

Projet de Fin d'Études (PFE) 2023-2024

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
Tours-Loches**

**Antoine Szczepaniak
2023/2024**

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. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

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 tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers mon directeur de recherche, Hervé Baptiste, pour sa guidance éclairée, sa patience et son engagement.

Mes remerciements s'étendent également à mon encadrant professionnel, Karima Khadir, pour son accompagnement, ainsi qu'à Fabien Jimenez pour ses précieux conseils et le temps qu'il m'a accordé pour répondre à mes interrogations. De manière générale, je remercie l'ensemble de mes collègues de la direction territoriale de SNCF Réseau pour leur sympathie et les connaissances qu'ils m'ont transmises.

Un merci particulier à ma famille et à mes amis qui ont été une source inépuisable d'encouragements, de réconfort et de compréhension tout au long de cette période intense.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....8

PARTIE 1 : L'ATTRACTIVITE D'UNE LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE.....10

- A. LES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE 10**
 - 1. L'IDENTIFICATION DES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE 10
 - 2. L'IMPORTANCE DES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE 11
- B. L'ATTRACTIVITE D'UNE LIGNE FERROVIAIRE**
 - 1. L'ATTRACTIVITE D'UN SYSTEME DE TRANSPORT
 - 2. LES FACTEURS D'ATTRACTIVITE
 - 3. LA FREQUENCE COMME FACTEUR D'ATTRACTIVITE

PARTIE 2 : LES FACTEURS D'AUGMENTATION DE LA FREQUENCE SUR UNE LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE

- A. INFRASTRUCTURE NODALE ET INFRASTRUCTURE LINEAIRE**
 - 1. L'INFRASTRUCTURE LINEAIRE DE TRANSPORT
 - 2. L'INFRASTRUCTURE NODALE DE TRANSPORT
 - 3. L'INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT FERROVIAIRE
- B. LES LEVIERS D'AUGMENTATION DE LA FREQUENCE**
 - 1. LES SYSTEMES D'ESPACEMENTS DES TRAINS, ELEMENT DE BASE DE LA SECURITE FERROVIAIRE
 - 2. LES REGIMES D'EXPLOITATION

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

- A. LA LIGNE JOUE-LES-TOURS-LOCHES**
 - 1. LA LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS – LOCHES
 - 2. L'ETAT DE LA LIGNE FERROVIAIRE
- B. LES POSSIBILITES D'AMELIORATION DE LA LIGNE**
 - 1. UN NOUVEAU SYSTEME D'EXPLOITATION
 - 2. LIMITES DE CE SYSTEME
 - 3. LES AUTRES PERSPECTIVES D'AMELIORATION DES LIGNES DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : MODE DE CLASSEMENT UIC

FIGURE 2 : KILOMETRAGE DU RESEAU FERRE NATIONAL PAR CATEGORIE UIC

FIGURE 3 : CLASSEMENT DES SECTIONS ELEMENTAIRES DU RESEAU FRANÇAIS SELON LES GROUPES UIC

FIGURE 4 : CYCLE DE LA QUALITE DE SERVICE

FIGURE 5 : FAMILLES DE CRITÈRES SELON LA NORME EN 13 816

FIGURE 6 : GARES ET HALTES FERROVIAIRES D'INDRE-ET-LOIRE

FIGURE 7 : SCHEMA RISQUE DE RATRAPAGE

FIGURE 8 : SCHEMA FONCTIONNEMENT DU BAL

FIGURE 9 : CAPACITE D'UNE LIGNE EN FONCTION DU REGIME D'EXPLOITATION

FIGURE 10 : TABLEAU RECAPITULATIF DES SIGNALISATIONS POUR LDFT

FIGURE 11 : LIGNE FERROVIAIRE JOUE-LES-TOURS - LOCHES

FIGURE 12 : HORAIRES DES TRAINS ENTRE TOURS ET LOCHES

FIGURE 13 : HORAIRES DES TRAINS ENTRE LOCHES ET TOURS

INTRODUCTION

Le réseau ferré national (RFN), géré majoritairement par SNCF Réseau, est composé de 27 700 km de lignes exploitées fin 2021 (Autorité de Régulation des Transports, 2022). 15 000 trains circulent chaque jour sur le réseau ferré français, environ 11 000 sont consacrés aux voyageurs et transportent près de 5 millions de voyageurs par jour, le reste des trains concerne majoritairement le transport de marchandise, également appelé fret (SNCF, 2021). Le réseau ferré français est aujourd'hui vieillissant avec un âge moyen des voies de 28 ans, âge moyen en faible progression depuis plusieurs années, et de petites lignes ferroviaires appelées lignes de desserte du territoire (LDFT) subissent des fermetures fréquentes, depuis 2019, 640 km de voies de petites lignes ont été fermées, cela représente 1,3 % du RFN (Autorité de Régulation des Transports, 2023a).

Un rapport de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne a été publié en 2005, ce rapport fait l'expertise de l'état du réseau ferré national Français. Dans cet audit, de nombreux thèmes sont abordés, l'âge et l'état des voies constitue une partie à part entière. Il est souligné que le patrimoine ferroviaire français est en moyenne plus vieux que dans d'autres pays européens. Le professeur Rivier souligne également le fait qu'en France, au cours des 40 dernières années, les lignes secondaires ont été moins durement touchées par des suppressions par rapport aux autres pays européens. D'un point de vue socio-économique, l'existence des lignes secondaires ne se justifiait plus ces dernières décennies (Rivier R., Putallaz Y., 2005).

Aujourd'hui, il existe une grande diversité des modes de transports, allant du ferroviaire aux modes de mobilités dits « *actifs* » en passant par l'automobile ou d'autres transports en commun. C'est dans cette mesure que le ferroviaire est en concurrence directe avec de nombreux autres modes de déplacement. Néanmoins le contexte actuel de dérèglement climatique implique une augmentation de la part modale des transports en communs au détriment des modes de transports individuels polluants (Baldasseroni et al, 2022). Le secteur des transports est le 1^{er} secteur émetteur de gaz à effet de serre en France, à lui seul il représente 30 % des émissions. La part modale du ferroviaire est estimée à 8,6 % pour le transport de voyageurs et 10,7% pour le transport de marchandises (Autorité de Régulation des Transports, 2022).

La décarbonisation des modes de transports est évoqué dans la loi d'orientation des mobilités (LOM) du 24 décembre 2019 (LOI n° 2019-1428). La LOM vise à remédier au manque de moyens de transport dans de nombreuses régions, luttant contre l'injustice et l'assignation à résidence ressenties par les citoyens, en particulier ceux dépendant exclusivement de leur voiture individuelle, impactant ainsi leur pouvoir d'achat. Elle répond également à l'urgence environnementale en encourageant des modes de déplacement plus durables, rééquilibre les investissements en s'éloignant de la concentration sur les grands projets tels que le TGV au détriment des besoins quotidiens, et soutient la révolution en cours dans les transports, favorisant l'innovation et l'émergence de nouvelles solutions de mobilité. Le transport

ferroviaire permettrait alors de répondre aux différents enjeux promulgués par cette loi (LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (1)).

Le développement du réseau ferroviaire et l'augmentation de son attractivité exigent des améliorations de l'infrastructure ferroviaire. Dans cette étude, notre focalisation se porte sur les lignes de desserte fine du territoire, explorant les moyens d'optimiser leur attractivité par le biais de leviers infrastructurels. Afin de relever ce défi de recherche visant à accroître l'attrait de ces lignes, nous adoptons initialement une méthodologie particulière sous la forme d'une revue de littérature. Cette démarche consiste à répertorier divers articles et écrits existants relatifs à notre sujet d'étude. La revue de littérature nous permet ainsi de faire le point sur les connaissances actuelles et les réponses formulées concernant notre sujet, tout en soulignant ses limites. Elle sera mobilisée au sein des deux premières parties de cette recherche.

La première phase de l'étude vise à définir le sujet de recherche, en particulier en ce qui concerne la clarification du concept de lignes de desserte fine du territoire. Elle cherche également à expliquer l'importance de ces lignes et à établir les facteurs d'attractivité d'une ligne ferroviaire. La deuxième phase se concentrera sur l'analyse des facteurs et des leviers infrastructurels qui peuvent être mobilisés pour améliorer l'attrait d'une ligne ferroviaire. Enfin, la troisième et dernière partie sera dédiée à l'application de ces leviers sur le cas d'étude spécifique de la ligne de desserte fine du territoire Joué-lès-Tours – Loches.

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

A. Les lignes de desserte fine du territoire

Dans ce document, nous avons fait le choix d'étudier les lignes de desserte fine du territoire (LDFT), ces « *lignes secondaires* » permettent un maillage efficace du territoire (SNCF, 2021). Cette appellation est à l'origine de la SNCF, en effet il était important de catégoriser les différentes lignes ferroviaires françaises selon les types d'utilisation. Nous allons maintenant voir quels sont les caractéristiques de ces lignes de desserte fine du territoire.

1. L'identification des lignes de desserte fine du territoire

La SNCF définit les lignes de desserte fine du territoire comme les lignes appartenant à la catégorie 7, 8 ou 9. Ces chiffres correspondent aux différentes catégories du classement UIC (Union Internationale des Chemins de fer), ce classement est en réalité un indicateur de sollicitation qui permet de distinguer des catégories de lignes sur le réseau ferré. La méthode de calcul se trouve sur la figure ci-dessous.

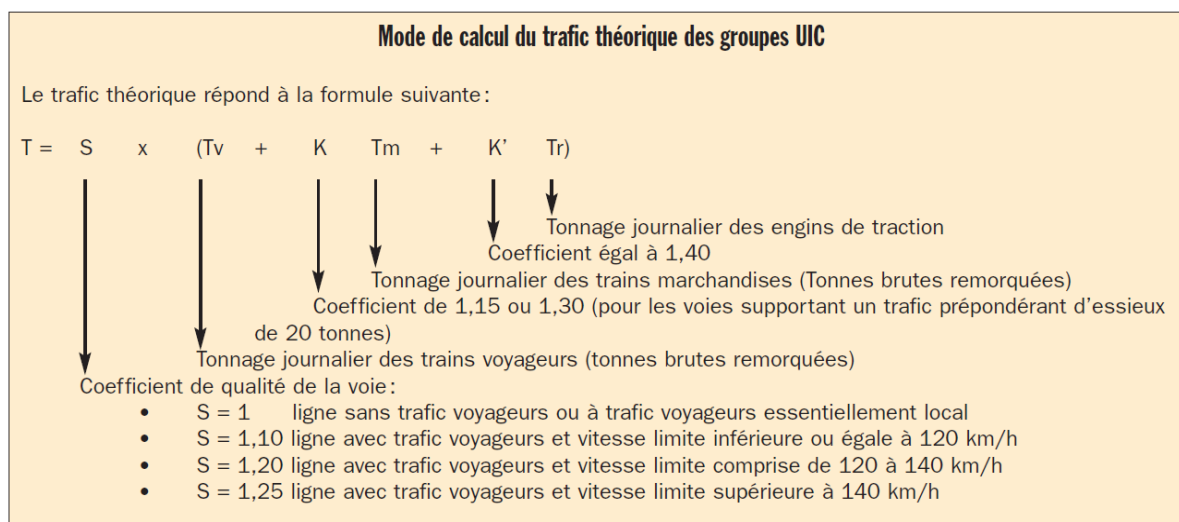


Figure 1 : Mode de calcul du classement UIC, Source : Pierre-Henri Emangard, 2005

Cette formule permet de déterminer une sollicitation en calculant un trafic théorique, ce dernier dépend de différents facteurs comme la vitesse, le tonnage et la fréquence. En fonction du résultat du calcul chaque ligne se voit affecté à une des 9 catégories, les catégories 1 à 6 représentent 58 % du réseau, elles sont les lignes dites « *structurantes* » quant aux catégories 7 à 9, ce sont les LDFT. Ces lignes à trafic faible représentent tout de même 42 % du réseau ferré français (SNCF, 2021), à noter que dans les catégories 7 à 9 englobent les lignes avec et sans voyageurs, d'où cette part importante. La majorité de ces lignes sont à voie unique, non électrifiées et de faible capacité en raison des systèmes d'exploitation

(signalisation). Une autre utilité de ce classement est d'évaluer l'usure et le besoin de maintenance pour chaque ligne.

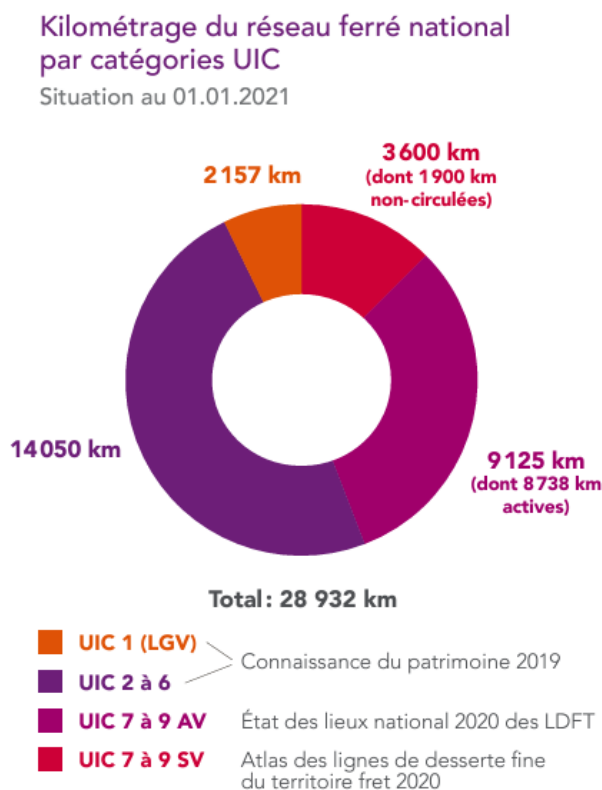


Figure 2 : Kilométrage du réseau ferré national par catégories UIC, Source : SNCF Réseau, 2021

A noter que le classement UIC est biaisé par la présence ou non de fret, en effet, le tonnage journalier des trains de marchandises rentrant en compte dans le calcul, influe fortement sur le trafic théorique. Par exemple la transversale Nantes-Bordeaux est classé en catégorie 6 ou 7 en raison du peu de transport de marchandises sur la ligne (Emangard, 2005).

2. L'importance des lignes de desserte fine du territoire

Malgré la part de 42 % de LDFT, ces dernières représentent finalement 10 % des trains kilomètre produits. Néanmoins la promulgation de la loi LOM du 24 décembre 2019 souligne l'importance des transports en commun ainsi que « *des solutions alternatives à la voiture individuelle* » (LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités, 2019). De plus, le Contrat de Plan Etat-Région (CPER) 2023-2027 énonce clairement la volonté des régions de sauvegarder les LDFT car ce sont des « *lignes ferroviaires du quotidien* ».

Les services TER et Intercités continuent de développer leur offre, avec une augmentation de 8% de l'offre en 2022 par rapport à 2019, année sans COVID. Tout comme l'offre, la fréquentation a elle aussi subie une augmentation. Etant donné que la hausse de fréquentation est supérieure à la hausse de l'offre le taux d'occupation sur les LDFT s'est amélioré pour atteindre 30% (Autorité de régulation des transports. 2023b).

La mise en place de Services Express Régionaux Métropolitains (SERM) dans différentes métropoles françaises passe également par la sauvegarde ou la modernisation de LDFT. Les projets de SERM ayant pour but de « *désenclaver des territoires périurbains et ruraux* », il est donc clair que les LDFT jouent un rôle dans le développement de ses RER métropolitains, (LOI n° 2023-1269 du 27 décembre 2023 relative aux services express régionaux métropolitains (1)).

Sauvegarder les LDFT n'est cependant pas une fin en soi, il faut, comme annoncé dans le CPER 2023-2027, augmenter « *la part modale du transport ferroviaire et collectif dans les déplacements du quotidien* » (Plan d'avenir pour les transports, 2023). Néanmoins, la condition pour augmenter la part modale du ferroviaire est l'augmentation de l'attractivité du ferroviaire dans les déplacements quotidiens.

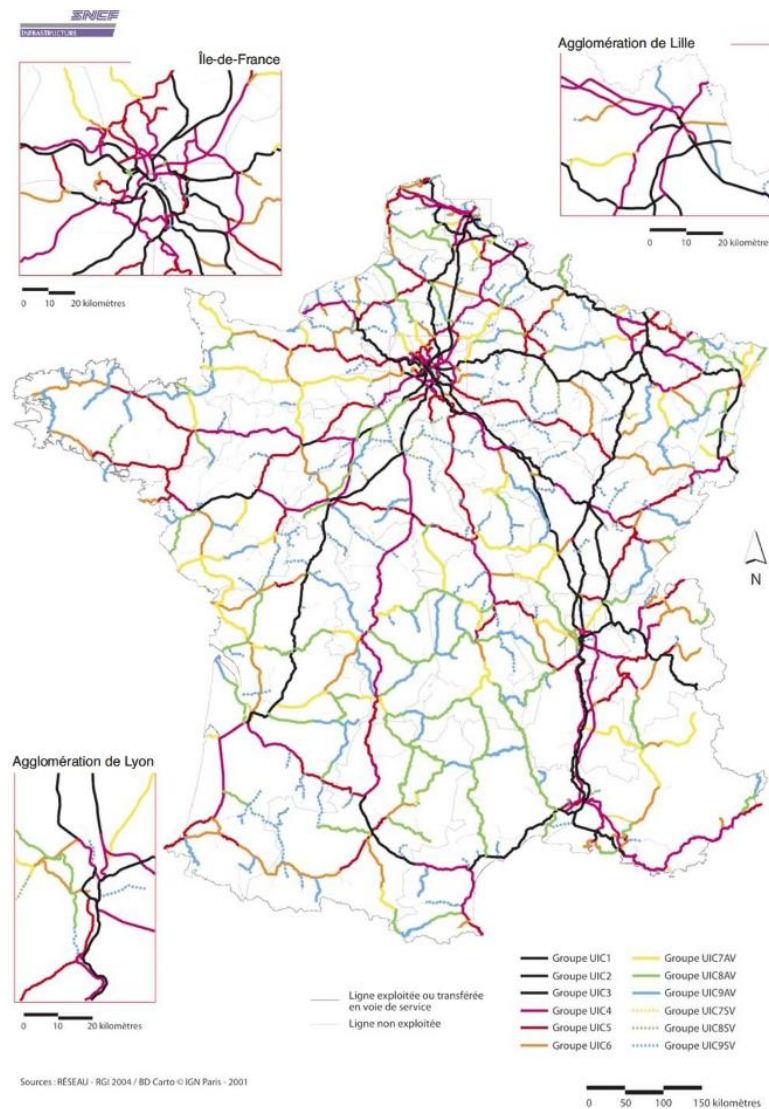


Figure 3 : Classement des sections élémentaires du réseau français selon les groupes UIC, Source : SNC, 2004

B. L'attractivité d'une ligne ferroviaire

L'attractivité d'une ligne ferroviaire façonne la manière dont les voyageurs et marchandises choisissent de se déplacer. L'attractivité, de manière générale, est une notion complexe, l'attraction relève de plusieurs domaines comme la physique, la psychologie ou la sociologie. Nous allons voir dans cette partie quel rôle joue l'attractivité dans le monde des transports, comment peut-elle être quantifiée et finalement donner des facteurs d'augmentation de l'attractivité.

1. L'attractivité d'un système de transport

La définition de l'attraction est la suivante « *action exercée sur les êtres animés par quelque chose qui les attire* », l'attractivité quant à elle est le pouvoir attractif (Larousse, 2023). L'attractivité se décline en deux perspectives : une approche quantitative qui examine la question du point de vue de l'attraction, et une approche qualitative qui l'aborde sous l'angle de l'attrait d'un territoire ou d'un mode de transport dans notre cas (Chaze, 2017).

La complexité de l'attractivité repose dans son approche qualitative, il est en effet simple de mesurer l'attraction démographique de plusieurs villes, mais lorsqu'on prend en compte des ressentis personnels ou des témoignages il n'est pas aisé de quantifier ce sentiment d'attractivité. Depuis plusieurs décennies, l'attractivité revêt une logique de compétitivité. C'est pour cela que l'attractivité est souvent comparée entre les différents modes de transports. On peut définir l'attractivité d'un mode de transports capacité à attirer le plus d'utilisateurs (Géoconfluences, 2022).

Nous poserons donc comme définition de l'attractivité d'une ligne ferroviaire, la capacité de la ligne ferroviaire à attirer les voyageurs. L'attractivité d'une ligne ferroviaire doit donc être évaluée de manière quantitative et qualitative comme expliqué précédemment. Nous allons donc maintenant étudier les différents facteurs pouvant jouer sur l'attractivité d'une ligne ferroviaire.

2. Les facteurs d'attractivité

Les différents modes de transports dépendants tous des voyageurs il est évident que l'attractivité doit en réalité satisfaire les besoins des usagers. Le besoin principal du voyageur est d'être transporté d'un point A à un point B, c'est ce que l'on appelle le service de base, cependant à cela peut s'ajouter des services associés comme l'accessibilité à l'information ou aux infrastructures qui constituent le réseau. Chaque usager possède des critères personnels quant à l'appréciation, ou non, d'un mode de transports, certains usagers privilégieront le prix, d'autres la sécurité et autant d'autres critères que de voyageurs. L'expérience utilisateur étant directement impactée par la qualité du service, on peut déclarer que la qualité du service est liée à l'attractivité.

La qualité de service est un principe subjectif dépendant des utilisateurs ainsi que des modes de transports, afin d'objectiver la notion de qualité de service il existe deux normes quant à la qualité de service dans les transports publics de voyageurs, la norme NF EN 13 816 et la norme NF EN 15 140 créées par l'Association française de normalisation (AFNOR). La Norme européenne NF EN 13 816 définit les exigences pour définir, cibler et mesurer la qualité

de service dans le domaine du transport public de voyageurs (TPV). Elle offre des directives sur le choix des méthodes de mesure correspondantes. Destinée à être utilisée par les acteurs responsables du transport public pour la présentation et le suivi des services, elle sert également aux autorités en charge de la mise en concurrence des services de TPV pour préparer les appels d'offres. L'application de cette norme facilite la traduction des attentes des clients et de leur perception de la qualité en paramètres mesurables, réalistes et conviviaux. La norme reconnaît que, dans la pratique, des personnes physiques ou morales simples, ou plusieurs parties co-responsables de la fourniture d'un service de TPV (comme une collectivité et un opérateur), cherchent à se conformer à ses dispositions. (FNOR, 2002). Quant à la norme NF EN 15 140, elle établit des exigences et des recommandations essentielles pour les systèmes de mesure de la qualité des services de transport public de voyageurs, à mettre en œuvre conformément à l'EN 13 816. Ces exigences et recommandations sont applicables aussi bien aux mesures réalisées par des tierces parties qu'à celles menées par le prestataire du service. (FNOR, 2006).



Figure 4 : Cycle de la qualité de service, Source : Autorité de la qualité de service dans les transports, (s.d.)

Les normes citées précédemment se fondent sur le concept du « cycle qualité de service » (figure 4). Dans la norme EN 13 816, la définition de qualité de service est sous la forme de huit critères de service et de niveaux d'engagement (figure 5) (UTP, 2011).

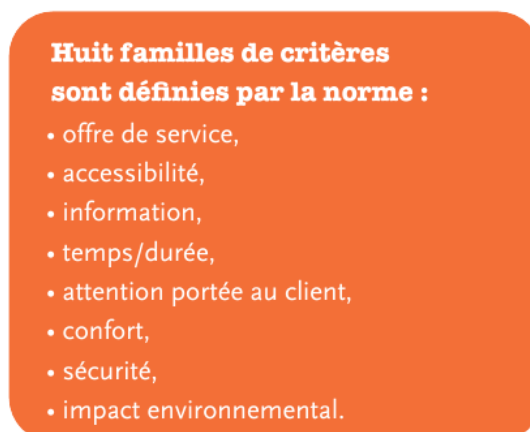


Figure 5 : Familles de critères selon la norme EN 13 816, Source : UTP, 2011

Dans ces familles de critères, il est possible d'intégrer les principaux critères d'évaluation de la qualité du service, ces critères peuvent être les suivants :

- Régularité/Ponctualité
- Sécurité du matériel et accidentologie
- Traitement des réclamations
- Traitement des situations perturbées (robustesse)
- Confort à bord et qualité de conduite
- Qualité de l'accueil

Ces critères ne sont pas les seuls mais peuvent tous appartenir à l'une des 8 familles de critères (CEREMA, 2015). On observe alors que certains critères d'évaluation correspondent à un service, par exemple le traitement des réclamations ou encore le prix. Néanmoins, certains critères relèvent de l'infrastructure, comme la durée de trajet ou encore l'intermodalité.

3. La fréquence comme facteur d'attractivité

Les leviers infrastructurels peuvent jouer sur la fréquence qui elle-même augmente l'offre de service donc la qualité de service, et in fine l'attractivité de la ligne ferroviaire. Dans notre étude nous faisons le choix de ne traiter que des leviers infrastructurels jouant sur la fréquence, ces leviers traitent plus précisément de l'infrastructure et non du matériel roulant.

On définit la fréquence comme le « nombre de fois où une action se produit dans un temps donné » (Larousse,2023). La fréquence relève de la qualité de l'offre, en effet les usagers ont des attentes particulières sur ce sujet, la Fédération nationale des associations d'usagers des transports (FNAUT) estime que les voyageurs souhaitent une amélioration des fréquences à la hauteur de 15% (FNAUT, 2013). Dans notre cas, nous cherchons à augmenter la fréquence en réduisant la durée qui sépare deux trains d'une même ligne. Néanmoins, la durée qui sépare deux trains n'est pas toujours la même, certaines lignes voient leur offre renforcée en heure de pointe. Sur d'autres lignes ferroviaires un cadencement peut être mis en place, un cadencement permet une circulation des véhicules de manière répétitive tout au long de la journée, avec des intervalles de passages réguliers. Cette méthode permet de créer une constance et donc d'offrir de la qualité de service car la les heures de passages étant fixes, le voyageur peut connaître plus facilement les heures de passages (La Vie du Rail,2010).

Une fréquence plus élevée signifie des départs plus fréquents, ce qui permet aux passagers de choisir parmi un plus grand nombre d'horaires. Cela améliore la flexibilité pour les voyageurs, les aidant à planifier des déplacements qui correspondent mieux à leurs besoins. Une fréquence plus élevée permet également aux passagers de choisir parmi un plus grand nombre d'horaires. Cela améliore la flexibilité pour les voyageurs, les aidant à planifier des déplacements qui correspondent mieux à leurs besoins FNAUT, 2013). Il paraît donc clair que l'augmentation de la fréquence de passage des trains permet d'augmenter l'attractivité d'une ligne de desserte fine du territoire.

PARTIE 2 : LES FACTEURS

D'AUGMENTATION DE LA FREQUENCE SUR

UNE LIGNE DE DESSERTE FINE DU TERRITOIRE

Dans cette partie nous étudierons les leviers infrastructurels liés à la fréquence sur une ligne de desserte fine du territoire. Dans un premier temps nous définirons ce qu'est l'infrastructure nodale ainsi que l'infrastructure linéaire puis nous verront les différents leviers existants permettant d'augmenter la fréquence sur le réseau.

A. Infrastructure nodale et infrastructure linéaire

Nous allons tout d'abord définir ce qu'est l'infrastructure nodale et l'infrastructure linéaire puis comment les deux forment l'infrastructure de transport.

1. L'infrastructure linéaire de transport

Les infrastructures linéaires de transport sont définies comme des « *installations fixes destinées au transport de voyageurs ou de marchandises, de longue distance ou de proximité.* » (Commissariat général au développement durable, 2016). Ces infrastructures de transport linéaires revêtent diverses configurations en fonction des besoins spécifiques de transport auxquels elles répondent. Elles peuvent se manifester sous la forme d'un réseau routier comprenant des autoroutes, ainsi que des routes nationales, départementales et communales. D'un réseau ferroviaire, d'un réseau ferré dédié au transport urbain, comprenant les métros et les RER, ou encore un réseau fluvial (Poirier A., 2021).

À une échelle considérable, ces infrastructures se combinent pour constituer un réseau de lignes. Cependant, à des échelles locales et microlcales, une infrastructure linéaire se présente en réalité sous la forme d'une bande, dont la largeur peut varier. Les axes à grande vitesse tels que les autoroutes ou les lignes à grande vitesse (LGV) créent une coupure importante dans le paysage, s'étendant sur plusieurs dizaines de mètres dans certains endroits. Cette zone inclut la chaussée ou les rails, les accotements ou le ballast, ainsi que les bandes enherbées latérales jusqu'aux clôtures le cas échéant. La fréquentation de cette bande augmente avec sa largeur, et à mesure qu'elle s'élargit, la vitesse des véhicules qui y circulent tend à augmenter (Poirier A., 2021).

2. L'infrastructure nodale de transport

Les infrastructures nodales de transports correspondent aux nœuds du réseau de transport, point de liaison entre les différentes infrastructures linéaires. Les nœuds d'un réseau de transports peuvent être des gares, des ports, des aéroports. Ces nœuds peuvent aussi être des points de contact et d'échange entre plusieurs modes de transports.

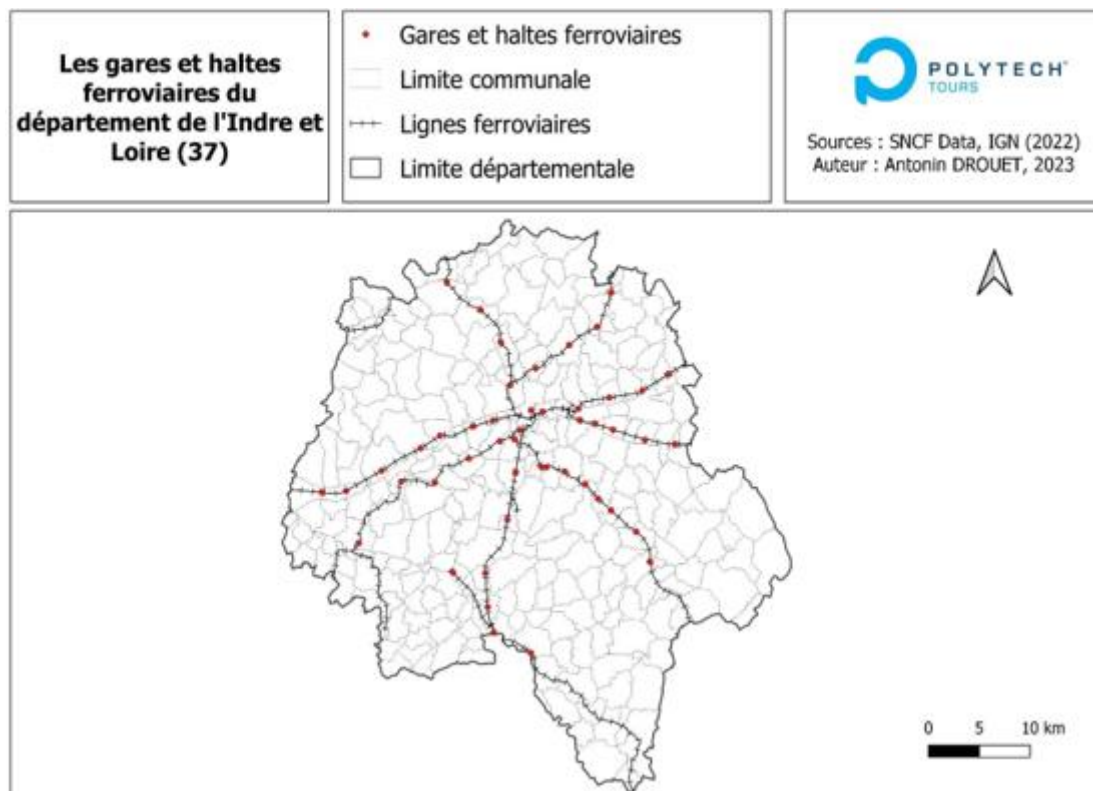


Figure 6 : Gares et haltes ferroviaires-d 'Indre et-Loire Source : Antonin Drouet, 2023

Dans notre cas, l'infrastructure nodale ferroviaire correspond à l'ensemble des gares du RFN, qu'elles soient destinées au transport de marchandises ou de voyageurs.

3. L'infrastructure de transport ferroviaire

L'infrastructure de transport ferroviaire correspond alors à l'agrégation de l'infrastructure linéaire et de l'infrastructure nodale, on obtient donc finalement un ensemble de gares ferroviaires connectés à l'aide de lignes ferroviaires.

B. Les leviers d'augmentation de la fréquence

Différents leviers infrastructurels existant permettent de jouer sur la fréquence, les systèmes d'espacement des trains ainsi que les régimes d'exploitation en font partie. Nous allons donc nous intéresser à ces deux technologies pour comprendre leur fonctionnement ainsi que leur potentiel impact sur la fréquence.

1. Les systèmes d'espacement des trains, élément de base de la sécurité ferroviaire

Le système d'espacement des trains circulant dans la même direction vise à prévenir les rattrapages. Il implique la division de la ligne en plusieurs cantons, chacun étant protégé par un signal d'arrêt. En raison de leur masse importante, de leur vitesse élevée et de la faible adhérence entre le rail et la roue, les trains nécessitent une distance considérable pour s'arrêter. Par conséquent, la distance requise pour un arrêt est généralement plus grande que la portion de voie visible par le conducteur. Dans ces circonstances, un conducteur en

mouvement risquerait de heurter un train arrêté ou circulant à une vitesse inférieure devant lui, faute de pouvoir le percevoir à temps.

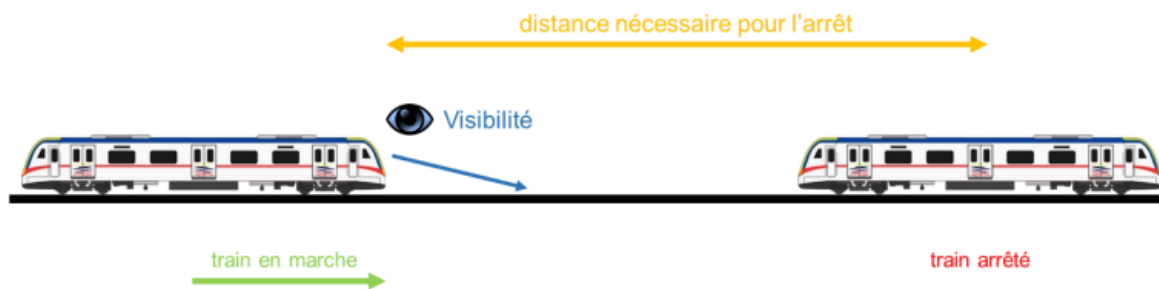


Figure 7 : Schéma expliquant le risque de rattrapage Source : EPSF, 2017

Afin de prévenir le risque de rattrapage entre les trains, un dispositif d'espacement, appelé "cantonnement", est mis en place selon des principes spécifiques. La ligne est divisée en segments appelés "cantons", avec l'entrée de chaque canton normalement contrôlé par un signal. Chaque canton est conçu pour n'admettre qu'un seul train à la fois, et l'accès à un canton occupé est généralement interdit en raison du maintien du signal d'entrée fermé pendant toute la durée de son occupation. Des procédures spécifiques à chaque mode de cantonnement détaillent les conditions dans lesquelles un train peut pénétrer dans un canton occupé et les modalités de franchissement du signal d'entrée du canton (EPSF, 2017).

Les différents modes de cantonnement existants sont :

- le cantonnement téléphonique ;
- le block manuel par appareils (BM) ;
- le block automatique lumineux (BAL) ;
- l'ECTS 1, superposé à la signalisation au sol ;
- l'espacement sur lignes à grandes vitesses (TVM, ECTS 2).

On peut distinguer trois familles différentes, les lignes équipées en cantonnement téléphonique ou en block manuel par appareils, les signaux de cantonnement sont manœuvrés au sol ou depuis des postes par des agents. Sur les sections de lignes équipées en BAL ou BAPR, les signaux de cantonnement se ferment automatiquement dès l'occupation du canton et restent fermés jusqu'à sa complète libération. Pour les sections de lignes à signalisation de cabine, équipées en TVM ou ETCS, les informations liées à l'espacement des trains sont données au conducteur automatiquement directement en cabine de conduite.

Le cantonnement téléphonique est un système de sécurité ferroviaire utilisé sur les lignes à faible trafic. Il repose sur l'échange d'informations par téléphone entre les postes de cantonnement. Lorsqu'un train doit circuler, le poste de départ annonce son arrivée au poste de destination. Le poste de destination rend alors la voie libre au train. Sur les lignes à voie unique, les signaux sont fermés par défaut. Ils sont ouverts au train uniquement après confirmation de la libération de la voie. Pour éviter les erreurs, les dépêches d'annonce et de reddition doivent être répétées intégralement. Les avantages du cantonnement téléphonique sont sa simplicité et son coût économique. L'inconvénient du cantonnement téléphonique est

qu'il repose sur la vigilance humaine. Il peut donc être moins sûr que d'autres systèmes de cantonnement.

Néanmoins il existe un Cantonnement Assisté Par Informatique (CAPI) permettant de remplacer les échanges téléphoniques entre agents de gestion de circulation par des dialogues informatiques pré formatés, dont la traçabilité est assurée, réduisant ainsi les risques d'erreurs humaines.

Le block manuel (BM) par appareils est utilisé en double voie ou en voie unique. Chaque canton est contrôlé par un poste de cantonnement. Un signal situé à l'entrée de chaque canton indique si le canton est libre ou occupé. Les postes de cantonnement sont reliés entre eux par téléphone et par des appareils de block. Les gardes, qui travaillent dans les postes, actionnent les appareils de block et les signaux. En cas de dysfonctionnement du block, les gardes appliquent la procédure du cantonnement téléphonique. L'avantage, par rapport au cantonnement téléphonique, est que les trains actionnent des pédales de voie lors du passage au niveau des postes, des liaisons électriques interdisent alors l'ouverture du sémaphore commandant (feu de signalisation) donc l'entrée d'un canton tant que ce dernier est occupé par le train. Cependant, les cantons peuvent être très longs (de poste à poste) ce qui contraint le débit de la ligne. La nuit, quand il y a moins de circulations, certains postes peuvent fermer et les cantons sont encore plus longs (plusieurs dizaines de kilomètres).

A noter que cet équipement varie en fonction du type de voie, unique ou double, mais le fonctionnement reste de manière générale le même.

Le block automatique se caractérise par un fonctionnement entièrement automatique des signaux de cantonnement. Le changement d'état de ces signaux (fermeture ou ouverture) est provoqué par le passage des circulations, sans intervention humaine. L'état d'occupation de chaque canton est obtenu par un circuit de voie en BAL ou un comptage d'essieux en BAPR.

Le block automatique lumineux (BAL) est un système de signalisation ferroviaire dans lequel les signaux de cantonnement fonctionnent de manière entièrement automatique. Le passage d'un train provoque la fermeture ou l'ouverture des signaux, sans intervention humaine, c'est ce que l'on appelle circuit de voie. Le BAL offre un niveau élevé de sécurité et permet un débit important, mais son installation est coûteuse et nécessite un entretien régulier car le circuit de voie fonctionne à l'aide d'un contact électrique entre la roue et le rail (EPSF, 2017). La portion de ligne entre Tours et Joué-Lès-Tours est équipé d'un système de BAL.

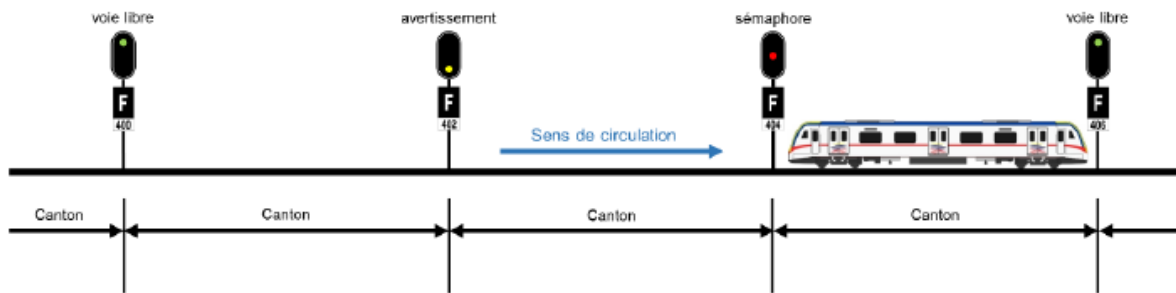


Figure 8 : Schéma expliquant le fonctionnement du BAL Source : EPSF, 2017

Quant au block automatique à permissivité restreinte (BAPR), c'est lui aussi un système de signalisation ferroviaire dans lequel les signaux de cantonnement fonctionnent de manière entièrement automatique. Le passage d'un train provoque la fermeture ou l'ouverture des signaux, sans intervention humaine. Les cantons sont beaucoup plus longs que ceux du BAL, jusqu'à 15 km. Un compteur d'essieux, comme son nom l'indique, permet de compter les essieux et donc de savoir quand l'intégralité du train a franchi la limite du canton. Ce dispositif limite alors le débit par rapport au circuit de voie, mais rend le système moins coûteux à installer et à entretenir. Le BAPR est adapté uniquement aux lignes conventionnelles à trafic moyen.

L'observation de la signalisation au sol placée généralement latéralement à la voie, ne peut être correctement réalisée que si la vitesse n'excède pas 220 Km/h. Au-delà de cette vitesse, les lignes sont dénommées « lignes à grande vitesse » (LGV), et on utilise de ce fait la signalisation de cabine. Les signaux sont remplacés sur la voie par des repères et des jalons, et en cabine par des indications de vitesse limite. De même les indications de sectionnement et de passage pantographe baissé sont reportées en cabine. Le block en signalisation de cabine est caractérisé par des informations liées à l'espacement des trains données au conducteur automatiquement et directement. En TVM, la signalisation est réalisée techniquement par l'envoi d'informations continues au train par le biais des circuits de voie, et par des balises d'informations ponctuelles. En outre un contrôle de vitesse est réalisé, obligeant le conducteur à respecter les indications en cabine, et provoquant le cas échéant le freinage du train (prise en charge). Quant à ETCS, il est le système européen de contrôle commande des trains. La partie bord est interopérable. La partie sol peut être différente selon les pays tout en répondant aux mêmes objectifs de fonctionnalité.

On constate donc qu'il existe différentes méthodes de cantonnement, ces méthodes sont choisies en fonction du trafic d'une ligne car les coûts et les performances varient en fonction du type d'équipement choisi. Actuellement, les LDFT sont équipées à 40 % de BM, 37 % sont en BAPR et 17 % utilisent le cantonnement téléphonique ou le CAPI (SNCF Réseau, 2021). Nous allons maintenant étudier les différents régimes d'exploitations existants

2. Les régimes d'exploitation

Les régimes d'exploitation des lignes sont définis comme l'ensemble des règles d'exploitation, c'est-à-dire des règles appliquées pour organiser et assurer le trafic, propres à

une ligne en fonction des installations mises en œuvre pour en assurer l'exploitation (EPSF, 2017). Les principaux régimes d'exploitation sont : la voie unique et la double voie

Il est important de faire la distinction entre le régime d'exploitation et le nombre de voies sur une plateforme, car il existe des plateformes à deux voies qui ne correspondent pas à une configuration de « double voie ». De même, des plateformes à trois ou quatre voies peuvent constituer une « double voie », tandis que des plateformes à une seule voie ne sont pas nécessairement une « voie unique ».

Les appellations et les définitions de ces régimes d'exploitation revêtent une importance particulière, car elles entraînent des contraintes spécifiques de conduite, que ce soit en situation normale ou dégradée. Ces contraintes incluent des aspects tels que l'implantation des signaux, la marche à vue, ou encore les règles spécifiques associées à certains signaux.

En situation de voie unique, l'organisation de la circulation des trains des deux sens sur une même voie génère un risque particulier de confrontation directe, en plus du risque de rattrapage également présent sur les lignes à double voie.

L'exploitation sous le régime de la « double voie » permet, par conception, d'éviter le risque de confrontation directe, grâce à l'affectation des trains à un sens de circulation spécifique par voie. Cependant, sur certaines lignes, la circulation des trains peut s'effectuer selon l'un des deux régimes suivants : la voie unique ou la voie banalisée.

Les lignes à une seule voie sont principalement exploitées selon les dispositions du régime général d'exploitation de la voie unique, certaines d'entre elles disposant d'un minimum d'équipement de signalisation sont désignées « voie unique à signalisation simplifiée » (VUSS). Il existe d'autres régimes d'exploitation comme la voie unique à trafic restreint ou encore la voie banalisée. Il s'agit d'un mode d'exploitation d'une ligne où les trains des deux sens circulent sur une seule et même voie. Les mesures visant à éviter la rencontre de deux trains en sens contraire ne sont pas automatisées, mais dépendent de procédures devant être mises en œuvre par le personnel en charge de la circulation des trains, voire par le personnel des trains sur des lignes faiblement équipées. Ces dispositions spécifiques sont déterminées par le gestionnaire d'infrastructure. Des documents horaires sont conçus de manière que deux trains de sens contraires se croisent en gare afin de supprimer le risque de nez à nez. Pour le risque de rattrapage différentes méthodes de cantonnement sont utilisées : cantonnement téléphonique, CAPI ou BM (voir partie 2.2).

Certaines lignes à voie uniques sont désignées à la documentation d'exploitation comme « Lignes à voie unique à signalisation simplifiée ». Par rapport au régime général de la voie unique, ce type de ligne se distingue par la mise en œuvre d'un minimum d'équipements. Ils se limitent à une pancarte « gare » à distance et à un repère d'entrée. Dans le cas de ce régime on utilise le cantonnement téléphonique pour gérer le risque de rattrapage.

D'autres lignes à voie uniques sont désignées comme « Lignes à voie uniques à signalisation ordinaire » (VUSO), ce type de régime d'exploitation est similaire au premier dans la méthode de fonctionnement.

Le régime d'exploitation en navette est défini comme un mode de circulation sur une ligne où l'autorisation de déplacement d'un train est conditionnée par le dégagement du train précédemment engagé, et cela se réalise au même point. Ce principe implique qu'une seule circulation est autorisée sur la section de ligne concernée, avec le train retournant à son point de départ, ce qui intrinsèquement réduit les risques de collision. Néanmoins, le programme peut prévoir, grâce à des procédures adaptées, des mouvements de desserte, incluant éventuellement des possibilités de garage, que ce soit en desserte origine-terminus ou en desserte en antenne.

La double voie est un régime d'exploitation d'une ligne à deux voies (ou plus) dans lequel chaque voie est normalement affectée à la circulation des trains dans un sens déterminé (EPSF, 2017). Le risque de nez à nez est donc supprimé et le risque de rattrapage est, tout comme le régime à voie unique, géré par différentes méthodes de cantonnement.

Le choix du régime d'exploitation varie en fonction de l'infrastructure linéaire et des budgets, néanmoins ces régimes influent également sur la capacité de la ligne. En effet en fonction du type de voie la capacité diffère, comme montré sur la figure ci-dessous.

6.1. Capacité de principe VUSS

Sur VUSS, l'attribution de capacité peut atteindre la :

Capacité de principe " n "

Le nombre journalier de sillons pour les deux sens de circulation confondus est de :

- 14 sillons sans dépasser 9 sillons de trains transportant des voyageurs.

Capacité conditionnelle étendue " N "

Si la capacité conditionnelle étendue est autorisée, le nombre journalier de sillons pour les deux sens de circulation confondus est de :

- 18 sillons sans dépasser 12 sillons de trains transportant des voyageurs pour une exploitation avec tous types de trains,
- 14 sillons si la ligne est exclusivement parcourue par des trains de voyageurs.

6.2. Capacité de Principe sur VUSO en cantonnement téléphonique

Sur VUSO, l'attribution de capacité peut atteindre :

La Capacité de principe " n "

Le nombre journalier de sillons pour les deux sens de circulation confondus est de :

- 21 sillons s'il n'y a aucun sillon de trains transportant des voyageurs,
- 19 sillons sans dépasser 11 sillons omnibus de trains transportant des voyageurs,
- 17 sillons sans dépasser 9 sillons de trains transportant des voyageurs s'il y a des sillons autres qu'omnibus.

La Capacité conditionnelle étendue " N "

Si la capacité conditionnelle étendue est autorisée, le nombre journalier de sillons pour les deux sens de circulation confondus est de :

- 22 sillons s'il n'y a aucun sillon de trains transportant des voyageurs,
- 20 sillons sans dépasser 16 sillons de trains transportant des voyageurs pour une exploitation avec tous types de trains.

Figure 9 : Capacité d'une ligne en fonction du régime d'exploitation Source : SNCF Réseau, s.d.

Dans la figure 9, ci-dessus, il est question de sillons, c'est-à-dire « la capacité d'infrastructure ferroviaire requise pour faire circuler un train entre deux points du réseau ferré pendant une période de temps donné », il est défini par un ensemble d'information dont l'itinéraire, le type de convoi et l'horaire (SNCF, s.d.). Il est donc évident que la capacité d'une ligne et la fréquence de passage de trains est corrélée. En effet si une ligne voit sa capacité augmenter et que l'autorité organisatrice de mobilités souhaitent offrir la meilleure offre possible la fréquence s'en verra diminuer car il sera possible de faire circuler plus trains dans une même période, de l'ordre de la journée.

Type d'équipement	Infrastructure		Plan de transport						Exploitation	
	1 voie	2 voies	Niveau de desserte voyageurs				Capacité journalière réglementaire	Politique d'arrêt	Mixité avec fret	Résilience modes dégradés
			4h	2h	1h	>30'				
VUSS	■		■	■			9 à 14 trains/jour	Mixte	Oui	Faible
VUSO	■		■	■			9 à 16 trains/jour	Mixte	Oui	Faible
Navette	■		■	■	■		Selon la durée du trajet	Omnibus	Non	Faible
Block Manuel	■	■	■	■	■		40 trains/jour sans complément de sécurité (pas de limite avec) selon longueur des cantons et la distance entre points de croisement ouverts	Mixte	Oui	Faible
NexTRegio Block à cantons longs, métazones et compteurs d'essieux digitaux	■	□		■	■	■	Une voie : selon la longueur des cantons et la distance entre points de croisement 2 voies : selon la longueur des cantons	Mixte	Oui	Forte
Haut Débit Cantons courts Circuits de voie ERTMS	□	■				■	Une voie : selon la distance de croisement et bloc d'intergare DV : selon configurat° jusqu'à 24 trains/h/sens	Mixte	Oui	Forte

Figure 10 : Tableau récapitulatif des signalisations pour LDFT Source : SNCF Réseau, 2021

La figure 10 permet de comparer les principales caractéristiques des signalisations existantes dans le but de comparer les différentes caractéristiques de chaque équipement. Dans ce tableau il est question de NExTRegio, c'est un système d'exploitation que nous développerons dans la suite de notre recherche. De plus, dans le type d'équipement haut débit, on parle de circuit de voie ERTMS, *European Rail Traffic Management System*. ERTMS représente le système européen unifié de gestion du trafic ferroviaire. Il se compose d'un système de protection des trains interopérable, d'un autopilote et d'une interface radio sol-train. ERTMS est au cœur d'une initiative visant à créer un système ferroviaire européen plus intégré, offrant davantage d'attractivité tant pour les voyageurs que pour le transport de marchandises.

La multiplicité des systèmes d'exploitation implique également une multiplicité des niveaux de desserte. En effet chaque régime d'exploitation vient avec une capacité journalière et un niveau de desserte. Les systèmes VUSS et VUSO ont une capacité journalière proche, la différence se fait grâce au renfort de signalisation pour la VUSO, néanmoins le système fonctionnant avec un cantonnement téléphonique l niveau de desserte est d'un train toutes les deux heures. L'exploitation en navette permet d'augmenter la fréquence de desserte uniquement si la ligne est suffisamment courte. Le BM ne reposant pas uniquement sur des moyens humains permet une augmentation de la fréquence de desserte, le maximum étant d'un train par heure. Finalement les installations haut débit offre la meilleure fréquence de desserte, dans certains cas nous pouvons atteindre la valeur de 24 train/h/sens.

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

Dans cette troisième partie nous allons apporter des modifications à la ligne de desserte fine du territoire Joué-les-Tours-Loches des modifications structurelles permettant d'augmenter l'attractivité de cette ligne ferroviaire. L'objectif est d'estimer les répercussions d'une modernisation de la signalisation à l'aide de NEXTRégio.

A. La ligne Joué-les-Tours-Loches

1. La ligne ferroviaire Joué-les-Tours-Loches

La ligne Joué-Lès-Tours-Châteauroux, identifiée comme ligne n°594 000 du réseau ferré national, a été inaugurée en 1878. Toutefois, le tronçon Loches-Châteauroux est exclusivement dédié aux transports de marchandises, tandis que les services de voyageurs se limitent à Loches. Depuis 1975, le manque d'investissements et le vieillissement de la ligne ont entraîné une nécessaire réduction de la vitesse sur certaines portions (ADTT, 2021). Cette ligne, qui assure une desserte fine du territoire (illustrée dans la figure ci-dessous), présente des infrastructures vieillissantes, elle constitue donc un cas d'étude intéressant.



Figure 11 : Ligne ferroviaire Joué-les-Tours - Loches Source : Antoine Szczepaniak, 2024

En 2019, une décision a été prise pour assurer la durabilité de la ligne, et une enveloppe budgétaire de 40 millions d'euros a été allouée à sa modernisation dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région (CPER) 2015-2020. La ligne a fait l'objet d'une modernisation complète avec un renouvellement de la voie et du ballast (RVB). L'objectif visé était de garantir la pérennité de la ligne, avec le retour aux performances d'avant 2006, éliminant ainsi les limitations de vitesse permanentes fixées à 60 km/h.

Le potentiel de cette ligne est très élevé car on estime 41 900 d'habitants sur l'axe ainsi qu'une part modale très faible, inférieure à 1 %. La fréquentation en 2022 est de 447 252 voyageurs (cars et trains) (Annexe 1).

2. Etat de la ligne ferroviaire

A l'heure actuelle, la ligne Joué-les-Tours-Loches est une ligne à voie unique desservant 10 gares. La ligne est actuellement exploitée en VUSS, ce qui permet offre donc une capacité de 12 sillons voyageurs et 6 sillons de fret, ou 14 sillons voyageurs si aucun fret ne circule sur la ligne (voir figure 9). La gare de Reignac fait office de gare de croisement.

08:04	
09:05	🕒 1h01
Autres itinéraires	
10:10	
11:12	🕒 1h02
12:12	
13:16	🕒 1h04
15:30	
16:32	🕒 1h02
17:51	
18:54	🕒 1h03
18:53	
19:53	🕒 1h00

Figure 12 : Horaires des trains entre Tours et Loches Source : SNCF Connect, 2024

06:17	
07:14	 57 min
Autres itinéraires	
07:20	
08:20	 1h00
09:26	
10:26	 1h00
11:30	
12:30	 1h00
14:46	
15:46	 1h00
17:08	
18:09	 1h01

Figure 13 : Horaires des trains entre Loches et Tours Source : SNCF Connect, 2024

Les deux figures précédentes sont les horaires de trains sur la ligne Tours – Loches, nous avons donc 12 sillons voyageurs par jour comme stipulé dans la figure 9. Les fréquences sont donc de l'ordre de 1 heure en heure de pointe matin (HPM) à Loches ainsi qu'en heure de pointe d'après-midi (HPAM). En heure creuse (HC), la fréquence est d'un train toute les 2 heures environ.

De plus l'exploitation en VUSS (Voie Unique Signalisation Simplifiée), limite également la fréquence, car quand un train se trouve sur la ligne aucun autre train ne peut être envoyé tant que le premier n'a pas atteint Joué-lès-Tours ou Loches. Il peut donc être intéressant de changer de régime d'exploitation ainsi que la signalisation pour augmenter la capacité de la ligne donc la fréquence pour finalement augmenter l'attractivité de cette ligne.

B. Les possibilités d'améliorations de la ligne

Dans cette partie nous allons étudier la mise en place d'un nouveau régime d'exploitation nommé NExTRegio, ainsi que ses conséquences sur la ligne ferroviaire Joué-lès-Tours – Loches tout en soulignant ses limites.

1. Un nouveau système d'exploitation

Pour commencer nous allons présenter ce qu'est le système NExTRegio. Selon SNCF Réseau, « NExTRegio désigne les nouvelles solutions fondées sur une utilisation différente, adaptée au contexte des lignes de desserte fine du territoire, de produits et systèmes déployés

sur le réseau structurant. » (SNCF Réseau, 2021). Ce concept permet d'éviter les coûts associés au développement, à l'obtention d'autorisations et à la maintenance de systèmes spécifiques conçus exclusivement pour ces lignes de desserte fine du territoire. Il s'agit de les ajuster en fonction des exigences particulières des LDFT, tenant compte de critères tels que les performances graduées, l'efficacité des investissements, etc.

NExTRegio repose sur les principes suivants :

- la cohérence avec la politique d'équipement du réseau structurant ;
- une évolutivité vers ERTMS ;
- l'intégration des besoins spécifiques des LDFT ;
- un niveau de sécurité au moins équivalent aux solutions existantes
- une mutualisation totale des systèmes de block d'intervalles et d'enclenchements de gares au sein d'un poste d'aiguillages de nouvelle génération et d'un réseau de communication unique digital ;
- l'usage généralisé de compteurs d'essieux digitaux gérés informatiquement en métazones, permettant une meilleure gestion des dérangements, tant d'améliorer la régularité et la création de cantons intergares de plus de 15 km si le besoin de cantons plus courts n'apparaît pas au programme d'exploitation (contrairement au BAPR traditionnel où cette distance ne doit pas être dépassée).

NExTRegio est donc une nouvelle famille de solutions de block automatique numérique avec possibilité de centralisation du contrôle commande, processus permettant la gestion des trains et des signaux en un seul endroit offrant une supervision plus efficace et une meilleure coordination des trains. SNCF Réseau utilise cette solution de modernisation dans les projets de renouvellements des installations existantes du fait de leur obsolescence, les projets de développement des capacités au-delà de ce que permettent les installations existantes de cantonnement téléphonique ou BM, ainsi que dans des projets de réouverture de ligne (SNCF Réseau, s.d.). Nous sommes donc dans le bon domaine de pertinence car nous souhaitons augmenter la capacité de la ligne.

Nous avons fait le choix de NExTRegio à l'instar d'autres systèmes d'exploitation pour différentes raisons. Nous avons estimé que la VUSS et la VUSO sont des solutions obsolètes et inadaptées à nos besoins fonctionnels, tout comme le block manuel (BM). En effet ces systèmes reposent sur le facteur humain et c'est ce dernier qui est limitant dans le fonctionnement du régime d'exploitation. Quant aux équipements de haut débit, c'est une solution surdimensionnée par rapport aux besoins des LDFT, ces équipements conviennent pour les LGV (Lignes à Grande Vitesse). Nous n'optons pas non plus pour le passage à des équipements de type BAPR car cette solution est non compatible avec la volonté de la SNCF de supprimer les transmissions par câbles de cuivre.

Il n'est pas aisé de quantifier précisément l'amélioration de la capacité de la ligne mais on peut espérer atteindre un niveau de desserte voyageurs de l'ordre de l'heure en HC. La capacité ferroviaire journalière devra donc dépasser l'actuelle qui est de 12 sillons voyageurs par jour. La capacité de la ligne devrait donc passer à 20 sillons voyageurs par jour, pour cela

la mise en place d'un point de croisement à la gare de Reignac. Nous devrions alors avoir la capacité d'augmenter l'offre de service de 66.6 %.

Néanmoins, l'installation de NExTRegio permet également une baisse des coûts notamment grâce à la centralisation du contrôle commande qui devrait réduire les coûts liés aux agents de commande qui ont la charge du cantonnement téléphonique actuellement.

Il est à noter que le passage en NExTRegio améliore également la performance de la ligne en termes de vitesse commerciale et d'attente en gare pour des croisements car ce système offre une gestion plus efficace des flux.

Un autre scénario pourrait être l'installation d'un block automatique entre Joué-lès-Tours et Reignac, puis l'exploitation en navette sur le reste du parcours serait envisageable, permettant ainsi une desserte toutes les heures vers Loches. L'introduction d'un terminus intermédiaire aurait pour effet de doubler la desserte sur la section périurbaine, transformant ainsi cette portion en une branche du RER tourangeau. Pour optimiser l'exploitation, il est tout aussi impératif que réalisable de relever la vitesse à 100 ou 110 km/h. Cela est réalisable car le profil en courbe le permet, et nécessaire car cela réduirait le temps de parcours entre Tours et Loches. Cette modification permettrait à une rame d'effectuer l'aller-retour en 2 heures, autrement dit, une rame suffirait pour un cadencement toutes les 2 heures, tandis que deux rames seraient nécessaires pour un cadencement horaire. Le renfort périurbain idéal devrait mobiliser une seule rame pour une rotation toutes les heures. Bien que Cormery semble difficilement accessible (nécessitant une réduction d'au moins 7 minutes), Esvres pourrait être une alternative viable. Ainsi, avec trois rames, la desserte pourrait offrir 2 trains par heure dans chaque sens sur la zone périurbaine et un train par heure en direction de Loches.

2. Limites de ce système

L'un des avantages de ce système réside dans la centralisation de la commande. Néanmoins, l'intérêt réside dans la possibilité de centraliser la gestion de plusieurs lignes au même endroit, comme à Joué-les-Tours ou Tours, par exemple. Cependant, la ligne Joué-les-Tours – Chinon, actuellement exploitée avec une commande centralisée informatique, ne permet pas d'avoir un seul agent qui régule le trafic des deux lignes en raison des équipements et procédures associés. Pour éviter les risques d'erreur de procédure, il serait nécessaire soit de convertir Joué-les-Tours – Chinon en NExTRegio, bien que l'équipement de cette ligne soit loin d'être obsolète, soit d'avoir deux agents de commande distincts pour gérer les deux lignes.

La plus grande limite de ce système dans notre cas est que la ligne ferroviaire Joué-les-Tours – Loches est très peu empruntée. En effet, la part modale du train sur cet axe est inférieure à 1 %. Les temps de trajet sont presque identiques pour des trajets en cars ou en voiture, mais les coûts sont inférieurs.

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

Parmi les caractéristiques inhérentes aux lignes de desserte fine du territoire, la circulation réduite représente un défi significatif, avec des disparités notables d'un territoire

à l'autre. Environ la moitié de ces lignes est empruntée par moins de 18 trains par jour, ce qui pose des défis spécifiques selon SNCF Réseau en 2021. Cette situation rend les investissements sur l'infrastructure nodale (création de voie, modification de desserte, etc.) et l'infrastructure linéaire (renouvellement de la voie ferrée, automatisation de passages à niveau) onéreux. La perspective de circulations très faibles sur la ligne peut dissuader les bailleurs de fonds, malgré le potentiel de voyageurs existant sur la majorité de ces lignes.

Un autre élément clé, bien que non abordé dans l'étude axée sur l'infrastructure, est le matériel roulant, qui joue un rôle essentiel dans l'accroissement de l'attrait d'une ligne de desserte fine du territoire. La vitesse commerciale dépend directement des caractéristiques du matériel roulant, notamment les puissances d'accélération et de décélération, ainsi que la vitesse maximale de croisière, qui varie en fonction des types de trains.

Par ailleurs, le faible taux d'électrification (15 %) des lignes de desserte fine du territoire constitue un enjeu majeur en termes de performances, limitant la vitesse commerciale sur ces lignes selon SNCF Réseau en 2021. Sur le plan environnemental, dans le contexte de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de matériel roulant à traction thermique émet considérablement plus de CO₂ que son homologue électrique.

Pour résoudre ces problématiques, l'implémentation de solutions de trains légers, alimentés à l'hydrogène ou par batterie, est envisageable pour pallier le déficit d'électrification sur les petites lignes. Cette approche permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en nécessitant des modifications minimales de l'infrastructure des lignes de desserte fine du territoire.

Nous pouvons toutefois espérer que le développement de projets de SERM (Service Express Régional Métropolitain) dans différentes métropoles du territoire contribuera à accroître l'attractivité des LDFT associées. En prenant l'exemple du SERM de Tours, on constate que les diverses LDFT, constituant l'étoile ferroviaire tourangelle, ont fait l'objet d'opérations de modernisation. Ces initiatives visent à court terme à réduire le recours à l'autosolisme et à long terme à influencer les habitudes de déplacement des Français dans leurs trajets quotidiens vers leur lieu de travail.

CONCLUSION :

En conclusion, cette étude et ses résultats démontrent que l'amélioration de la capacité et donc des fréquences est non seulement réalisable à travers l'utilisation de leviers infrastructurels, mais également conseillée. Cette nécessité découle de la transition écologique du secteur des transports et de la mobilité, qui représente la plus grande source annuelle d'émissions de CO₂ en France. Cette transition requiert une promotion du transport de masse, en particulier du transport ferroviaire. Ainsi, la modernisation du réseau ferré français se révèle cruciale, étant donné son vieillissement. En 2021, l'âge moyen des lignes ferroviaires était de 28 ans, et cette situation est encore plus marquée pour les lignes de desserte fine du territoire, classées UIC supérieur à 7, représentant actuellement 42% du réseau ferré national. La modernisation des lignes de desserte fine du territoire joue un rôle essentiel dans l'amélioration de l'attractivité de ces dernières, néanmoins la littérature laisse entendre qu'il n'existe pas de lien clair entre l'attractivité et le report modal. Les LDFT, conçues pour desservir finement le territoire, répondent particulièrement à la principale raison de déplacement des Français aujourd'hui, à savoir les trajets domicile-travail ou domicile-école. Ainsi, investir dans la modernisation de ces lignes représente une opportunité significative pour renforcer l'efficacité du transport ferroviaire et contribuer à la transition vers des modes de déplacement plus durables.

Dans le but d'améliorer l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire, nous mobilisons des leviers infrastructurels visant à améliorer la fréquence des services sur ces petites lignes. Il s'agit essentiellement de moderniser les systèmes d'exploitation et de signalisation, qui peuvent présenter des signes de vétusté sur certaines lignes de desserte fine du territoire. L'exemple concret de la ligne Joué-lès-Tours – Loches illustre la possibilité d'optimiser la fréquence de desserte d'une ligne ferroviaire en utilisant cette approche.

Dans l'ensemble, la revitalisation de l'attrait du réseau ferré français passe par une amélioration de son utilisation et de son optimisation. Cette démarche implique non seulement l'amélioration de l'infrastructure ferroviaire, mais également des avancées dans le matériel roulant, visant à accroître la vitesse de déplacement et à rendre le transport ferroviaire plus respectueux de l'environnement et énergétiquement plus efficient. Parallèlement, le développement des lignes de desserte fine du territoire s'avère crucial, tant pour les voyageurs que pour le fret (transport de marchandises) sur les voies ferrées. Le transfert modal des marchandises depuis les camions, prédominant actuellement en France, vers d'autres modes de transport, constitue un levier majeur pour réduire les émissions de CO₂. Ainsi, l'engagement en faveur de l'amélioration du réseau ferroviaire doit être global et nécessite la participation active d'un éventail d'acteurs, qu'il s'agisse d'entités financières ou partageant des convictions (Autorités Organisatrices de Transport : Région, État, SNCF Réseau, etc.). Enfin, le transfert modal est également tributaire de la mise en place d'une intermodalité intégrée entre tous les modes de déplacement, à toutes les échelles. Ensemble, ces efforts devraient positionner le transport ferroviaire comme le mode de transport du futur : un moyen de déplacement efficace, rapide, à grande échelle, et présentant un impact limité sur l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE :

- Association pour le Développement des Transports Collectifs en Touraine (ADTT). (2021). *Moderniser Tours-Loches, pour des trains plus rapides et plus fréquents*
- Autorité de la qualité de service dans les transports. (S.D.). *La qualité de service*.
- Autorité de régulation des transports. (2022). *Marché français du transport ferroviaire en 2021*
- Autorité de régulation des transports. (2023a). *Marché français du transport ferroviaire, premiers chiffres 2022*.
- Autorité de régulation des transports. (2023b). *Marché français du transport en 2022, l'essentiel*.
- Baldasseroni L., Faugier E., Pelgrims C.. (2022). *Chapitre 3 : Années 1960-... : éclatement et massification des déplacements*. Histoire des transports et des mobilités en France. <https://doi-org.proxy.scd.univ-tours.fr/10.3917/arco.balda.2022.01.0069>
- CEREMA. (2018). Transflash n°412
- Chaze M. (2017). *L'attractivité territoriale : éléments de définition*
- Contrat de Plan Etat-Région, Centre-Val de Loire 2021-2027
- Drouet A. (2023). *Comment augmenter l'attractivité des lignes de desserte fine du territoire ?*
- Emangard, P.-H. (2005). La carte ... du classement des lignes en catégories UIC. *Transports urbains*, N°108, <https://doi.org/10.3917/turb.108.0016>
- Etablissement public de la sécurité ferroviaire. (2017). *Le système d'exploitation SNCF, guide pédagogique*.
- La Vie du Rail. (2010). *Pertinence du cadencement : état des lieux de l'offre et de la demande en France et en Europe*. Ville, rail & transport, n° 490
- LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (1).
- LOI n° 2023-1269 du 27 décembre 2023 relative aux services express régionaux métropolitains (1).
- Norme NF EN 13 816. (2002). AFNOR.
- Norme NF EN 15 140. (2006). AFNOR.
- Plan d'avenir pour les transports. (2023).
- Poiret A. (2021). *Infrastructures linéaires de transport*. Géoconfluences.
- Rivier R., Putallaz Y., (2005). *Audit sur l'état du réseau ferré national français*.
- SNCF Réseau. (2021). *Lignes de desserte fine du territoire : Une nouvelle méthode pour les projets de modernisation*.
- Union des transports publics et ferroviaires (UTP). (2011). *Le livre blanc sur la qualité du service*.

ANNEXE :

Annexe 1 : Fréquentation en gare (gares de la ligne Joué-lès-Tours – Loches) en 2022

Nom de la gare	Code UIC	Code postal	Segmentation DRG	Total voyageurs 2022
Joué-lès-Tours	87571885	37300	C	60 999
La Douzillière	87009696	37300	C	9 903
Montbazon	87571406	37250	C	9 855
Veigné	87571414	37250	C	9 969
Esvres-sur-Indre	87571422	37320	C	24 551
Cormery	87571430	37320	B	127 431
Courcay - Tauxigny	87571448	37310	C	3 194
Reignac-sur-Indre	87571455	37310	C	14 273
Chambourg-sur-Indre	87571463	37310	C	2 486
Loches	87571471	37600	B	184 591

Annexe 1 : Fréquentation dans les gares de la ligne Joué-lès-Tours – Loches, Source : SNCF Data 2023

Directeur de recherche : Hervé Baptiste

Antoine Szczepaniak
PFE/DAE5
UIT/RESEAU
2023-2024

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

Résumé : Les lignes de desserte du territoire permettent un maillage du réseau ferroviaire en assurant la connectivité des zones locales et en facilitant la mobilité de des habitants. Ces lignes à faible trafic représentent plus de 12 000 km de lignes, soit 42 % du linéaire ferroviaire français. Ces lignes participent activement au report modal des véhicules personnels vers le ferroviaire dans les déplacements des Français, et permettent ainsi de réduire l'empreinte environnementale du secteur des transports en France. Néanmoins ces lignes sont vieillissantes et leur attractivité s'en voit impactée, les systèmes d'exploitation sont obsolètes l'infrastructure pas toujours en bon état et les temps de trajets sont longs. Dans cette recherche on se demande alors, comment est-il possible d'augmenter l'attractivité de ces lignes de desserte fine du territoire ? Nous répondrons à cette question en utilisant des leviers infrastructurels qui ont un impact sur la capacité de la ligne et donc de la fréquence de passage des trains en gare, permettant ainsi de retrouver une certaine attractivité pour les voyageurs. Nous prendrons finalement l'exemple de la ligne ferroviaire Joué-les-Tours – Loches, ligne de desserte fine du territoire à voie unique non électrifiée récemment modernisée, qui représente une des huit branches de l'étoile ferroviaire tourangelle, et axe important du futur Service Express Régional Métropolitain de Tours.

Mots Clés : Ferroviaire, Attractivité, Desserte fine, Infrastructure, Capacité, Fréquence, Exploitation, Signalisation, SNCF, NExTRegio