et Loire, seulement quelques-unes sont de véritables nœuds ferroviaires de bifurcation. On peut alors considérer que toute gare est une

infrastructure nodale tout en différenciant deux catégories : les nœuds ferroviaires de correspondance entre plusieurs lignes ferroviaires et les nœuds ferroviaires de correspondance internodale (par exemple avec un service d'autocar) (Auphan, 1975).

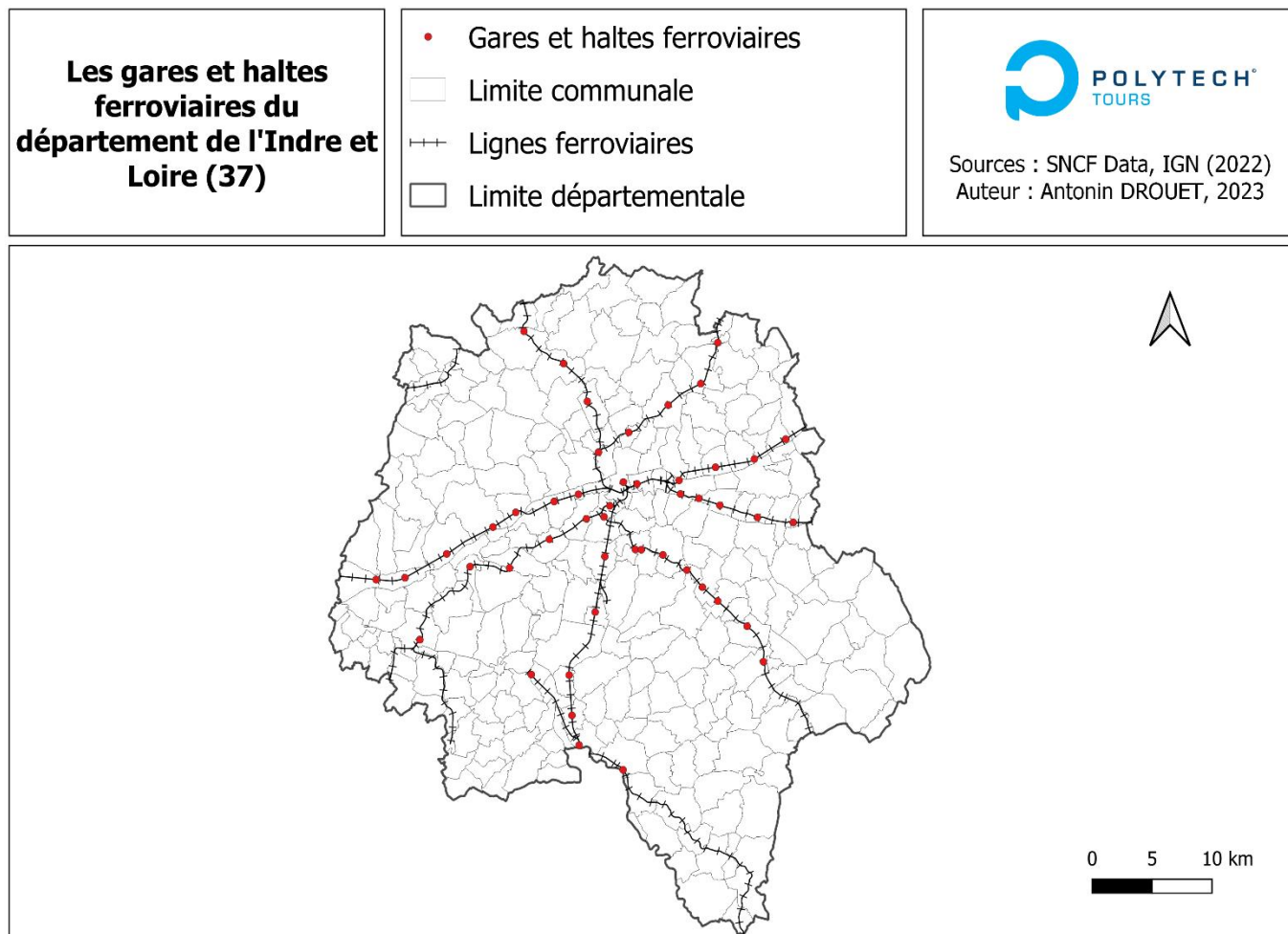


Figure 10 : Les gares et haltes ferroviaires du département de l'Indre-et-Loire (37), Antonin DROUET

Le nœud ferroviaire ou infrastructure nodale comprend alors l'infrastructure et les équipements d'avant gare comme les voies de quai, la signalisation, les postes de commande de circulations, ou encore les centres de maintenance du matériel roulant mais également les équipements de la gare tels que le quai ou la gare commerciale en elle-même (Auphan, 1975; Marie-Anne BACOT (CGEDD), 2015).

3. L'infrastructure de transport ferroviaire

L'infrastructure nodale ainsi que l'infrastructure linéaire forment alors une infrastructure de transport comme représentée sur la représentation schématique de la Figure 11 (p.24).

Ainsi, l'infrastructure de transport ferroviaire est composée de l'infrastructure linéaire que sont les tronçons de lignes ferroviaires, et de l'infrastructure nodale, déterminée par les gares du réseau ferré (nœuds ferroviaires). L'étude d'une infrastructure de transport ferroviaire se fait d'une façon globale par la conjonction de l'étude de l'infrastructure nodale et linéaire, formant ensemble un réseau de lignes et de gares ferroviaires.

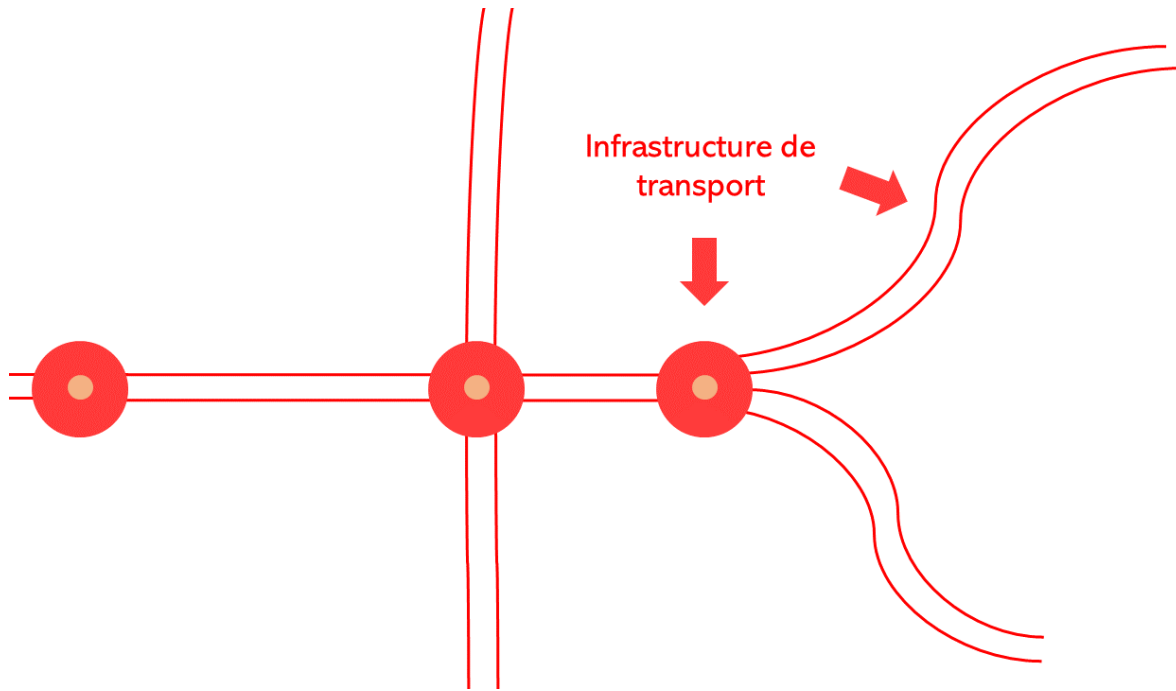


Figure 11 : Représentation schématique d'une infrastructure de transport, Antonin DROUET

B. Les leviers d'augmentation de la vitesse commerciale liés à l'infrastructure linéaire

L'état et les caractéristiques de l'infrastructure de transport, pour la partie linéaire comme nodale, a des forts impacts sur la vitesse commerciale au sein d'une ligne ferroviaire. Faisant varier la performance d'un train sur une ligne ferroviaire et donc implicitement l'attractivité d'une ligne de desserte fine du territoire, la vitesse commerciale est un indicateur de l'attractivité d'une ligne ferroviaire qu'il est nécessaire d'étudier.

L'objet de cette partie est d'étudier dans un premier temps les leviers participant à l'évolution de cette vitesse commerciale sur l'infrastructure linéaire, sous entendue l'infrastructure ferroviaire liant deux gares d'origine et de destination.

1. La voie ferrée : un élément central de l'infrastructure linéaire

L'état de la voie ferrée

Tout d'abord, la ligne de chemin de fer, et plus précisément sa superstructure qui est la voie ferrée, est un élément fondamental pour l'optimisation des vitesses commerciales ferroviaires. La voie ferrée est la voie permettant la circulation du matériel roulant ferroviaire.



Figure 12 : Voie ferrée entre Joué-lès-Tours et Loches, Antonin DROUET (2023)

Elle est constituée de deux files de rails parallèles qui servent de support vertical aux roues des véhicules et de traverses fixant les rails et maintenant l'écartement (1,435 mètres) entre ces derniers. Les traverses peuvent être métalliques (cas très rares aujourd'hui), en bois (de moins en moins fréquent également) ou en béton armé (cas le plus fréquent, comme sur la Figure 13). Les rails et les traverses reposent sur une couche de ballast (blocs de pierre) d'au moins 30 cm, permettant d'amortir les efforts et d'éviter les déformations des files de rail (Jean ALIAS, 1987).



Figure 13 : Composition de la voie ferrée, Source : H.Pinault, 2006

De ce fait, la voie ferrée est soumise à des forces intenses mais également à une usure naturelle au fur et à mesure des années. L'usure des composants de la voie peut entraîner la formation de défauts, de fissures ou de déformations du rail ou des traverses qui sont notamment repérés lors des tournées d'enregistrement du patrimoine. Le vieillissement de la voie se traduit par une dégradation de la résistance de ses éléments de structure et de ses qualités géométriques (SETRA, 2010). Des entretiens de voie sont réalisés périodiquement par le gestionnaire d'infrastructure SNCF Réseau afin d'empêcher l'usure de la voie.

Cependant, après un certain temps (environ 20 ans), les entretiens de voie ne suffisent plus et la voie nécessite un renouvellement partiel (ballast, traverses, ou rail) ou même parfois complet de la voie ferrée (RVB : Renouvellement Voie Ballast). Ce renouvellement est appelé régénération de voie ferrée. Il est effectué par une unité de production dénommée « suite rapide ». Cette suite rapide permet une pose entièrement automatique et en continu de la voie : à l'avant de la suite se trouve l'ancienne voie simplement déballastée, et, à l'arrière, la nouvelle voie prête au ballastage. Une suite rapide existe également pour les travaux sur les caténaires, infrastructures dont un mauvais état peut entraîner des limitations de vitesse sur les lignes électrifiées (SETRA, 2010).

Ainsi, la durée de vie moyenne d'une voie ferrée est estimée à 40 ans et elle varie en fonction du trafic de la ligne mais également de la vitesse et du tonnage supporté par celle-ci (SETRA, 2010). Afin d'évaluer l'état de l'infrastructure, SNCF Réseau, a mis en place l'indice de consistance de la voie (ICV) avec des valeurs comprises entre 0 et 100, la valeur 100 étant la valeur d'une infrastructure neuve. Une valeur de 10 indique alors qu'une voie ferrée est en fin de vie et 5 années plus tard, l'indice est placé à 0, indiquant que l'infrastructure est en fin de vie. SNCF Réseau considère qu'un ICV de 55 constitue un objectif à atteindre pour la pérennité du patrimoine » (Cour des comptes, 2018).

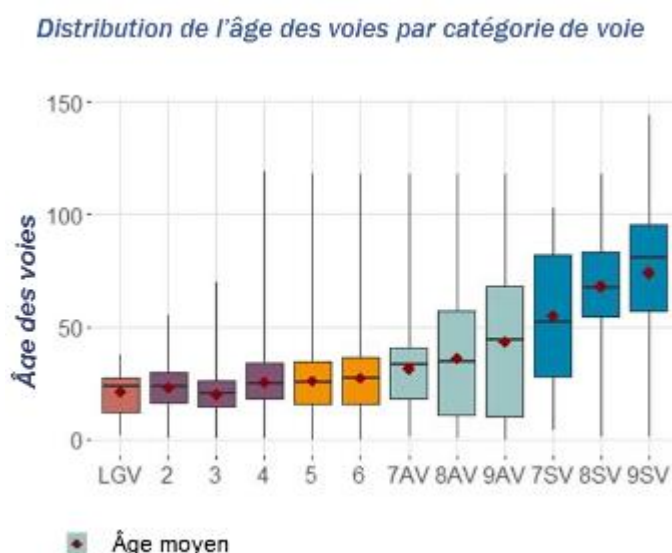


Figure 14 : Âge des voies par catégorie UIC, Source : Autorité de Régulation des Transports et SNCF Réseau), 2019

Les lignes de desserte fine du territoire (ayant un classement UIC situé entre 7 à 9) sont d'autant plus concernées par le vieillissement de voies ferrées avec un âge moyen bien plus élevé que les autres catégories de lignes. On peut voir sur la Figure 14 que l'âge moyen des voies avec voyageurs (AV) pour les LDFT est supérieur à 25 ans. Les lignes ferroviaires vieillissantes subissent alors des limitations permanentes de vitesses (LPV) dans l'attente d'être régénérées. Ce sont alors près de 4 500 km de voies du réseau ferré français qui subissent actuellement des ralentissements ou l'arrêt des circulations pour cause de mauvais état de la voie (fin 2019). Près d'un quart du réseau des lignes de desserte fine du territoire est concerné par ces restrictions (Autorité de Régulation des Transports, 2021b).

Ainsi, une voie ferrée peut être vue comme une infrastructure qui a une durée de vie limitée et qu'il est nécessaire de régénérer régulièrement. De plus, une volonté d'augmentation des vitesses nominales maximales sur une ligne ferroviaire se traduit alors généralement par des travaux lourds de modification de l'infrastructure ferroviaire.

Le tracé de la voie ferrée

Ensuite, une des caractéristiques infrastructurelles d'une ligne ferroviaire est son tracé et la sinuosité de celui-ci. En effet, tout matériel roulant admet une accélération centrifuge dirigée vers l'extérieur d'un tracé admettant des courbes. La minimisation du nombre de

courbes et des rayons de courbure admises par celles-ci permet alors de maximiser la vitesse instantanée d'un train sur celle-ci.

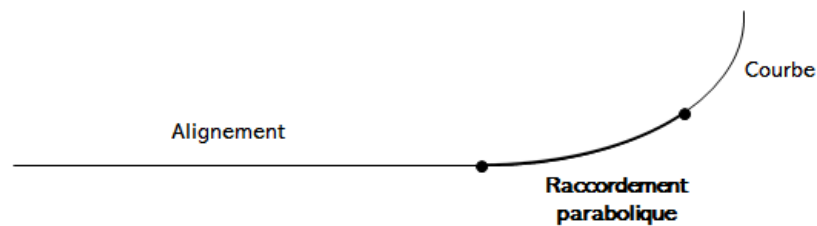


Figure 15 : Représentation schématique d'un rayon de courbure, Antonin Drouet (2023)

La vitesse maximale d'un train dans une courbe dépend du rayon de courbure, avec ses 3 phases représentées sur la Figure 15, et du dévers, différence d'altitude entre la file de rail intérieure et la file de rail extérieure, remontée afin de compenser la force centrifuge, avec la formule :

$$D_v = \frac{11,8 \times V^2}{R}$$

où D_v est le dévers théorique en mm, V la vitesse maximale du train en km/h, et R le rayon de courbure en m.

Le dévers permet alors au matériel roulant de se « pencher » vers l'intérieur de la courbe. La vitesse pratiquée sur l'infrastructure ferroviaire étant différente en fonction du matériel roulant, le dévers effectif d'une voie ferrée est environ égal à 7/10 du dévers théorique, cela résultant d'un compromis entre les matériels roulants. En effet, un train rapide pourra admettre une insuffisance de dévers avec la sensation d'être poussé vers l'extérieur d'une courbe alors qu'un train lent (un train de marchandise par exemple) admettra un excès de dévers avec la sensation d'être poussé vers l'intérieur (RFF, 2006).

Ainsi, la sinuosité du tracé d'une ligne ferroviaire influence directement la vitesse pratiquée sur cette ligne¹. De plus, les petites lignes de desserte fine du territoire ont généralement une sinuosité plus importante. En effet, le dévers maximal autorisé est compris entre 150 et 160 mm sur les voies hors LGV et de 180 mm pour les LGV (Allenbach, 2008). Les lignes de type LGV (lignes à grande vitesse) ne sont constitués principalement que d'alignements afin de pouvoir admettre des vitesses commerciales très importantes.

Enfin, d'autres paramètres liés à la voie ferrée peuvent avoir un impact sur la vitesse d'un train. C'est le cas par exemple de la déclivité ou de la structure du sous-sol où la voie ferrée est posée. Toutefois, ces paramètres n'influent pas sur l'infrastructure ferroviaire ou ils n'ont pas d'impacts directs sur la vitesse commerciale. Par exemple, une déclivité importante demandera au matériel roulant un effort plus important mais n'aura pas d'impact sur la vitesse commerciale exercée sur une ligne ferroviaire.

¹ La réduction des vitesses dans les courbes peut être moindre dans le cas d'une utilisation de matériel roulant pendulaire. Le train pendulaire est en effet conçu pour s'incliner dans les courbes (comme un pendule) de manière à compenser la force centrifuge.

2. L'infrastructure linéaire en lien avec son environnement : les passages à niveau

L'infrastructure linéaire ferroviaire est composée de la voie ferrée comme étudiée précédemment mais également d'infrastructures présentes sur cette même voie ferrée et qui viennent influencer sur la vitesse commerciale au sein d'une ligne ferroviaire. C'est l'hétérogénéité d'une ligne qui n'est pas prise en considération sur la représentation schématique simplifiée des vitesses de la Figure 6 dans la partie « La vitesse commerciale comme indicateur de l'attractivité » page 19.

Tout d'abord, une des infrastructures ayant un impact sur l'infrastructure linéaire ferroviaire est représentée par les passages à niveau (PN). Un passage à niveau est le croisement (à la même hauteur) entre une infrastructure routière et une infrastructure ferroviaire (CEREMA, 2022). Ils permettent la traversée à niveau d'une voie ferrée par des véhicules automobiles, des cycles et motocycles, des piétons, ainsi que d'animaux isolés ou groupés. Ils sont au nombre de 15 405 (2017) en activité sur le réseau ferré français (Ministre de l'équipement, du logement, des transports et de la mer, 1991).



Figure 16 : Passage à niveau n°52, dans la commune de Courçay, Antonin Drouet (2022)

On distingue 4 catégories de passages à niveau :

- La première catégorie comporte les passages à niveau publics munis de barrières ou de demi-barrières. Les barrières sont soit automatiques à signalisation automatique lumineuse et sonore (SAL 2) soit manœuvrés par des agents habilités par l'exploitant ferroviaire
- La seconde catégorie comporte les PN sans barrière (dits à Croix de Saint André)
- La troisième catégorie concerne les PN à portillon, réservé aux piétons uniquement.
- La dernière catégorie de passages à niveau concernent les PN privés avec un accès restreint à l'utilisateur bénéficiant du droit de passage. Ils sont alors équipés

d'une barrière manuelle et peuvent être pour les véhicules ou pour les piétons uniquement

Les passages à niveau font l'objet d'une attention particulière vis-à-vis de la sécurité. En effet, chaque année, des accidents surviennent (110 collisions en 2021), même si ceux-ci ont tendance à diminuer (260 collisions en 1988), ceci étant notamment dû à une diminution du nombre de passages à niveau (de 25 000 à 15 000 depuis 1980) et à une sécurisation et une prévention renforcée avec des programmes de sécurisation nationales et l'instance nationale des passages à niveau qui est créée en 1997 (Ministère de la transition écologique, 2023).

Bien que la priorité absolue soit reconnue à l'infrastructure ferroviaire dans le Code de la Route notamment, la présence de passages à niveau sur une ligne ferroviaire entraîne des conséquences directes sur la vitesse commerciale de la ligne. En effet, l'arrêté du 18 mars 1991 relatif au classement, à la réglementation et à l'équipement des passages à niveau impose des limitations de vitesses en fonction notamment de la catégorie des passages à niveau. Ainsi, la présence sur une ligne ferroviaire d'un passage à niveau de catégorie 1 de type automatique implique une limitation de vitesse à 160 km/h. Les autres passages à niveau (n'appartenant pas à la catégorie 1) sont surnommés les passages à niveau « non gardés » et ont fait l'objet en 2008 d'un plan particulier (plan Bussereau) qui rend « *obligatoire les barrières sur tous les PN où la vitesse des trains est supérieure à 90 km/h* ».

De ce fait, SNCF Réseau, gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire en France, a pris la décision de n'augmenter la vitesse nominale au-delà de 90 km/h sur un tronçon ferroviaire où la vitesse était inférieure au moment du décret (2008) que si les passages à niveau non gardés sont automatisés ou supprimés sur ce tronçon. Les lignes à passages à niveau non gardés ayant une vitesse supérieure à 90 km/h sont quant à elles bloquées à une vitesse nominale maximale de 140 km/h.

Les lignes de desserte fine du territoire comportent un nombre élevé de passages à niveau et la limitation des vitesses nominales maximales par la réglementation est de ce fait très récurrente (CEREMA, 2020).

3. Les ouvrages d'art, un enjeu pour les LDFT

Finalement, les ouvrages d'art, quels qu'ils soient, ont un impact sur la vitesse commerciale d'un train. En effet, la présence de certains ouvrages d'art vieillissants entraîne des limitations de vitesse sur ces ouvrages d'arts. En effet, leur mauvais état conduit à une réduction des performances avec une augmentation du nombre de ralentissements imposés pour préserver la sécurité des circulations, dont 4000 km sur les lignes de desserte fine du territoire (Jean-Cyril Spinetta, 2018).

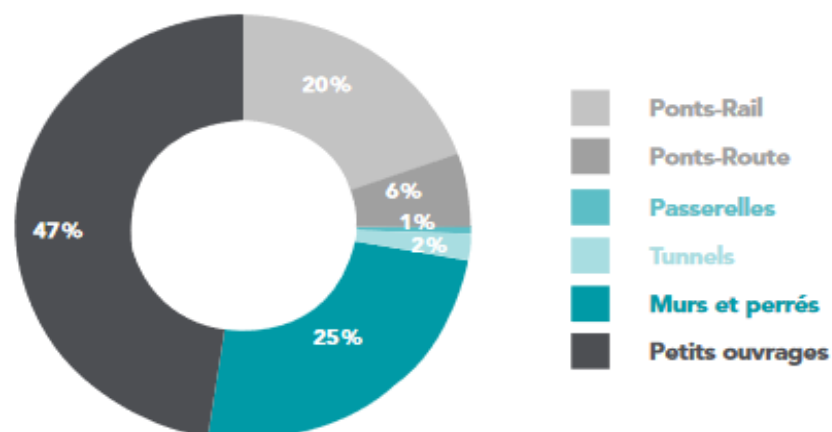


Figure 17 : Part des types d'ouvrages d'art sur le réseau ferroviaire français, SNCF Réseau (2021)

Les lignes de desserte fine du territoire comprennent une grande part (32%) des 130 000 ouvrages d'art présents sur le réseau ferré français. Les petits ouvrages, souvent hydrauliques, représentent près de 50% des ouvrages d'art (voir Figure 17). Les ouvrages d'art sont composés des ponts-rails, également appelés ponts ferroviaires, ponts construits pour supporter et permettre le passage d'un train au-dessus d'un obstacle, des ponts-routes qui sont des ponts routiers permettant de traverser la voie ferrée, des tunnels, des passerelles, ainsi que des murs et perrés, revêtements protégeant les côtés de la voie ferrée.

Finalement, le schéma de la Figure 6 représentait le diagramme Vitesse/Distance théorique entre deux gares sur un tronçon homogène (ne présentant pas d'hétérogénéité infrastructurelle). Cependant, l'infrastructure linéaire ferroviaire et ses différentes composantes ne permettent pas toujours d'avoir des vitesses réelles égales aux vitesses théoriques. En effet, les variations de vitesse sont souvent nombreuses au sein d'un trajet, d'autant plus sur les lignes de desserte fine du territoire, où l'infrastructure est vieillissante et où les contraintes infrastructurelles sont nombreuses.

Le schéma de la Figure 18 est alors une représentation de l'impact des infrastructures citées précédemment sur la vitesse pratiquée par le matériel roulant sur une ligne ferroviaire avec la présence d'ouvrages d'art ou de LPV sur la voie ferrée.

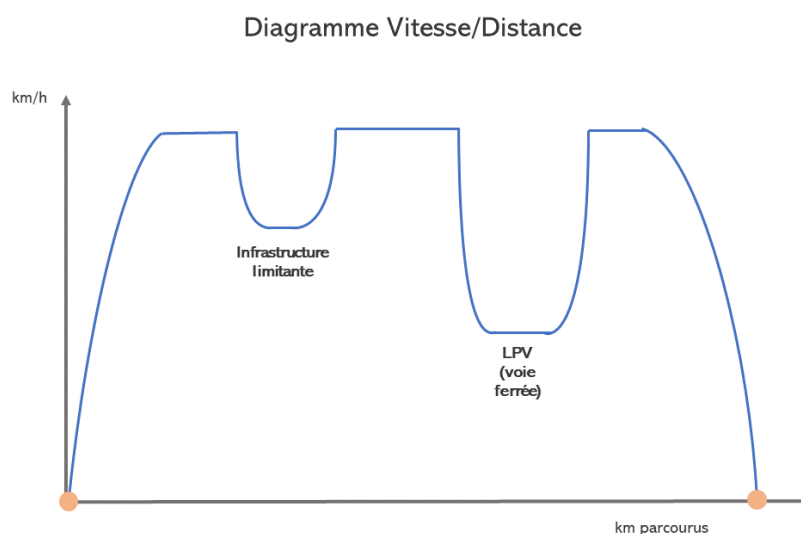


Figure 18 : Diagramme Vitesse/Distance prenant en compte l'hétérogénéité de l'infrastructure linéaire, Antonin Drouet (2023)

Ainsi, le véritable enjeu du point de vue de l'infrastructure linéaire est le maintien ou l'amélioration de l'état des infrastructures présentes sur une ligne ferroviaire (voie ferrée, passages à niveau, et ouvrages d'art). De ce fait, la qualité du patrimoine infrastructurel ferroviaire est un levier qui influe directement sur les performances sur la ligne et sur l'indicateur de la « vitesse commerciale » étudié ici.

C. Les leviers d'augmentation de la vitesse commerciale liés à l'infrastructure nodale

Le second volet infrastructurel d'une infrastructure de transport concerne les nœuds ferroviaires et l'infrastructure nodale. L'infrastructure nodale ferroviaire se compose comme vu dans la partie « L'infrastructure nodale de transport » (p.23) des nœuds du réseau ferroviaire, donc des gares et haltes ferroviaires.

1. Durée de trajet et sillon horaire

En effet, des leviers existent également vis-à-vis de l'infrastructure nodale afin d'augmenter les performances d'une ligne ferroviaire. De ce fait, la vitesse commerciale peut être augmentée en cas d'amélioration de l'infrastructure linéaire comme vu précédemment, mais elle dépend également de facteurs davantage liés à l'infrastructure nodale (gares).

Tout d'abord, la vitesse commerciale est un indicateur de qualité de service qui dépend de la durée de trajet réelle pour un usager. Cependant, la durée de trajet réelle sur une ligne ferroviaire ne dépend pas que de la vitesse du train mais également des marges établies par le gestionnaire des sillons horaires SNCF Réseau. En effet, la durée d'un trajet est la somme de la marche de base, de la marge de régularité, de la marge supplémentaire travaux (éventuellement), des temps d'arrêts en gare, et de temps supplémentaires nécessaires au

montage du graphique en fonction de la capacité de la ligne (par exemple un allongement de stationnement) (SNCF Réseau, 2022).

La marche de base est le temps de trajet minimal réalisable par le véhicule (globalement dépendant pour un véhicule donné de l'infrastructure linéaire). La marge de régularité est une durée supplémentaire composée de la Marge-A ajoutée pour les aléas d'exploitation et de la Marge-T ajoutée pour les aléas liés aux travaux ou aux limitations de vitesses non prévues dans la marche de base. La marge de régularité est égale à 4,5 min/100 km (2 minutes de Marge-A et 2,5 minutes de Marge-T) sur les lignes classiques et à 5% de la marche de base sur les trajets LGV. Une Marge-V (marge supplémentaire travaux) peut être ajoutée en cas de travaux sur la voie ferrée.

La durée d'un trajet est donc égale à la somme de la marche de base et des différentes marges. Les horaires de trains devant être précis, les temps de parcours sont ensuite arrangés afin d'obtenir un horaire arrondi aux 30 secondes supérieures. Ces différentes marges et leurs valeurs font ainsi varier la durée de trajet sur une ligne ferroviaire et la vitesse commerciale sur la ligne ferroviaire. Afin de maximiser la vitesse commerciale sur une ligne de desserte fine du territoire, il convient donc de minimiser ces marges qui peuvent être importantes. L'arrondi ainsi que les calculs de marges impliquent que parfois, un gain de temps minime sur l'infrastructure linéaire pourrait faire gagner un temps plus important dans les durées de trajet finales.

2. Desserte ferroviaire : la fréquence comme levier d'amélioration

Ensuite, la durée d'un trajet sur une ligne ferroviaire dépend également du temps d'arrêt en gare. Afin de diminuer la durée d'un trajet entre une gare de départ et une gare d'arrivée, certains trajets ferroviaires ont un nombre d'arrêts réduits à certains horaires. En effet, les trains s'arrêtant à toutes les gares (souvent nommés trains « omnibus ») d'une ligne ferroviaire auront une vitesse commerciale moins importante que les trains directs desservant uniquement les gares « d'arrêt général » (gares d'arrêt obligatoire sur une ligne) ou les trains semi-directs (desservant quelques arrêts seulement) grâce à la suppression de certains arrêts de la ligne pour certains horaires.

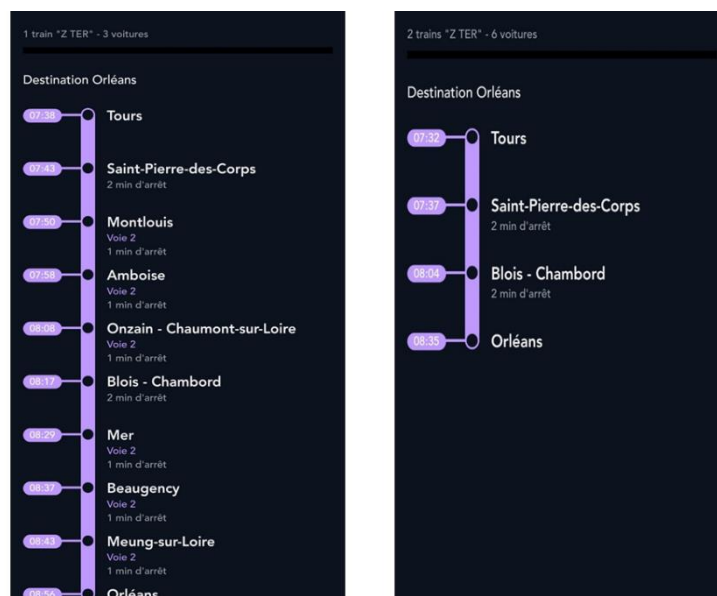


Figure 19 : Différence entre les horaires d'un train direct et d'un train de type "omnibus" : exemple du trajet Tours-Orléans, Source : SNCF, 2023

Par exemple, en comparant les horaires de desserte d'un train dit « omnibus » entre Tours et Orléans avec les horaires d'un train ne desservant que les gares d'« arrêt général » Saint Pierre des Corps et Blois, on observe une différence de durée de trajet de 15 minutes (SNCF, s. d.). Ainsi, la suppression de certains arrêts à certains horaires permet une augmentation de la vitesse commerciale sur le trajet semi-direct. En effet, ceci est expliqué par la suppression de plusieurs phases de décélération et d'accélération ainsi que la suppression du temps d'arrêt obligatoire d'1 minute pour toutes les gares où le train ne s'arrête plus.

Malgré cela, les lignes de desserte fine du territoire ont comme leur nom l'indique vocation à desservir le territoire de la façon la plus fine possible. Cela implique de desservir un maximum de gares sur chaque LDFT du réseau ferroviaire. Toutefois, l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire dépend de la vitesse commerciale proposée à l'usager. Il est donc nécessaire de trouver un compromis entre une desserte très fine du territoire (desservir plus) et une durée de trajet minimale entre la gare d'origine à la gare de destination (desservir mieux).

3. Appareils de voie ferrée

Enfin, on peut considérer que les appareils de voie et leurs états sont un levier infrastructurel qui peut avoir des impacts sur la vitesse commerciale sur une ligne ferroviaire. En effet, les appareils de voie sont des ouvrages complexes présents dans le cas d'une bifurcation ou d'un croisement entre deux voies ferrées. Ils permettent alors le changement de voie et d'itinéraire.

L'appareil de voie de bifurcation est appelé branchement ou plus communément aiguillage. Sur la représentation schématique de la Figure 20, on peut alors observer l'aiguille (1) qui sert à attribuer une direction en se plaquant sur la contre-aiguille (2), et la tige ou tringle (3) qui connecte les deux aiguilles. Le moteur d'aiguillage (4) permet de faire coulisser la tige et les aiguilles afin de changer la direction. Le branchement peut être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage.

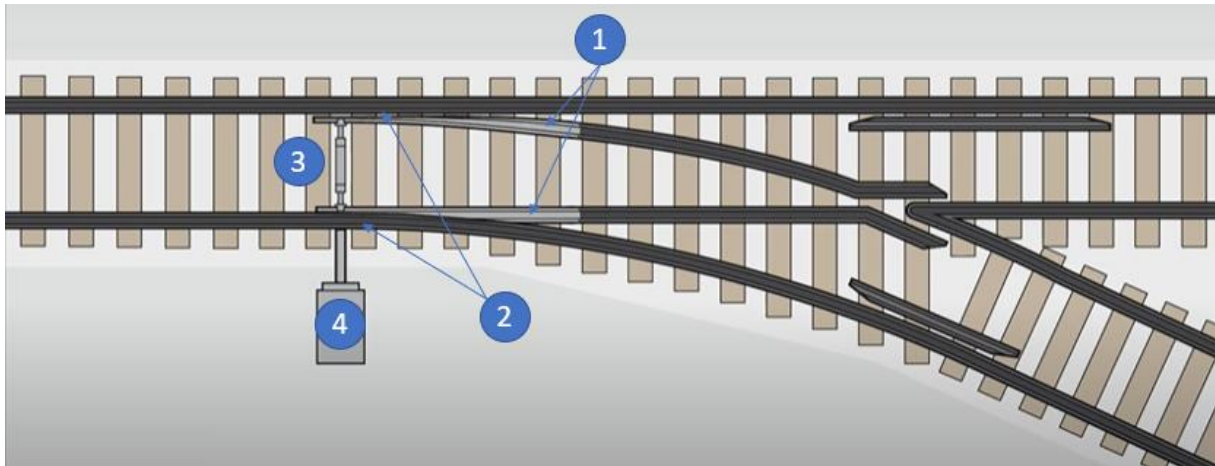


Figure 20 : Représentation schématique d'un aiguillage, Source : Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois, modifié par Antonin Drouet (2023)

Les appareils de voie de croisement sont appelés traversées ferroviaires. Ils permettent le croisement (voir Figure 21 ci-dessous) ou la jonction de deux voies ferrées différentes sur une ligne ferroviaire.



Figure 21 : Traversées ferroviaires de type croisement

Les appareils de voie sont des ouvrages fréquents et nécessaires sur une ligne ferroviaire, d'autant plus à l'approche d'un nœud ferroviaire (gare ou halte ferroviaire). Le contact roue-rail y est plus complexe que sur un rail normal et de ce fait, les vitesses admises sur ces passages délicats sont réduites (Fan, 2022). Ainsi, une minimisation du nombre d'appareils de voie empruntés par un train sur un trajet ou l'emprunt d'appareils de voie en bon état fonctionnel permettent une meilleure vitesse commerciale sur une ligne ferroviaire.

PARTIE 3 : APPLICATION A LA LIGNE FERROVIAIRE JOUÉ-LES-TOURS-LOCHES

L'objectif de la troisième partie est d'appliquer à la ligne de desserte fine du territoire Joué-lès-Tours – Loches des modifications infrastructurelles théoriques comme étudiées précédemment et d'évaluer l'impact de ces modifications du point de vue de la performance. Pour cela, il a été décidé d'étudier trois scénarios distincts de modification. Le premier scénario consiste à modéliser une modernisation de la voie ferrée, le second une suppression de la limitation des vitesses causée par les passages à niveau non gardés, et enfin le dernier scénario étudie une modification des gares desservies sur la ligne ferroviaire.

A. La ligne Joué-Les-Tours-Loches

1. La ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches

La ligne Joué-Lès-Tours-Châteauroux, ligne n°594 000 du réseau ferré national, a été mise en service en 1878. Le tronçon Loches-Châteauroux est cependant réservé aux transports de marchandise, les dessertes voyageurs s'arrêtant à Loches depuis le 15 janvier 1970 (Transportail, 2021). Depuis 1975, l'absence d'investissements sur la ligne et son vieillissement a provoqué une nécessaire diminution de la vitesse sur certains tronçons (Association pour le Développement des Transports Collectifs en Touraine, 2021). Cette ligne de desserte fine du territoire (représentée ci-dessous Figure 22) a des infrastructures vieillissantes. Ainsi, c'est un cas d'étude intéressant avec une durée de trajet entre Joué-Lès-Tours et Loches qui a augmenté et une vitesse commerciale qui diminue au fur et à mesure depuis 2006 sur 16 kilomètres de ligne.

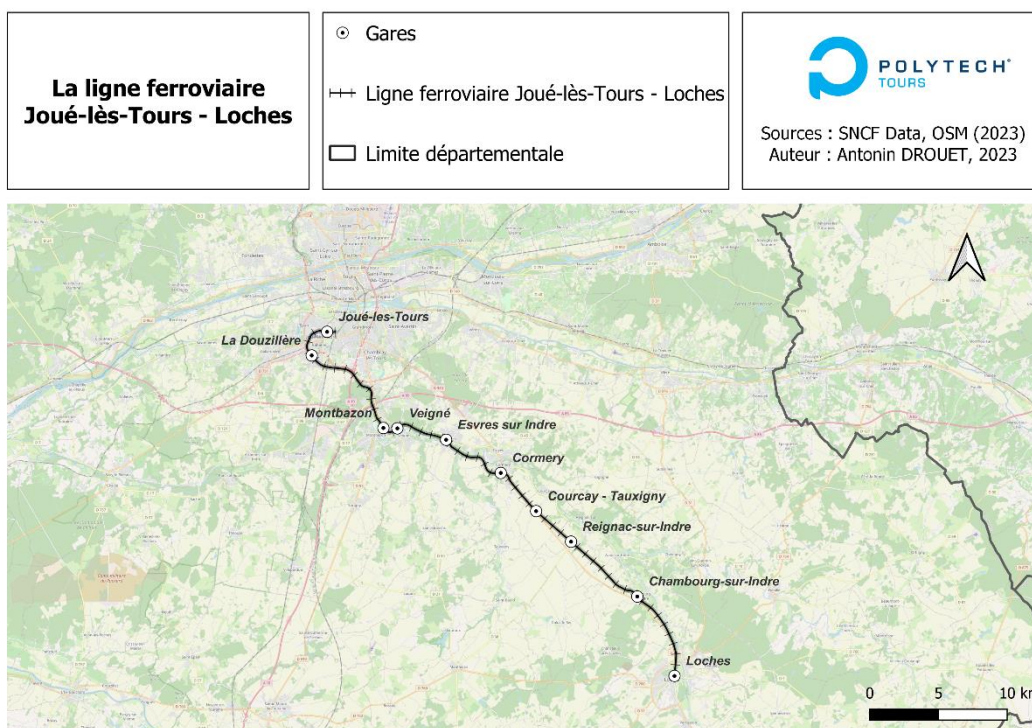


Figure 22 : La ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches, Antonin Drouet (2022)

En 2019, il a alors été décidé d'agir pour pérenniser la ligne et une enveloppe de 40 millions d'euros a été consacrée à une modernisation de celle-ci dans le cadre du CPER (Contrat de Plan Etat-Région) 2015-2020. Entre novembre 2021 et juin 2022, la partie entre Joué-Lès-Tours et Reignac a été modernisée avec un RVB (renouvellement voie ballast) complet représenté au second plan de la photographie de la Figure 23, prise à Reignac. L'objectif était de pérenniser la ligne sur 28 de ses 42 km afin de revenir à des performances d'avant 2006, supprimant les limitations permanentes de vitesses fixées à 60 km/h.



Figure 23 : Limite entre la voie ferrée régénérée et non régénérée sur la ligne Joué-lès-Tours - Loches, Antonin Drouet (2022)

2. Etat de la ligne ferroviaire

Aujourd'hui, la ligne Joué-les-Tours-Loches est une ligne à voie unique comportant 10 arrêts et 92 « ouvrages » au sens large dont 21 ponts-rails et 53 passages à niveau. Les trains circulent actuellement à 75 km/h entre Joué-Lès-Tours et Montbazon et à 85 km/h entre Veigné et Loches pour les trains de voyageurs (60 km/h pour les trains FRET). En effet, l'état de la voie ferrée ne permet pas aux trains de circuler plus rapidement sur la ligne ferroviaire.

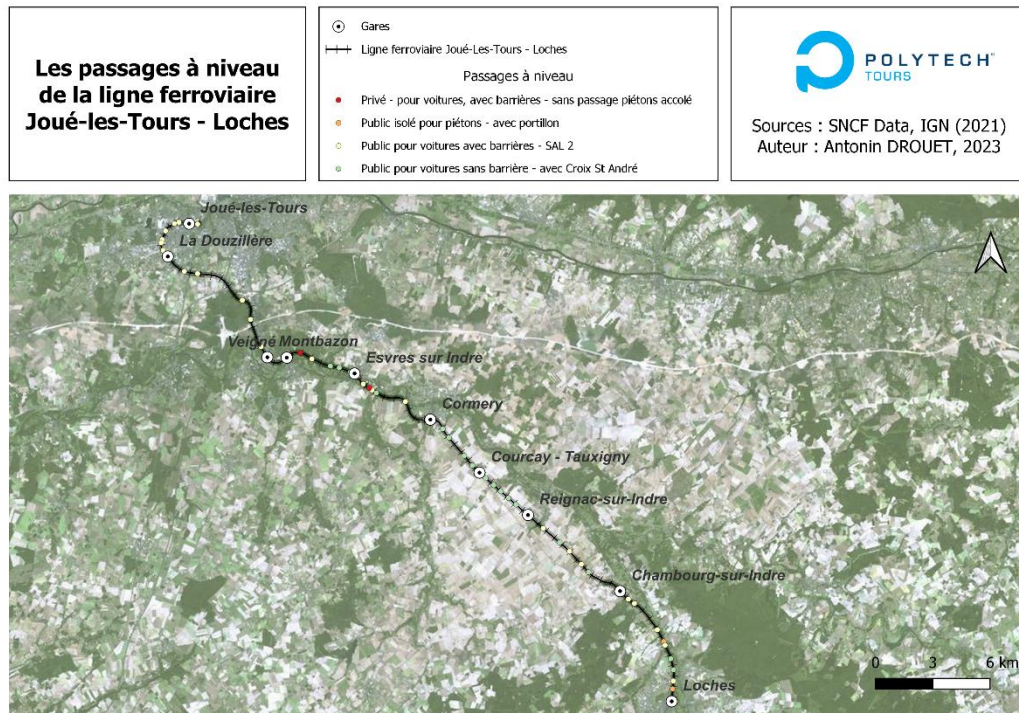


Figure 24 : Les passages à niveau de la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches, Antonin Drouet (2023)

Ensuite, 53 passages à niveau se situent sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches, dont 22 dits « non gardés », c'est-à-dire n'appartenant pas à la première catégorie de passages à niveau telle que définie dans la partie « L'infrastructure linéaire en lien avec son environnement : les passages à niveau » p.29. Ainsi, la limitation de vitesse y serait de 90 km/h si la voie ferrée était modernisée, avec un renouvellement de la voie, du ballast et des traverses.

3. Performance de la ligne et représentation graphique

Aujourd'hui (pour le service annuel 2023 : décembre 2022 - décembre 2023), sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches, la durée de trajet est de 54 minutes avec un matériel roulant de type autorail thermique 72500.

	Temps de parcours réel	Temps de parcours avec marges	Temps d'arrêt	Temps de parcours (SA 2023)
Joué-lès-Tours				00:00:00
La Douzillère	00:03:06	00:03:30	00:01:00	00:04:30
Montbazon	00:07:13	00:08:00	00:01:00	00:09:00
Veigné	00:01:40	00:02:00	00:01:00	00:03:00
Esvres	00:03:26	00:03:30	00:01:00	00:04:30
Cormery	00:04:22	00:05:00	00:01:00	00:06:00
Courçay-Tauxigny	00:03:31	00:04:00	00:01:00	00:05:00
Reignac	00:04:57	00:05:00	00:01:00	00:06:00
Chambourg	00:06:23	00:07:00	00:01:00	00:08:00
Loches	00:07:42	00:08:00	00:00:00	00:08:00
Total	00:42:20	00:46:00	00:08:00	00:54:00

Figure 25 : Temps de parcours Joué-lès-Tours - Loches, Antonin Drouet (2023), Source : données SNCF Réseau

La Figure 25 présente les temps de parcours actuels pour chaque tronçon ferroviaire. Le temps de parcours réel est la durée de trajet minimale entre la gare d'arrêt précédente et l'arrêt actuel représenté en première colonne du tableau. La seconde colonne de temps de parcours représente les temps de parcours avec les marges A et T¹ arrondis au 30 secondes. Enfin, la dernière colonne représente la somme du temps de parcours avec les marges et du temps d'arrêt en gare (d'une minute par gare ici). Le temps de parcours SA 2023 représente le temps de parcours « officiel » de la grille horaire SNCF. Ainsi, la durée actuelle d'un trajet de Joué-lès-Tours à Loches est de 54 minutes et la vitesse commerciale est actuellement de 46 km/h sur la ligne Joué-lès-Tours – Loches.

¹ voir la partie « Durée de trajet et sillon horaire »

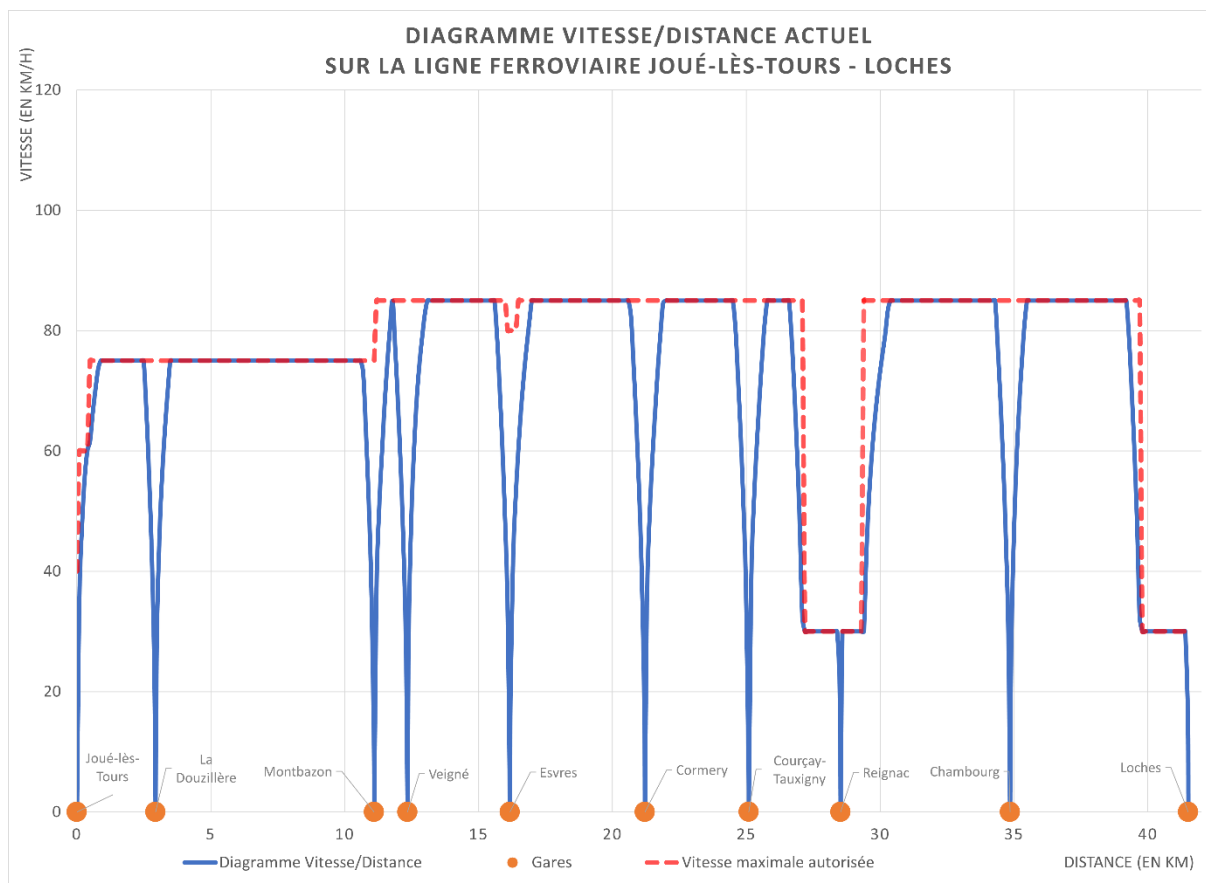


Figure 26 : Diagramme Vitesse/Distance actuel sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours, Antonin Drouet (2023), Source : données SNCF Réseau

En effet, on peut observer sur le diagramme Vitesse/Distance actuel (Figure 26) les limitations permanentes (LPV) de vitesses fixées à 75 km/h entre Joué-lès-Tours et Montbazon puis à 85 km/h entre Montbazon et Loches. Deux LPV (limitations permanentes de vitesse) à 30 km/h dues à l'état de l'infrastructure peuvent également être observées entre les kilomètres 27 et 29 (aux abords de la gare de Reignac) et à partir du kilomètre 45 jusqu'à la gare de Loches.

B. Les scénarios de modification de la ligne ferroviaire

Trois scénarios de modification de la ligne ferroviaire ont été envisagés au niveau linéaire mais également au niveau nodal. Le premier scénario est celui d'une modernisation de la voie ferrée qui permettrait une suppression des limitations de vitesse. Le second consiste en une modification des passages à niveau afin de supprimer la limitation à 90 km/h au sens du plan Bussereau. Pour le troisième et dernier scénario, il s'agira de modifier la desserte sur la ligne ferroviaire. Ainsi, l'objectif est d'étudier l'impact de ces différentes modifications sur la vitesse commerciale et sur la durée de trajet sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches.

1. Scénario 1 : modification de la voie ferrée

Tout d'abord, le premier scénario consiste à étudier l'impact éventuel d'une modernisation de la voie ferrée de la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches sur la vitesse commerciale. Ce scénario permettrait d'éviter les quatre LPV citées précédemment (deux LPV à 30 km/h, une à 75 km/h et une à 85 km/h). La ligne ferroviaire donnerait alors la possibilité aux trains de circuler à 90 km/h, limitation globale de vitesse provoquée par la présence de passages à niveau non gardés sur la ligne ferroviaire.

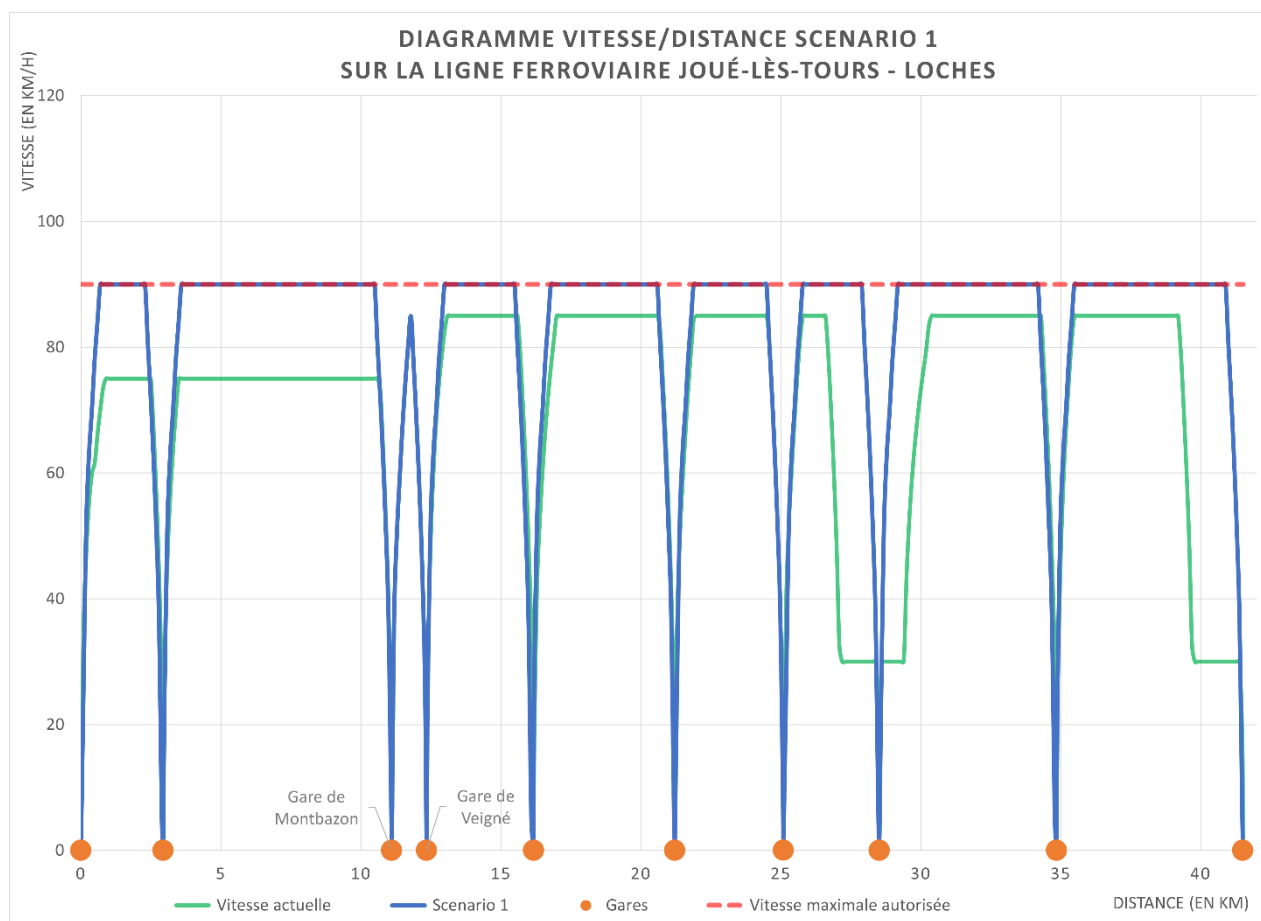


Figure 27 : Diagramme Vitesse/Distance sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches (Scénario 1)
Antonin Drouet (2023)

Pour ce scénario, nous obtenons le diagramme Vitesse/distance de la Figure 27. Nous pouvons observer que le véhicule atteint les 90 km/h sur chaque tronçon sauf celui entre Montbazoin et Veigné où les gares sont proches avec un écart de seulement 1,2 kilomètres ne permettant pas aux trois phases (accélération, vitesse de croisière, et décélération) de se mettre en place.

Au niveau des temps de parcours, nous obtenons une différence de durée de 6 minutes et 4 secondes entre la ligne ferroviaire en l'état actuel et la ligne ferroviaire modernisée (avec les LPV supprimées). Le gain de temps est particulièrement important au niveau des tronçons Courçay-Reignac et Chambourg-Loches, où se situent actuellement des limitations permanentes de vitesse à 30 km/h.

	Calcul du nouveau temps de parcours réel	Estimation du temps de parcours avec marges	Temps d'arrêt	Nouveau temps de parcours estimé
Joué-lès-Tours				00:00:00
La Douzillère	00:02:43	00:03:00	00:01:00	00:04:00
Montbazan	00:06:06	00:06:30	00:01:00	00:07:30
Veigné	00:01:40	00:02:00	00:01:00	00:03:00
Esvres	00:03:21	00:03:30	00:01:00	00:04:30
Cormery	00:04:07	00:04:30	00:01:00	00:05:30
Courçay-Tauxigny	00:03:21	00:03:30	00:01:00	00:04:30
Reignac	00:03:26	00:03:30	00:01:00	00:04:30
Chambourg	00:05:31	00:06:00	00:01:00	00:07:00
Loches	00:06:01	00:06:30		00:06:30
Total	00:36:16	00:39:00	00:08:00	00:47:00

Figure 28 : Calcul du temps de parcours potentiel entre Joué-lès-Tours et Loches pour le scénario 1
Antonin Drouet (2023)

A partir des règles de calcul de marges établies dans le DRR SNCF Réseau (SNCF Réseau, 2022), nous estimons alors un temps de parcours total (avec marges et arrêts en gare) à 47 minutes, soit 7 minutes de moins que le temps de parcours actuel. La vitesse commerciale de la ligne ferroviaire serait alors de 52,4 km/h, soit une amélioration de 13,7 % grâce à une modernisation de la voie ferrée (46,1 km/h actuellement).

2. Scénario 2 : modification des passages à niveau de la ligne ferroviaire

Ensuite, le second scénario consiste à étudier une modification des passages à niveau non automatisés de la ligne Joué-lès-Tours – Loches (représentés Figure 29). En effet, la présence de 22 passages à niveau non automatiques ou « non gardés » (sur les 55 de la ligne ferroviaire) implique actuellement une restriction globale de vitesse de 90 km/h sur la ligne. Malgré cela, la vitesse de circulation ne serait en réalité bloquée à 90 km/h qu'au niveau des passages à niveau non automatisés.

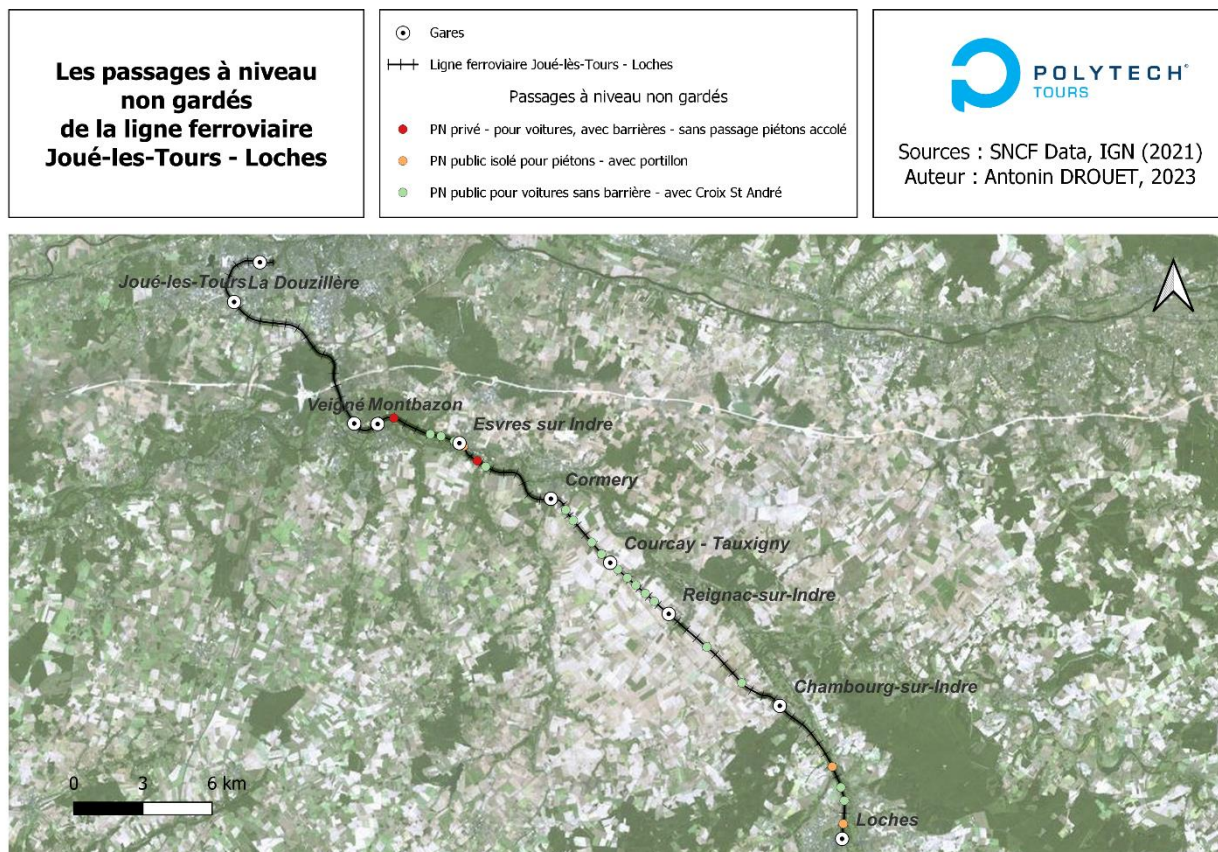


Figure 29 : Les passages à niveau non gardés de la ligne ferroviaire Joué-les-Tours - Loches, Antonin Drouet (2023)

Ainsi, le second scénario consiste à modéliser le diagramme Vitesse/Distance qui prendrait en compte une régénération de la voie ferrée comme lors du scénario 1 mais également un relèvement de vitesse à une vitesse nominale maximale de 115 km/h au lieu des 90 km/h du scénario précédent (en supposant que les passages à niveau ne soient plus un critère bloquant).

De ce fait, le diagramme permet à la fois d'évaluer les passages à niveau non automatisés réellement bloquants pour un relèvement de vitesse mais aussi d'étudier le gain de temps potentiel d'un relèvement de vitesse à 115 km/h. La vitesse maximale dépend comme nous l'avons vu du rayon de courbure et du dévers de la courbe. Il aurait alors été intéressant d'étudier les vitesses maximales théoriques pouvant être atteintes sur chaque courbe de la ligne Joué-les-Tours – Loches mais cela n'a pas été envisagé à cause d'un manque de données de sinuosité sur le cas d'étude. De ce fait, par hypothèse, nous retenons une vitesse nominale maximale de 115 km/h qui représente la vitesse théorique pouvant être atteinte avec les courbes et la sinuosité actuelle de la ligne d'après une étude d'Yvan Thomsen (SNCF Réseau, 2021).

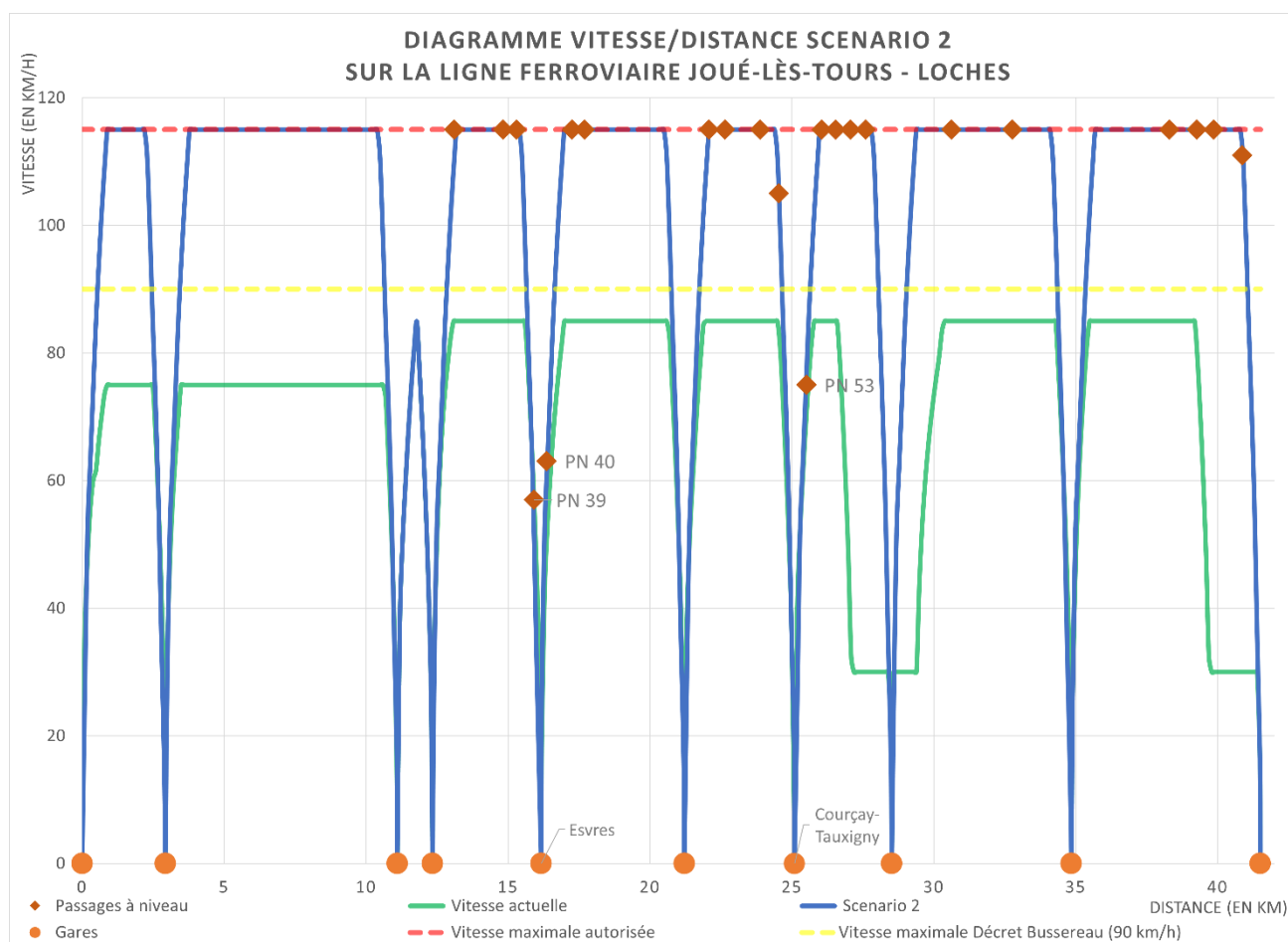


Figure 30 : Diagramme Vitesse/Distance sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches (Second scénario)
Antonin Drouet (2023)

Pour le second scénario, nous obtenons le diagramme Vitesse/Distance de la Figure 30. Nous pouvons observer que le véhicule peut théoriquement atteindre les 115 km/h sur chaque tronçon sauf celui entre Montbazon et Veigné. En effet, comme lors du premier scénario, la distance entre les deux gares est trop faible et ne permet pas au train d'atteindre les 115 km/h. De plus, seuls trois passages à niveau ne sont pas bloquants au niveau de la vitesse au sens du décret Bussereau. La vitesse instantanée du train lors de la traversée de ces passages à niveau est inférieure à 90 km/h. Ce sont les passages à niveau 39, 40, et 53 (représentés sur la Figure 30) aux abords de la gare d'Esvres et de Courçay-Tauxigny. Si l'intégralité des 19 autres passages à niveau est automatisée ou supprimée, alors nous obtiendrions théoriquement un diagramme Vitesse/Distance semblable à celui de la Figure 30.

Dans ce cas, nous obtiendrions au niveau des temps de parcours une différence de durée de 12 minutes et 51 secondes entre la ligne ferroviaire en l'état actuel et la ligne ferroviaire modernisée. Le gain de temps est particulièrement important au niveau du tronçon La Douzillère-Montbazon, distance la plus importante (8,1 km) et sur le tronçon Courçay-Reignac, où se situent actuellement des limitations permanentes de vitesse à 30 km/h.

	Calcul du nouveau temps de parcours réel	Estimation du temps de parcours avec marges	Temps d'arrêt	Nouveau temps de parcours estimé
Joué-lès-Tours				00:00:00
La Douzillère	00:02:14	00:02:30	00:01:00	00:03:30
Montbazou	00:04:51	00:05:30	00:01:00	00:06:30
Veigné	00:01:40	00:02:00	00:01:00	00:03:00
Esvres	00:02:43	00:03:00	00:01:00	00:04:00
Cormery	00:03:18	00:03:30	00:01:00	00:04:30
Courçay-Tauxigny	00:02:43	00:03:00	00:01:00	00:04:00
Reignac	00:02:48	00:03:00	00:01:00	00:04:00
Chambourg	00:04:24	00:05:00	00:01:00	00:06:00
Loches	00:04:48	00:05:30		00:05:30
Total	00:29:29	00:33:00	00:08:00	00:41:00

*Figure 31 : Calcul du temps de parcours potentiel entre Joué-lès-Tours et Loches pour le scénario 2
Antonin Drouet (2023)*

Finalement, l'estimation du temps de parcours total (avec marges et arrêts en gare) est de 41 minutes, soit 13 minutes de moins que le temps de parcours actuel. La vitesse commerciale de la ligne ferroviaire serait alors de 60,7 km/h, soit une amélioration de 31,7 % grâce à une modernisation de la voie ferrée et une automatisation/suppression des passages à niveau non gardés (46,1 km/h actuellement).

3. Scénario 3 : modification de la desserte ferroviaire

Enfin, le dernier scénario consiste à modéliser une modification de la desserte sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches. En effet, la fréquence de desserte est aujourd'hui « omnibus » et les gares sont desservies de manière très récurrente avec un arrêt tous les 4 kilomètres en moyenne. De plus, certains arrêts sont situés à moins de 3 kilomètres l'un de l'autre (2,9 km entre la gare de Joué-lès-Tours et de La Douzillère et 1,2 km entre celle de Montbazou et celle de Veigné).

Une modification de la desserte en une desserte semi-directe avec un arrêt à Cormery est donc étudiée ici. En effet, la gare de Cormery est la seconde gare la plus fréquentée de la ligne en 2021 (voir Annexe 2) derrière Loches et devant Joué-lès-Tours.

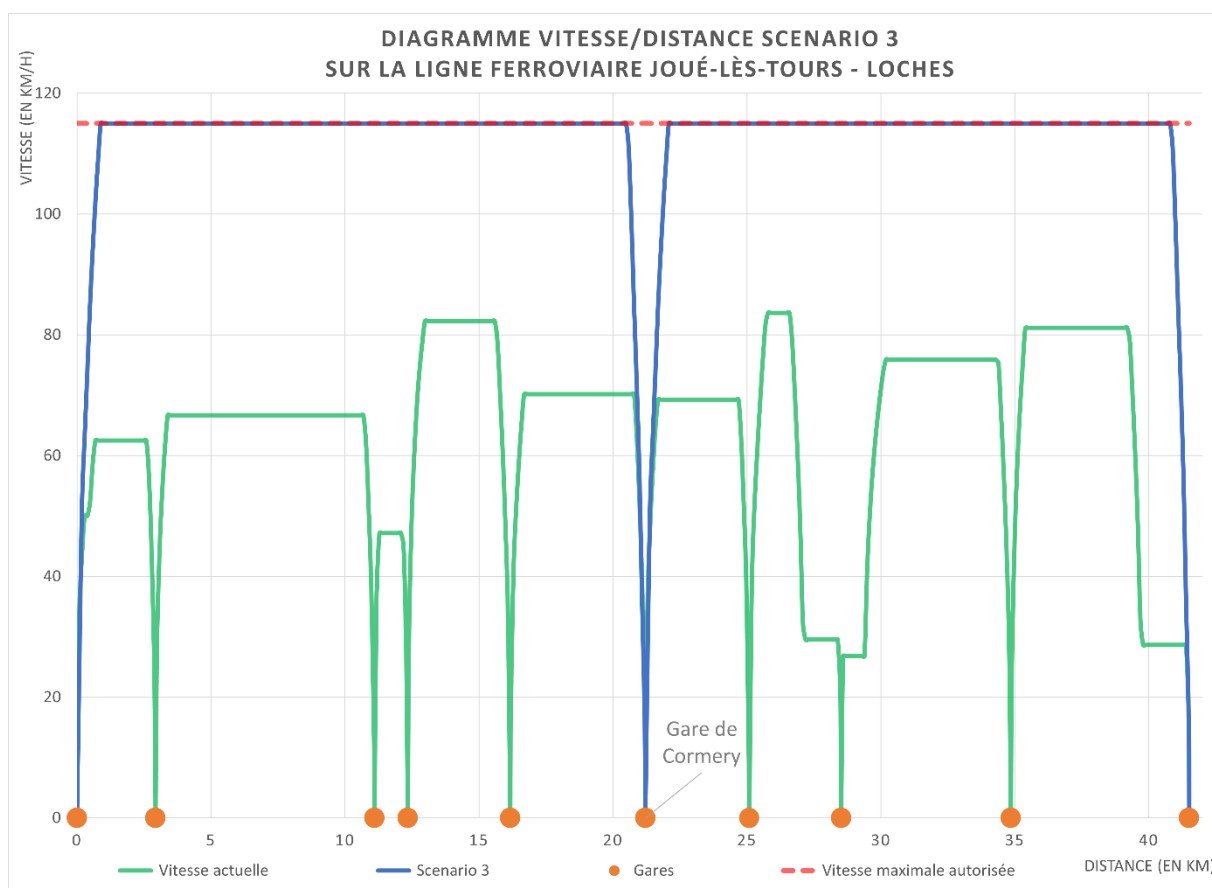


Figure 32 : Diagramme Vitesse/Distance sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours - Loches (Scénario 3)
Antonin Drouet (2023)

Ainsi, nous pouvons observer sur le tableau de la Figure 33 que le nouveau temps de parcours serait de 31 minutes avec un gain de 23 minutes par rapport à la situation actuelle avec une vitesse commerciale qui serait de 80 km/h (74% de différence) si le train ne s'arrêtait qu'à la gare de Cormery.

	Calcul du nouveau temps de parcours réel	Estimation du temps de parcours avec marges	Temps d'arrêt	Nouveau temps de parcours estimé
Joué-lès-Tours				00:00:00
Cormery	00:13:43	00:15:00	00:01:00	00:16:00
Loches	00:14:04	00:15:00		00:15:00
Total	00:27:47	00:30:00	00:01:00	00:31:00

Figure 33 : Calcul du temps de parcours potentiel entre Joué-lès-Tours et Loches pour le scénario 3
Antonin Drouet (2023)

4. Résultats et perspectives

Finalement, les différents scénarios et les gains de temps sont représentés dans le tableau de la Figure 34 ainsi que sur le diagramme réunissant les trois scénarios, présent en Annexe 3.

	Temps de parcours réel				Temps de parcours avec marges				Temps d'arrêt				Temps de parcours total estimé			
Scénarios	Actuel	1	2	3	Actuel	1	2	3	Actuel	1	2	3	Actuel	1	2	3
La Douzillière	00:03:06	00:02:43	00:02:14	00:13:43	00:03:30	00:03:00	00:02:30	00:15:00	00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:04:30	00:04:00	00:03:30	00:16:00
Montbazon	00:07:13	00:06:06	00:04:51		00:08:00	00:06:30	00:05:30		00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:09:00	00:07:30	00:06:30	
Veigné	00:01:40	00:01:40	00:01:40		00:02:00	00:02:00	00:02:00		00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:03:00	00:03:00	00:03:00	
Esvres	00:03:26	00:03:21	00:02:43		00:03:30	00:03:30	00:03:00		00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:04:30	00:04:30	00:04:00	
Cormery	00:04:22	00:04:07	00:03:18	00:14:04	00:05:00	00:04:30	00:03:30	00:15:00	00:01:00	00:01:00	00:01:00	00:01:00	00:06:00	00:05:30	00:04:30	00:15:00
Courçay-Tauxigny	00:03:31	00:03:21	00:02:43		00:04:00	00:03:30	00:03:00		00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:05:00	00:04:30	00:04:00	
Reignac	00:04:57	00:03:26	00:02:48		00:05:00	00:03:30	00:03:00		00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:06:00	00:04:30	00:04:00	
Chambourg	00:06:23	00:05:31	00:04:24		00:07:00	00:06:00	00:05:00		00:01:00	00:01:00	00:01:00		00:08:00	00:07:00	00:06:00	
Loches	00:07:42	00:06:01	00:04:48		00:08:00	00:06:30	00:05:30		00:00:00				00:08:00	00:06:30	00:05:30	
Total	00:42:20	00:36:16	00:29:29	00:27:47	00:46:00	00:39:00	00:33:00	00:30:00	00:08:00	00:08:00	00:08:00	00:01:00	00:54:00	00:47:00	00:41:00	00:31:00
Vitesse commerciale													46,1 km/h	52,4 km/h	60,7 km/h	80,3 km/h

Figure 34 : Tableau récapitulatif des temps de parcours et des vitesses commerciales actuellement et pour chaque scénario étudié, Antonin Drouet (2023)

Les résultats obtenus sur le cas d'étude Joué-lès-Tours – Loches montrent que les leviers infrastructurels présentés et décrits dans la partie II sont applicables pour cette ligne de desserte fine. En effet, des gains de temps considérables sont observés dans les trois scénarios. La vitesse commerciale passe ainsi de 46,1 km/h à 52,4 km/h pour le premier scénario de modification de la voie ferrée, à 60,7 km/h pour le second avec une automatisation et une suppression de passages à niveau, et enfin à 80,3 km/h avec un passage à une desserte semi-directe avec un arrêt à mi-parcours à Cormery.

Cependant, il convient de nuancer ces résultats car toute modélisation comporte des hypothèses qui ne sont pas toujours vérifiées à l'étape de la faisabilité. De plus, dans le cas d'étude, nous ne prenons pas en considération par manque de données l'approche par les courbes (sinuosité), le ralentissement au niveau des ouvrages d'art, le ralentissement obligatoire lors d'un passage dans certaines gares ou encore l'utilisation d'appareils de voie qui comme nous l'avons vu précédemment sont des facteurs limitant la vitesse commerciale d'une ligne de desserte fine du territoire.

Finalement, les ordres de grandeurs obtenus au niveau de la vitesse commerciale avec les différentes modifications restent cohérents et des changements dans l'infrastructure linéaire ou nodale pour la ligne de desserte fine du territoire Joué-lès-Tours – Loches amélioreraient les performances sur la ligne. Toutefois, une ligne de desserte fine du territoire n'a pas vocation à être une ligne directe mais par définition une ligne à desserte fine, de type « omnibus ». Le scénario 3 ne serait de ce fait pas à privilégier. De plus, les scénarios 2 et 3 impliqueraient des coûts infrastructurels et des délais de réalisation élevés. Peut-être pourrait-il être envisagé afin d'améliorer l'attractivité de la ligne de desserte fine du territoire Joué-lès-Tours – Loches de modifier la fréquence de desserte sur certains sillons uniquement et de ne modifier que certains passages à niveau, permettant d'améliorer la vitesse commerciale tout en minimisant les modifications infrastructurelles.

C. Les autres perspectives d'amélioration des lignes de desserte fine du territoire

En se concentrant sur l'infrastructure, qu'elle soit nodale ou linéaire, nous avons éludé certains aspects qu'il convient de prendre en compte et qui ont un impact indirect ou direct sur l'attractivité d'une ligne de desserte fine du territoire et sur la vitesse commerciale. En effet, les petites lignes ferroviaires présentent des caractéristiques – notamment techniques et d'exploitation - qui les distinguent du reste du réseau national, et qui peuvent les empêcher d'avoir une vitesse commerciale élevée.

1. Une faible circulation sur les LDFT

Parmi ces caractéristiques, on peut citer la faible circulation, qui, malgré des situations contrastées d'un territoire à l'autre (environ la moitié de ces lignes est empruntée par moins de 18 trains par jour), est un enjeu pour les lignes de desserte fine du territoire (SNCF Réseau, 2021). De ce fait, les investissements sur l'infrastructure nodale (création de voie, modification de desserte, ...) ou sur l'infrastructure linéaire (renouvellement de la voie ferrée ou encore automatisation de passages à niveau) sont très coûteux. Des circulations très faibles sur la ligne pourraient donc freiner les financeurs, malgré le potentiel de voyageurs existant sur la majorité de ces lignes.

2. Matériel roulant et électrification des LDFT

Ensuite, le matériel roulant est en enjeu qui n'a pas été abordé car l'étude s'effectuait sur l'infrastructure. Pourtant, il est essentiel et participe à une augmentation de l'attractivité d'une ligne de desserte fine du territoire. En effet, la vitesse commerciale dépend du matériel roulant avec des puissances d'accélération et de décélération mais également une vitesse maximale de croisière qui varie en fonction des types de trains.

De plus, le faible taux d'électrification (15 %) des lignes de desserte fine du territoire est un enjeu du point de vue des performances car cela limite la vitesse commerciale sur la ligne (SNCF Réseau, 2021). Enfin, du point de vue environnemental, dans le cadre de la réduction des gaz à effet de serre, un matériel roulant à traction thermique émet bien plus de CO₂ qu'un matériel roulant électrique.

Pour cela, des solutions de trains légers (à hydrogène ou à batteries) pourraient également être implantées afin de pallier ce problème sur les petites lignes non électrifiées. Cela permettrait une diminution des émissions de gaz à effet de serre tout en modifiant de façon minime l'infrastructure des lignes de desserte fine du territoire.

3. Exploitation difficile des LDFT

De plus, les lignes de desserte fine sont majoritairement en voies uniques (78 % des LDFT en France), ne permettant qu'à un seul train de circuler sur une même voie. Les signalisations sont également désuètes et n'ont, pour beaucoup de LDFT, pas été remises à niveau depuis plusieurs décennies. Cela implique des capacités très restreintes sur la ligne qui peuvent à terme empêcher le développement de celles-ci. Par exemple, la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches fonctionne avec une signalisation de type VUSS (voie unique à signalisation simplifiée). Les capacités concernent également les gares et les haltes ferroviaires avec un nombre limité de voies. Le temps gagné sur une ligne ferroviaire peut alors être perdu lors de l'insertion dans la grille horaire avec des nœuds ferroviaires saturés (Marie-Anne BACOT (CGEDD), 2015). Par exemple, la gare de Tours est une gare qui atteint régulièrement sa capacité maximale.

Ensuite, le cantonnement, découpage des lignes en cantons afin d'éviter le rattrapage d'un train par un autre ou afin d'éviter les collisions de face, est globalement manuel sur les LDFT. Un cantonnement qui n'est pas de type BAL (block automatique lumineux) implique des cantons pouvant mesurer jusqu'à 25 km. Ainsi, ce type de cantonnement, majoritaire sur les lignes de desserte fine du territoire (voir l'Annexe 4) ne permet pas à deux trains de circuler sur le même canton de 25 km. Par exemple, sur la ligne Joué-lès-Tours – Loches, des agents de circulation gèrent les postes de cantonnement à Joué-lès-Tours, Reignac, et Loches. Ainsi, deux trains ne peuvent pas circuler en même temps de Joué-lès-Tours à Reignac ou de Reignac à Loches, ce qui implique des limites en termes de capacité qui peuvent impliquer des réductions de la vitesse commerciale en fonction de la fréquence de desserte souhaitée.

CONCLUSION

Pour conclure, nous avons pu observer par cette étude et les résultats obtenus qu'une amélioration des performances est atteignable en utilisant des leviers infrastructurels. Plus qu'atteignable, cette amélioration est nécessaire. En effet, la transition écologique du secteur du transport et des mobilités, secteur émettant le plus de CO₂ chaque année en France, passe par le développement du transport de masse et plus particulièrement du mode de transport ferroviaire. Pour cela, une modernisation du réseau ferré français doit être organisée et financée. En effet, celui-ci est vieillissant, avec un âge moyen des lignes ferroviaires qui était de 28 ans en 2021. C'est particulièrement le cas pour les lignes de desserte fine du territoire, petites lignes au classement UIC supérieur à 7, qui représentent aujourd'hui 42% du réseau ferré national et qui ont un âge moyen des voies égal à 37 ans (2019). Les lignes de desserte fine du territoire et leur modernisation est un levier important qui permettra d'augmenter la part modale du transport ferroviaire. En effet, elles ont pour vocation de desservir le territoire de façon fine et elles répondent au premier motif de déplacement des Français aujourd'hui, le déplacement domicile-travail ou domicile-école.

Ainsi, afin d'augmenter la part modale du ferroviaire, il faut augmenter l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire. Pour cela, une des solutions, étudiée ici, consiste à utiliser les leviers infrastructurels afin d'améliorer la performance sur ces petites lignes. Il peut alors s'agir d'améliorer l'infrastructure linéaire en agissant sur la voie ferrée ou les ouvrages associés ou il peut s'agir d'améliorer l'organisation nodale du réseau (fréquences de desserte, sillons horaires adaptés, capacités en gare, ou encore efficacité des appareils de voie). L'exemple de la ligne Joué-lès-Tours – Loches montre qu'il est possible d'améliorer la vitesse commerciale d'une ligne ferroviaire avec des méthodes différentes.

De manière globale, l'optimisation du réseau ferré français et de son utilisation est essentielle pour assurer le report modal objectivé. Cela passe par une amélioration du réseau ferré, mais également des améliorations du matériel roulant afin d'augmenter la vitesse de déplacement et afin de rendre le mode de transport ferroviaire plus écologique et plus efficient énergétiquement. Ensuite, le développement des lignes de desserte fine du territoire est important pour le transport de voyageurs mais il est également essentiel pour le transport de fret (transport de marchandise) par les lignes de chemin de fer. En effet, le report modal du transport des marchandises par camions, majoritaire aujourd'hui en France, vers d'autres modes, est un levier important de réduction de l'émission de CO₂. De ce fait, la participation à l'amélioration du réseau ferroviaire doit être globale et réalisée avec l'aide d'un maximum d'acteurs (AOT : Région, Etat, SNCF Réseau, ...), qu'elle soit financière ou de conviction. Enfin, le report modal passe aussi par la mise en place d'une intermodalité globale entre tous les modes de déplacements, et à toutes les échelles. L'ensemble devrait permettre au transport ferroviaire de devenir le mode de transport du futur : un mode de transport efficace, rapide, et de masse, ayant un impact limité sur l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- Allenbach, J.-M. (2008). *Traction électrique* (2e éd. entièrement revue et augmentée). Presses polytechniques et universitaires romandes [diff. Géodif].
- Association pour le Développement des Transports Collectifs en Touraine. (2021, avril 2). *Moderniser Tours-Loches, pour des trains plus rapides et plus fréquents*. <https://adttouraine.com/2021/04/02/moderniser-la-ligne-ferroviaire-de-tours-a-loches-pour-des-trains-plus-rapides-et-plus-frequents/>
- *Attraction et attractivité—Géoconfluences*. (s. d.). [Terme]. Consulté 10 janvier 2023, à l'adresse <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/attraction-attractivite>
- Auphan, E. (1975). Les nœuds ferroviaires, phénomène résiduel ou points forts de l'espace régional ? *Espace géographique*, 4(2), 127-140. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1975.1547>
- Autorité de Régulation des Transports. (2021a). *Le marché français du ferroviaire en 2019*.
- Autorité de Régulation des Transports. (2021b). *Le marché français du ferroviaire en 2020*.
- Autorité de Régulation des Transports. (2022). *Marché français du transport ferroviaire, premiers chiffres 2021*.
- Baptiste, H. (2003). *Evaluer la qualité de service d'un transport collectif interurbain*. 13.
- Baron, N., Messulam, P., & Savy, M. (2017). *Réseaux ferrés et territoires : La géographie humaine du chemin de fer : un retour aux sources*. Presses des Ponts.
- Bavoux, J.-J., & Chapelon, L. (2014). *Dictionnaire d'analyse spatiale*. A. Colin.
- Berland, N., Piot, C., & Stolowy, H. (2013). La revue de littérature : État de l'état de l'art. *Comptabilité - Contrôle - Audit*, 19(3), 3. <https://doi.org/10.3917/cca.193.0003>
- CEREMA. (2015). *Qualité de service dans les transports collectifs urbains*. 56.
- CEREMA. (2020). *Quel avenir pour les petites lignes ? Potentiel, technique, gouvernance*. 38.
- CEREMA. (2022). *Sécurité des passages à niveau Ce que les maires doivent savoir....* 16.
- Chapelon, L. (1997). *Offre de transport et aménagement du territoire : Évaluation spatio-temporelle des projets de modification de l'offre par modélisation multi-échelles des systèmes de transport*.
- Commission nationale du débat public. (s. d.). | *Débat Public REGL*. Consulté 19 décembre 2022, à l'adresse <https://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-regl/chronologie-transport-ferroviaire-competence-regionale.html>
- Debrincat, M., Lenoir, J., Sivardiere, J., & Trcera, A.-S. (2018). *Comment améliorer l'attractivité du transport ferroviaire : L'analyse de la FNAUT*.
- Deraëve, S., Mimeur, C., Poinot, P., & Zembri, P. (2018). Les petites lignes : De la nomenclature UIC à un classement par les enjeux et les potentiels: *Transports urbains*, N° 133(2), 3-8. <https://doi.org/10.3917/turb.133.0003>
- Émangard, P.-H. (2005). La carte... Du classement des lignes en catégories UIC. *Transports urbains*, N° 108(2), 16. <https://doi.org/10.3917/turb.108.0016>
- Fan, D. (2022). *Contribution à l'optimisation dynamique de la conception des appareils de voie*.
- FNAUT. (2013). *Les attentes des voyageurs en matière de qualité de service : L'analyse de la FNAUT*.

- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2022). *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
- Jean ALIAS. (1987). *Le Rail*—Jean ALIAS. <http://archive.org/details/JeanALIASLeRail>
- Jean-Cyril Spinetta. (2018). *L'avenir du Transport ferroviaire*.
- Kühn, F., & Hayat, S. (1999). *Indicateurs de qualité de service et faits marquants sur 22 réseaux de transport urbain en Europe*. Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité.
- Le service de l'observation et des statistiques (SOeS). (2016). *Les infrastructures linéaires de transport : Évolutions depuis 25 ans*.
- Lévy, J., & Lussault, M. (2013). *Dictionnaire de la géographie et l'espace des sociétés* (Nouvelle édition revue et augmentée). Belin.
- LOI n° 2018-515 du 27 juin 2018 pour un nouveau pacte ferroviaire (1), 2018-515 (2018).
- LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (1), 2019-1428 (2019).
- Marie-Anne BACOT (CGEDD). (2015). *Les noeuds ferroviaires et leur prise en charge opérationnelle*.
- Ministère de la transition écologique. (2023). *Les passages à niveau*. Ministères Écologie Énergie Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/passages-niveau>
- Ministre de l'équipement, du logement, des transports et de la mer. (1991). *Arrêté du 18 mars 1991 relatif au classement, à la réglementation et à l'équipement des passages à niveau*.
- Noyé, D. (1984). *Pour satisfaire nos clients, 12 leçons sur la qualité des services* (INSEP édition).
- PREDIT. (1999, novembre). *Recherches stratégiques : Les petites gares du périurbain en région tourangelle* [Livre]. <https://www.adeupa-brest.fr/basedoc/recherches-strategiques-les-petites-gares-du-periurbain-en-region-tourangelle>
- RFF. (2006). *Référentiel infrastructure—Conception du tracé de la voie courante V<220 km/h*.
- Rivier, R., Putallaz, Y., Brühwiler, E., Lüking, D. J., Käppeli, R., Marti, C., Hofmann, C., Baud, M., Ribaux, C., Stalder, O., Wili, U., Matter, H., & Taruffi, C. (2005). *Audit sur l'état du réseau ferré national français*. 30.
- (SDES), M. de la T. écologique et de la C. des territoires, Service des données et études statistiques. (2021). *Enquête mobilité des personnes de 2019*.
- SETRA. (2010). *Modernisation des infrastructures ferroviaires—Opérations de renouvellement de voies ballast, de création de voies supplémentaires et d'électrification Rapport d'études*.
- SMTU. (s. d.). *Glossaire*. Site Internet de SMTU. Consulté 7 janvier 2023, à l'adresse https://www.smtu.nc/glossaire-388.html?no_cache=1&lettre=V
- SNCF. (s. d.). *SNCF Connect*. Consulté 12 janvier 2023, à l'adresse <https://www.sncf-connect.com/>
- SNCF Réseau. (2021). *Lignes de desserte fine du territoire : Nouvelle méthode pour les projets de modernisation*.
- SNCF Réseau. (2022). *Document de référence du réseau ferré national, Horaires de service 2022*.
- Transportail. (2021, octobre 5). *De Tours à Chinon et Loches : Des destins périurbains*. <http://transportrail.canalblog.com/archives/2014/08/21/30435603.html>

Annexes

Annexe 1 : Investissements (en valeur) dans les différentes infrastructures linéaires en France

Investissements (en valeur) en infrastructures sur longue période et transport réalisé en 2015

	Investissements totaux entre 1990 et 2015		Transport de voyageurs en 2015		Transport de marchandises en 2015	
	MdE	Part (%)	Md voy-km	Part (%)	Md t-km	Part (%)
Réseau routier en km	275,7	69,4	806,0	88,2	281,4	87,1
Réseau ferroviaire (SNCF, y.c. Île-de-France)	77,9	19,6	89,1	9,8	34,3	10,6
TCU fermé (hors réseau SNCF)	39,3	9,9	18,5	2,0		
Réseau navigable	4,2	1,1			7,5	2,3
Ensemble du transport terrestre	397,1	100,0	913,6	100,0	323,2	100,0

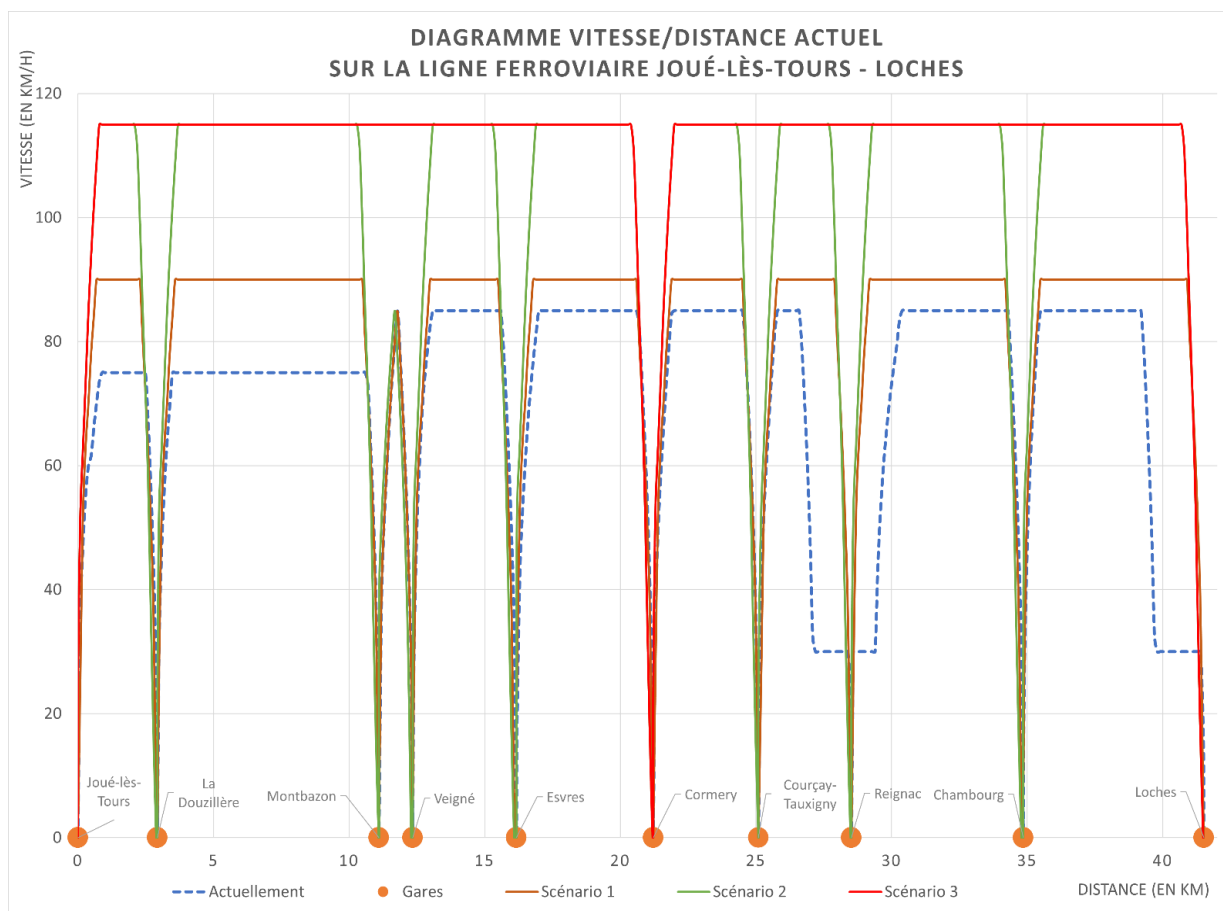
Annexe 1 : Investissements (en valeur) dans les différentes infrastructures linéaires en France, Source : CGEDD, 2015

Annexe 2 : Fréquentation en gare (gares de la ligne Joué-lès-Tours – Loches) en 2021

Nom de la gare	Code UIC	Code postal	Segmentation DRG	Total Voyageurs 2021
Loches	87571471	37600	b	191929
Cormery	87571430	37320	b	109099
Joué-lès-Tours	87571885	37300	c	44320
Esvres sur Indre	87571422	37320	c	22226
Reignac-sur-Indre	87571455	37310	c	18956
Veigné	87571414	37250	c	9318
La Douzillière	87009696	37300	c	9147
Montbazon	87571406	37250	c	7251
Courcay - Tauxigny	87571448	37310	c	2941
Chambourg-sur-Indre	87571463	37310	c	1974

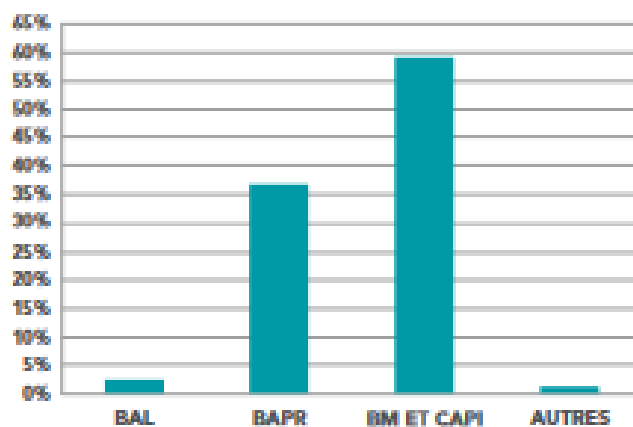
Annexe 2 : Fréquentation dans les gares de la ligne Joué-les-Tours - Loches, Source : SNCF Data (2021)

Annexe 3 : Diagramme Vitesse/Distance pour l'ensemble des 3 scénarios



Annexe 3 : Comparaison des diagrammes Vitesse/Distance sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches, Antonin Drouet (2023)

Annexe 4 : Part de chaque mode de cantonnement sur les LDFT



Annexe 4 : Part de chaque mode de cantonnement sur les LDFT

BAL : Block Automatique Lumineux

BAPR : Block automatique à permissivité restreinte

BM ou Capi : Block manuel ou assisté par informatique

GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS

AOM : Autorité organisatrice de la mobilité : assure l'organisation du transport urbain sur son territoire

AOT : Autorité organisatrice des transports : assure l'organisation du transport non urbain (cars et trains régionaux) sur son territoire. Les régions sont depuis 2017 autorités organisatrice des transports ferroviaires régionaux (LDFT par exemple)

Cantonnement : Nom du moyen assurant l'espacement des trains circulant sur la même voie ferrée. Un canton est une portion qui n'admet qu'un seul train à un instant donné : le signal se ferme quand le train pénètre dans un canton et il s'ouvre quand le train quitte le canton, permettant à un autre train d'y accéder.

Déclivité : Inclinaison que présente une route ou une ligne de chemin de fer

Dévers : Angle formé par le plan de symétrie d'un véhicule et le plan perpendiculaire à la voie ferrée. C'est également le nom du rehaussement donné, dans une courbe, à la file de rails extérieure par rapport à la file de rail intérieure

DRR : Document de référence du réseau : document établi chaque année par SNCF Réseau et qui sert de référence contractuelle à l'utilisation du réseau ferré français

Fret ferroviaire : Transport ferroviaire des marchandises

Halte ferroviaire : Arrêt d'une ligne ferroviaire qui ne possède pas nécessairement une infrastructure d'accueil de voyageurs (gare)

ICV : Indice de consistance des voies qui sert à évaluer le vieillissement du réseau ferré français

ILT : Infrastructures linéaires de transport

Intermodalité : Possibilité donnée à un usager de changer de mode de transport au sein d'un même trajet

LDFT : Ligne de desserte fine du territoire : Ligne appartenant à la catégorie 7, 8, ou 9 du classement UIC des lignes ferroviaires

LGV : Ligne à Grande Vitesse : Lignes ferroviaires conçues pour permettre la circulation à très grande vitesse (>250 km/h)

LPV : Limitation permanente de vitesse : nom donné aux limitations de vitesse présentes sur une ligne ferroviaire de façon permanente à cause de l'état de la voie ou de la présence d'un ouvrage d'art particulier

LTV : Limitation temporaire de vitesse : nom donné aux limitations de vitesse présentes sur une ligne ferroviaire de façon temporaire à cause de travaux ou autres causes de ralentissements temporaires de vitesse

Modernisation : Travaux permettant d'améliorer l'état de la voie ferrée

Nodal : Qui renvoie à la notion de nœud, le nœud pouvant être défini dans le domaine ferroviaire comme un point d'arrêt ou une intersection entre deux lignes ferroviaires

Pérennisation : Travaux consistant à rallonger la durée de vie d'une ligne ferroviaire (sans améliorer ses performances)

PK : Point kilométrique : repère kilométrique permettant de localiser avec précision les gares et les lieux remarquables d'un réseau ferroviaire

PN : Passage à niveau : croisement (à la même hauteur) entre une infrastructure routière et une infrastructure ferroviaire

Régénération : Nom généralement donné aux travaux de renouvellement ou de pérennisation d'une ligne ferroviaire

RFN : Réseau ferré national qui comprend l'intégralité des lignes et des infrastructures ferroviaires françaises

RVB : Renouvellement voie ballast : Renouvellement complet d'une voie ferrée

SAL : Signalisation automatique lumineuse : passages à niveau automatiques

Sillon horaire : Nom donné à la circulation d'un train à un horaire donné sur un itinéraire donné

Suite rapide : Unité de production permettant une pose entièrement automatique et en continu de la voie ferrée lors de travaux de type RVB

Superstructure : L'infrastructure, est la plateforme de la voie, sur laquelle on pourrait aussi bien implanter une voie routière, tandis que la superstructure est constituée par la voie ferrée proprement dite (rails et traverses).

TCSP : Transports en commun en site propre : ce sont les transports en commun ayant leurs propres voies réservées

TER : Transport express régional : marque commerciale de SNCF Voyageurs exploitant principalement les petites lignes du réseau ferré français

UIC : Union internationale des chemins de fer : association internationale regroupant les entreprises ayant une activité dans le domaine ferroviaire.

UTP : Union des transports publics et ferroviaires : syndicat professionnel regroupant les entreprises de transport public urbain de voyageurs en France (RATP, SNCF, Keolis, ...)

Vitesse commerciale : Vitesse moyenne de circulation d'un point A à un point B sur un système de transport du point de vue de l'utilisateur

Vitesse de croisière : Vitesse maximale atteinte par un train sur une ligne ferroviaire

Vitesse nominale : Vitesse de circulation maximale autorisée pour un train sur un tronçon

Voie ferrée : Superstructure ferroviaire qui est un chemin composé de rails et de traverses et permettant la circulation de trains

Directeur de recherche : Hervé Baptiste

Antonin Drouet
PFE/DAE5
UIT/RESEAU
2022-2023

Comment augmenter l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire ?

Résumé : Les lignes de desserte fine du territoire sont les lignes secondaires non structurantes à faible trafic du réseau ferré national français. Aujourd'hui, elles représentent 42% du linéaire ferroviaire français, soit plus de 12 000 km de lignes. Ces petites lignes sont essentielles, répondant pour la majorité d'entre elles au motif principal de déplacement des Français : le déplacement domicile-travail, tout en participant au report modal nécessaire pour la transition écologique des mobilités. Pourtant, les lignes de desserte fine sont vieillissantes, très majoritairement à voie unique, non électrifiées et souvent dotées de systèmes d'exploitation offrant de faibles capacités. Ces petites lignes subissent alors des limitations permanentes de vitesses ou des fermetures de lignes et leur attractivité est en constante diminution. Mais alors comment améliorer l'attractivité de ces petites lignes ferroviaires ? L'objet de cette recherche est d'étudier les leviers infrastructurels qui ont un impact sur les performances d'une ligne de desserte fine du territoire, avec l'objectif de rendre celle-ci plus attractive. Les leviers infrastructurels sont ensuite appliqués au cas d'étude de la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches, ligne de desserte fine du territoire à voie unique à enjeu majeur pour la région Centre-Val de Loire.

Mots Clés : Ferroviaire, Attractivité, Desserte fine, Infrastructure, Performance, Matériel roulant, Voie ferrée, Vitesse commerciale, LDFT, Réseau ferré national, Ouvrages d'art, Gares, Passages à niveau, SNCF, Infrastructure nodale, Infrastructure linéaire.