

SOMMAIRE

Formation par la recherche	4
Remerciements	5
Table des figures	7
Table des abréviations	8
Introduction	9
<i>Avant-propos</i>	9
<i>Introduction</i>	9
1. Les espaces périurbains et ruraux	11
1.1. <i>Les limites géographiques</i>	11
1.2. <i>La mobilité dans ces espaces</i>	13
1.3. <i>Les usagers dans ces espaces</i>	15
2. Les critères de succès des gares	18
2.1. <i>Les indicateurs de bon fonctionnement d'une gare</i>	18
2.1.1. <i>Les indicateurs exogènes</i>	19
2.1.2. <i>Les indicateurs endogènes</i>	22
2.2. <i>Les critères de qualité des indicateurs</i>	24
3. La méthode d'évaluation	28
3.1. <i>Le choix de la démarche</i>	28
3.1.1. <i>Le modèle de Reilly</i>	29
3.1.2. <i>Le modèle de Huff</i>	30
3.1.3. <i>Le modèle de Stewart</i>	31
3.2. <i>L'élaboration de l'équation</i>	32
3.2.1. <i>Le modèle général et les éléments à insérer</i>	32
3.2.2. <i>Le critère « distance »</i>	33
3.2.3. <i>Le critère « fréquence de l'offre »</i>	35
3.2.4. <i>Les critères de niveau de confort et d'accessibilité</i>	36
3.2.5. <i>La relation finale</i>	37
3.3. <i>L'application en Indre-et-Loire</i>	38
3.3.1. <i>Le choix des zones d'études</i>	38
3.3.2. <i>L'application de l'équation</i>	40
3.3.3. <i>Les limites de l'application</i>	44
Conclusion	46
Bibliographie	47
Annexes	50
Annexe 1 : <i>les communes de l'aire urbaine de Tours</i>	50
Annexe 2 : <i>le plan du réseau Remi</i>	51
Annexe 3 : <i>le plan du réseau TER Centre</i>	52
Annexe 4 : <i>les détails des calculs réalisés lors de l'application</i>	53

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : carte de zonage des aires urbaines et définitions (INSEE, 2010)	12
Figure 2 : graphique de l'évolution de l'âge moyen des voies de chemin de fer entre 1990 et 2017 (Spinetta, 2018)	14
Figure 3 : tableau des trafics et circulations ferroviaires (Spinetta 2018 : SNCF Réseau, ARAFER)	14
Figure 4 : graphique du salaire net horaire moyen en euros selon la catégorie socioprofessionnelle en 2017 (INSEE : Déclaration annuelle de données sociales et déclarations sociales nominatives).....	16
Figure 5 : graphique de répartition des motifs d'utilisation du train en France (Bahn Ville, 2002)	17
Figure 6 : arborescence des critères - Eléonore POCHERIAU.....	19
Figure 7 : graphique répartition des temps d'accès à la station ferroviaire (Bahn Ville, 2002)	20
Figure 8 : graphique perception de la compétitivité du moyen de transport selon les générations (Bahn Ville, 2002)	25
Figure 9 : tableau de choix des critères de succès - Eléonore Pocheriau	26
Figure 10 : schéma part modale du train estimée selon le niveau de l'offre (Bahn Ville, 2002)	26
Figure 11 : schéma récapitulatif des leviers choisis pour l'équation - Eléonore Pocheriau	27
Figure 12 : schéma hypothèse fondamentale 1 (Grasland, 1999)	29
Figure 13 : schéma hypothèse fondamentale 2 (Grasland, 1999)	29
Figure 14 : schéma hypothèse fondamentale 3 (Grasland, 1999)	29
Figure 15 : tableau avantages/inconvénients du modèle de Reilly - Eléonore POCHERIAU	30
Figure 16 : tableau avantages/inconvénients du modèle de Huff - Eléonore POCHERIAU.....	31
Figure 17 : tableau avantages/inconvénients du modèle de Stewart - Eléonore POCHERIAU	32
Figure 18 : graphique des flux DT selon la distance à l'origine - Eléonore POCHERIAU.....	34
Figure 19 : graphique du potentiel selon la relation $P^*(1/D^2)$	35
Figure 20 : graphique du potentiel selon la relation $P^*(F/D^2)$	36
Figure 21 : tableau de valeur alpha et gamma - Eléonore POCHERIAU	37
Figure 22 : carte des flux domicile-travail - INSEE 2015, Eléonore POCHERIAU	39
Figure 23 : carte des temps de parcours en train jusque Tours (AUAT, 2017)	40
Figure 24 : tableau potentiel de clientèle Azay-le-Rideau/Tours - Eléonore POCHERIAU	41
Figure 25 : graphique potentiel de clientèle selon la distance pour la ligne Azay-le-Rideau/Tours – Eléonore POCHERIAU	42
Figure 26 : tableau potentiel de clientèle fictif Azay-le-Rideau/Tours - Eléonore POCHERIAU	42
Figure 27 : tableau potentiel de clientèle Langeais/Tours - Eléonore POCHERIAU	43
Figure 28 : graphique potentiel de clientèle selon la fréquence de l'offre pour la ligne Langeais/Tours – Eléonore POCHERIAU	43
Figure 29 : tableau potentiel de clientèle Bléré/Tours - Eléonore POCHERIAU	44

TABLE DES ABREVIATIONS

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

PFE : Projet de Fin d'Études

TER : Transport Express Régional

TGV : Train à Grande Vitesse

PTU : Périmètre de Transport Urbain

UIC : Union International des Chemins de fer

SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français



INTRODUCTION

Avant-propos

Ce rapport est réalisé dans le cadre du « Projet de Fin d'Études » proposé par l'école Polytech Tours lors des 4^{ème} et 5^{ème} années en cycle ingénieur de la filière « Génie de l'Aménagement et de l'Environnement ». Les lectures bibliographiques ont été parcourues au second semestre de l'année scolaire 2019-2020, accompagnées d'un état de l'art rédigé en collaboration avec ma camarade de classe Vahea Reynier. Ce premier abord a permis une bonne définition du sujet et une acquisition de nombreuses connaissances dans le domaine des transports, du ferroviaire et de l'urbain. La poursuite du travail s'est faite individuellement de septembre 2020 à janvier 2021. Le contexte de pandémie Covid-19 et le confinement associé n'ont pas permis la réalisation des études de terrain initialement prévues ; la partie d'application en Indre-et-Loire est donc d'ordre théorique. L'ensemble du travail a été suivi par Monsieur Hervé Baptiste, Maître de conférences en aménagement et urbanisme.

Introduction

Depuis les années 1960, le processus d'urbanisation s'est développé d'abord dans les villes les plus attractives, puis s'est généralisé à l'ensemble du territoire national. Le sujet de ce PFE traite des espaces périurbains et ruraux mais aussi des déplacements ferroviaires journaliers associés au sein de ces lieux. Depuis les années 2000, les Régions mettent en avant le développement de l'offre de transport pour valoriser ces nouvelles dessertes périurbaines, en incluant les services ferroviaires. Cela permet d'intensifier la relation entre les transports et l'urbanisme. Cependant, les véhicules motorisés sont encore leader sur le marché des transports dans ces espaces.

Ce présent rapport explicite une méthode permettant de calculer un potentiel de client pour les gares et les lignes ferroviaires dans les espaces ruraux et périurbains afin de favoriser le report modal de la voiture vers le train. Cette situation est intéressante pour les déplacements domicile-travail car ce sont les plus nombreux et les plus quotidiens. Le terme « potentiel de clientèle » exprime le fait d'avoir une possibilité d'accueillir de nouveaux clients pour un service, parfois appelés « prospects ». Ces nouveaux clients s'ajouteraient aux actuels pour promouvoir les transports ferroviaires dans les espaces périurbains et ruraux. Il s'agit donc d'une quantification de personnes qui vont donner un poids supplémentaire aux services ferroviaires. Afin de réaliser cette estimation, une méthode va être déployée en s'inspirant d'équations existantes, à adapter au

cas d'étude puis testées de façon théorique, pour les lignes ferroviaires et gares d'Indre-et-Loire. Ce département appartient à la région Centre-Val-de-Loire, la ville de Tours en est la Préfecture. L'aire urbaine de cette métropole comportant 140 communes, constituera notre zone d'étude pour le projet. En effet, les villes incluses dans ce territoire ont une forte dépendance à la ville-centre Tours ce qui rend pertinent l'étude des flux domicile-travail quotidiens. L'échelle de la métropole était trop restreinte par rapport à notre sujet puisque certaines villes limitrophes dépendent aussi de la ville de Tours. De plus, l'aire urbaine renferme plus de communes à identité rurale ou périurbaine. Ainsi, **après avoir dressé un état des lieux de la situation actuelle, que faut-il développer dans les gares de desserte fine et/ou leur commune pour augmenter le potentiel de clientèle ?** Le présent rapport permettra dans un premier temps de dresser une définition complète des espaces périurbains et ruraux, au niveau géographique mais aussi d'identifier les habitants et les mobilités qu'ils renferment. En seconde partie une analyse concernant les indicateurs de succès des gares sera réalisée afin de les définir et de les classer. Certains serviront de levier pour l'équation de détermination d'un potentiel de clientèle détaillée en dernière partie.

Afin de répondre à la problématique, des hypothèses ont été fixées lors de la phase de rédaction de l'état de l'art de ce PFE :

- Plus une gare est **attractive**, plus le **potentiel** de clientèle est **élevé**.
- L'attractivité de la gare repose sur les **services internes** que propose la gare.
- L'attractivité de la gare repose sur les **services externes** que proposent la gare et la commune périurbaine ou rurale.

1. LES ESPACES PERIURBAINS ET RURAUX

Cette première partie a pour but de définir les espaces périurbains et ruraux qui constituent les zones d'étude de ce PFE. Ce sont des zones particulières qu'il faut comprendre et analyser précisément avant de pouvoir étudier les lignes ferroviaires du quotidien et le potentiel de clientèle associé. Ces espaces, qui font le lien entre les villes et les campagnes, seront donc définis de façon géographique, puis les mobilités qui y sont pratiquées seront détaillées. Enfin, la population sera étudiée ; ces personnes constitueront une partie des clients potentiels pour le ferroviaire. Ces différentes définitions vont permettre de contextualiser le travail.

1.1. Les limites géographiques

Depuis 1999, l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques définit un « zonage en **aires urbaines** et aires d'emploi de l'espace rural ». Ce zonage comprend les définitions de pôle urbain, pôle d'emploi de l'espace rural, commune monopolarisée, couronne d'un pôle d'emploi de l'espace rural, commune multipolarisée et autres communes à dominante rurale. De plus, selon l'INSEE, un espace rural est défini comme regroupant « l'ensemble des petites unités urbaines et communes rurales n'appartenant pas à l'espace à dominante urbaine (pôles urbains, couronnes périurbaines et communes multipolarisées). Cet espace est très vaste, il représente 70% de la superficie totale et les deux tiers des communes de la France métropolitaine ».

En 2010, l'INSEE revient sur les définitions et le « zonage en aires urbaines et aires d'emploi de l'espace rural » devient le « zonage en aires urbaines ». Il comprend les définitions de grand, moyen et petit pôle, couronne d'un grand pôle, couronne d'un moyen pôle, couronne d'un petit pôle, commune multipolarisée des grandes aires urbaines, autre commune multipolarisée et commune isolée hors influence des pôles. Une cartographie de ces différents espaces est visible *Figure 1*. L'aire urbaine comprend ainsi le pôle urbain et l'ensemble des communes de sa couronne. Le premier élément fait référence à la ville-centre et aux villes avoisinantes, le tout devant « présenter une zone de bâti continu qui compte au moins 2 000 habitants » (INSEE, 2010) mais aussi être générateur d'un grand nombre d'emplois ; plus ce nombre est grand, plus le pôle est classé comme important. La couronne du pôle, quant à elle, est définie selon le nombre d'actifs. Est considérée comme commune du grand pôle « toute commune ayant au moins 40% de la population résidente bénéficiant d'un emploi dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci » (INSEE, 2010). La notion d'espace rural

disparaît mais reste néanmoins ancrée dans les esprits et le langage comme étant, soit un espace de faible densité, soit un espace où le poids du paysage est supérieur à celui des habitations (INSEE, 2010).

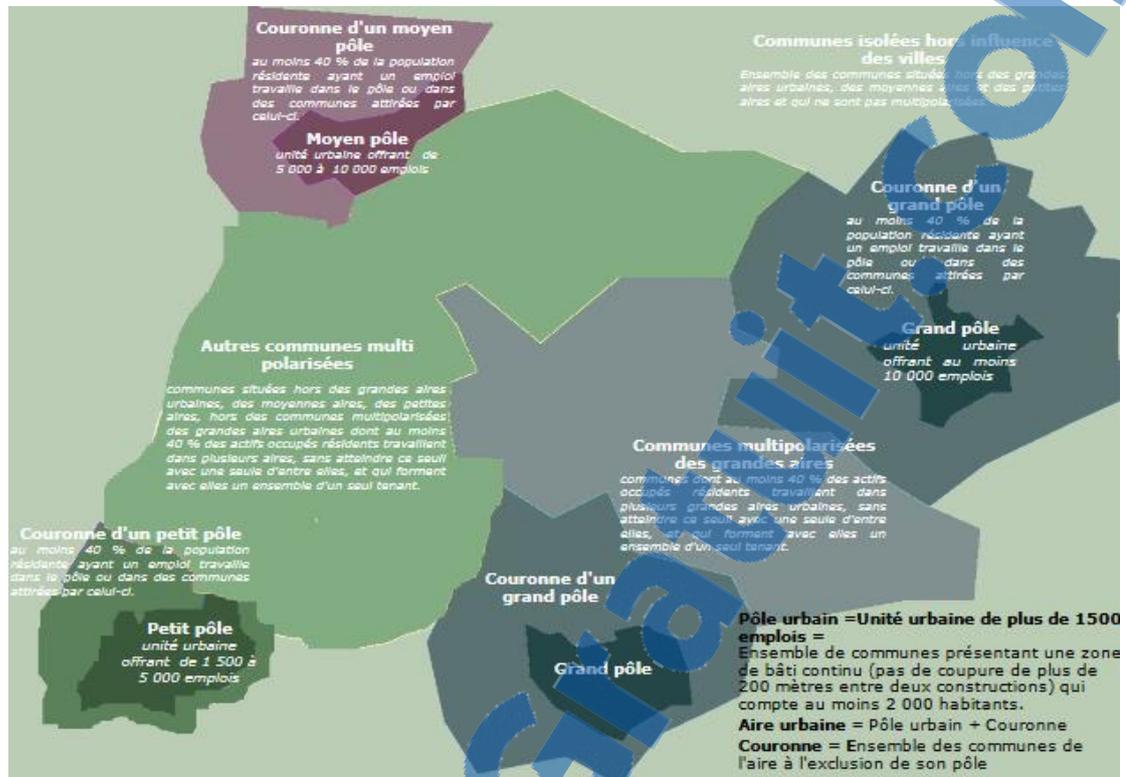


Figure 1 : carte de zonage des aires urbaines et définitions (INSEE, 2010)

En 2020, une nouvelle définition a été réalisée par l'INSEE. Maintenant, il faut employer le terme « **aire d'attraction** », qui désigne « l'étendue de l'influence d'un pôle de population et d'emplois sur les communes environnantes » (INSEE, 2020). Néanmoins, dans le cadre de ce PFE, c'est le zonage de 2010 qui a été retenu. En effet, celui de 2020 est encore récent et le nombre de données correspondantes à cette disposition faible. En revanche, pour le zonage de 2010, les données de mobilités sont finalisées et encore exploitables.

L'aire urbaine a donc une surface supérieure au pôle métropolitain. Pour rappel, les applications des résultats de ce PFE seront réalisées pour les lignes ferroviaires et les gares de l'aire urbaine de Tours, afin de prendre bon nombre d'espaces périurbains et ruraux dépendant de la ville-centre. Cette échelle est la plus représentative possible. La zone d'étude est donc composée du pôle urbain de Tours et de sa couronne, le tout comportant 140 communes (*cf. Annexe 1*) et s'étalant sur 3 200 km² d'espace (ATU37, 2012).

1.2. La mobilité dans ces espaces

La mobilité dans les espaces périurbains et ruraux est aujourd'hui centrée sur l'utilisation de véhicules personnels. La majorité des résidents de ces zones sont des ménages principalement actifs qui doivent effectuer des trajets domicile-travail quotidiennement. Or, l'éloignement allonge la durée de ces trajets. Ainsi « un ménage périurbain parcourt en moyenne 20 000 km/an en voiture, contre 12 000 pour l'habitant d'un pôle urbain » (J.-P. Orfeuill, Forum Vies Mobiles, janvier 2013). De plus, même si le ferroviaire s'est étendu dans le périurbain, les communes se sont développées autour des axes routiers et donc « une ville façonnée par l'automobile est aussi prédisposée à son usage », (Les enjeux de la mobilité dans les territoires urbains, 28 mai 2013).

Dans le cadre du PFE, ce sont les lignes ferroviaires de l'aire urbaine qui vont être étudiées, c'est-à-dire les lignes qualifiées de desserte fine : **UIC 7-9 AV**, selon la classification des lignes par l'Union Internationale des Chemins de fer. Il est remarquable de voir que le transport ferroviaire comme mode de transport quotidien pour les trajets domicile-travail est peu répandu dans le périurbain en comparaison du transport routier.

D'après le rapport Spinetta, les performances du système ferroviaire français sont insuffisantes à cause de la qualité des services qui se dégrade, l'image de la SNCF qui est ternie, suite aux grèves de 2019/2020 par exemple, les prix des services qui augmentent, le manque d'entretien des lignes ferroviaires, etc... Cette dernière cause est une des premières raisons du retard des trains. Malgré cela, le ferroviaire reste un moyen de transport 7 fois plus sûr que le transport routier (Spinetta, 2018).

Dans ce rapport, la desserte fine des territoires sera l'objet d'étude. Ainsi, d'après la classification des lignes par l'Union Internationale des Chemins de fer allant de 1 à 9, ce sont les lignes 7 à 9 qui nous intéressent. Ces lignes sont « les moins lourdes par rapport au trafic et au poids des wagons » (Émangard, 2005). De plus, d'après le graphique *Figure 2*, une stagnation de l'évolution de l'âge moyen des lignes UIC 7-9 AV est observable. Cela signifie qu'aucune rénovation n'a été entreprise jusqu'aux années 2010, années où le développement des lignes dans le périurbain a eu lieu.

Evolution de l'âge moyen de la voie, 1990-2017

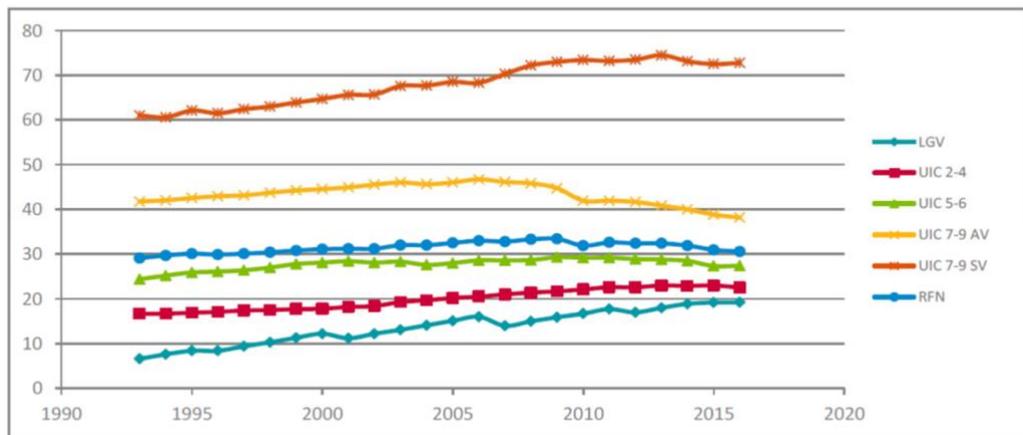


Figure 2 : graphique de l'évolution de l'âge moyen des voies de chemin de fer entre 1990 et 2017 (Spinetta, 2018)

Les trains régionaux de province ont connu une forte croissance depuis les années 2000 notamment avec l'augmentation de 60% de TER grâce à la régionalisation. Mais leur développement stagne depuis 2011 avec l'observation d'une baisse de 5% de l'offre (Spinetta, 2018). Il existe différents types de TER. En effet, plus la zone est rurale, moins la densité et le flux de trains sont importants (Spinetta, 2008) :

- Parisien = zone urbaine forte
- Métropole = zone urbaine
- Liaisons petites villes = zone périurbaine
- Petites lignes = zone rurale

Actuellement, les TER/Transilien, soit les trains du quotidien représentent $\frac{1}{3}$ du trafic en voyageur/km et parallèlement, ne constituent que la moitié de l'ensemble des trains en circulation en France, comme le décrit le tableau *Figure 3* (Spinetta, 2018). En effet, l'offre des TER en 2014 s'élevait à plus de 179 millions de trains contre 105 millions de TGV. Cependant, le volume de la demande reste faible puisque seulement 13 milliards de voyageurs les ont empruntés, contre 46 milliards pour les TGV.

	Voy.km/Tonne.km (milliards)	Train.km (millions)	Ratio offre/demande
TGV domestique	46	105	0,002
TGV international	7	26	0,004
TER	13	179	0,014
TET	7	32	0,005
Transilien	14	60	0,004
Total voyageurs	87	402	0,005
FRET	33	78	0,002

Figure 3 : tableau des trafics et circulations ferroviaires (Spinetta 2018 : SNCF Réseau, ARAFER)

Le calcul offre/demande montre que seulement 1/10 des TER proposés sont réellement occupés. Les services ferroviaires déploient donc une grande offre pour un volume de demandes faible. Il y a donc une forte sous-utilisation des TER, et des trains en général, selon les données SNCF Réseau 2014. Ces chiffres s'expliquent par la forte utilisation de la voiture dans les espaces périurbains et ruraux. Le but de ce PFE va être de diminuer la part modale de ces véhicules pour augmenter celle du ferroviaire.

Souhaitant apporter une précision sur l'aspect écologique, il faut savoir que la consommation d'énergie est différente selon le type de transports. Au niveau national, les transports représentent 30% de l'énergie consommée. Dans cette catégorie, les trains ne représentent que 0,6%, ce qui est relativement peu. Un Transilien consomme 25 fois moins de CO₂/km qu'une voiture et le FRET 10 fois moins de CO₂/km que les camions. Ces informations sont utiles à la sensibilisation de la clientèle mais ne suffisent pas à changer leur comportement. Actuellement, même si la capacité moyenne d'un TER est de 300 places, seulement 25% des sièges sont remplis. Or la consommation d'énergie d'un train reste la même quel que soit le nombre de personnes à bord. Donc la rentabilité écologique actuelle n'est pas favorable et ne respecte pas l'environnement (Spinetta, 2018).

Concernant les gares des lignes ferroviaires, il en existe plusieurs types. Certaines gares fonctionnent mieux que d'autres et ainsi présentent une part de clientèle potentielle ferroviaire plus importante. Les gares urbaines sont par définition les plus fréquentées mais ne seront pas étudiées ici. Les temps de trajet entre les communes périurbaines/rurales proches du pôle urbain et la métropole sont plus avantageux en comparaison avec les temps de trajets routiers. Ceci est accentué par le phénomène de congestion en entrée et sortie de ville. Ainsi, concernant la desserte fine, ce sont ces gares et ces communes périurbaines et rurales, très dépendantes de la métropole, qui seront étudiées. Elles sont généralement situées en milieu de bourg mais peuvent être aussi excentrées. Aussi, ce sont les différents facteurs exogènes et endogènes, que nous analyserons plus tard, qui définissent la zone de chalandise des gares ainsi que la clientèle ferroviaire et donc la clientèle potentielle.

1.3. Les usagers dans ces espaces

Il existe un grand panel d'usagers des transports dans les espaces périurbains et ruraux. Le but du PFE étant de déterminer un potentiel de clientèle, il est intéressant de se renseigner sur les profils des habitants des espaces concernés. Les chiffres mentionnés sont issus des statistiques de l'INSEE pour l'aire urbaine 2010 de Tours.

La zone d'étude comporte plus de 480 000 ménages fiscaux en 2017, dont 306 010 âgés de 15 à 64 ans. Ces personnes, qui sont des clients potentiels pour les trajets ferroviaires quotidiens, appartiennent à des catégories socio-professionnelles différentes : cadres, professions intermédiaires, employés, ouvriers, ... Le graphique de la répartition des salaires nets *Figure 4* permet d'avoir une idée de la répartition de ces classes sur le territoire. De plus, cela signifie que les habitants de l'aire urbaine travaillent et effectuent donc des mobilités quotidiennes domicile-travail. En moyenne dans l'aire urbaine de Tours, le salaire moyen horaire net s'élève à 14,1€, ce qui correspond à un revenu annuel net d'environ 27 000€ : cela est très correct et montre que l'ensemble de cette population appartient à une classe sociale élevée.

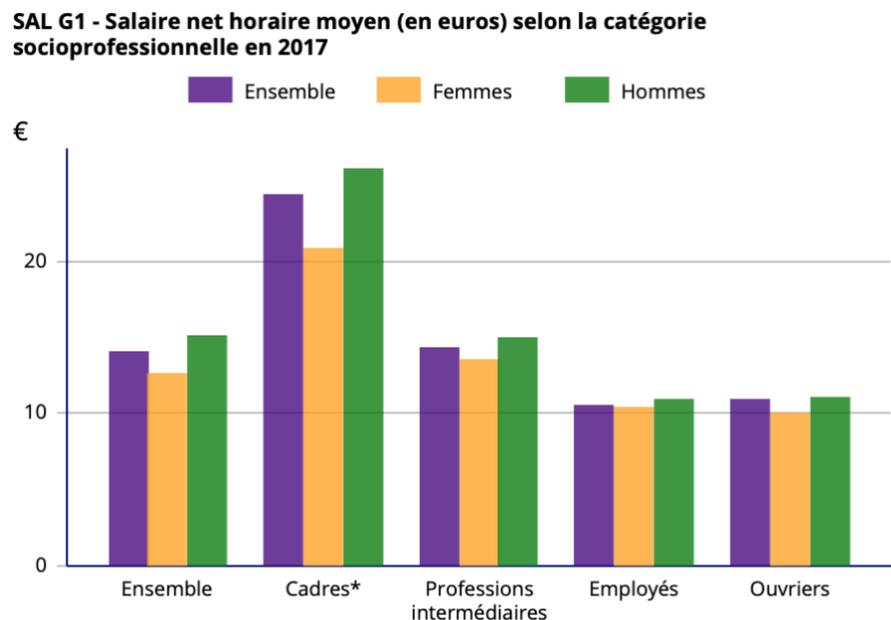


Figure 4 : graphique du salaire net horaire moyen en euros selon la catégorie socioprofessionnelle en 2017 (INSEE : Déclaration annuelle de données sociales et déclarations sociales nominatives)

Les espaces ruraux sont peuplés par « une population souche et de nouveaux habitants » (Morin, 2012). En effet, via les soldes migratoires, de nouveaux habitants viennent vivre dans les espaces ruraux. Ce sont principalement les jeunes retraités, mais aussi les familles avec des enfants (Morin, 2012). Elles s'installent d'ailleurs dans les espaces où la demande d'emploi est croissante. À l'inverse, les étudiants, âgés de 18 à 30 ans, sont peu présents en milieu rural, leur cursus s'effectuant dans les villes universitaires tout comme leur premier emploi (Morin, 2012).

Deux types de clientèle se distinguent dans les communes périurbaines et rurales. Le premier type est composé des usagers actuels effectuant leurs déplacements domicile-travail au quotidien via les transports ferroviaires. Au niveau de l'aire urbaine de Tours, plus de 480 000 personnes sont actives et une partie correspond à notre échantillon potentiel. En effet, le lieu de travail doit être suffisamment éloigné du

domicile pour avoir la possibilité de prendre le train pour s’y rendre. Seulement 32 communes de l’aire urbaine (cf. *Annexe 1*), soit 1/5, sont équipées d’une halte ou d’une gare. Le deuxième type est composé des usagers utilisant occasionnellement le train et de ceux qui l’utiliseraient si l’offre de transport et de services répondait à leurs besoins. Pour notre cas d’étude, il s’agit des habitants de l’aire urbaine venant rendre visite à leur famille, se rendant à des rendez-vous médicaux dans les bâtiments associés du pôle urbain, allant faire les courses dans des magasins ne se trouvant pas dans leur commune d’origine. L’étude du projet « Bahn Ville », visant à analyser la coordination entre l’urbanisme et les transports ferroviaires, a estimé la répartition entre les motifs d’utilisation du train *Figure 5*. Les deux premiers cas concernent des villes allemandes et montrent que la répartition des motifs d’utilisation du train est plus homogène qu’en France. En effet, pour les aires urbaines de Nantes et Strasbourg, le train est utilisé à 80% pour des motifs obligatoires, comme les trajets domicile-travail (Bahn Ville, 2002). Ce critère est à prendre en compte pour estimer le potentiel de clientèle.

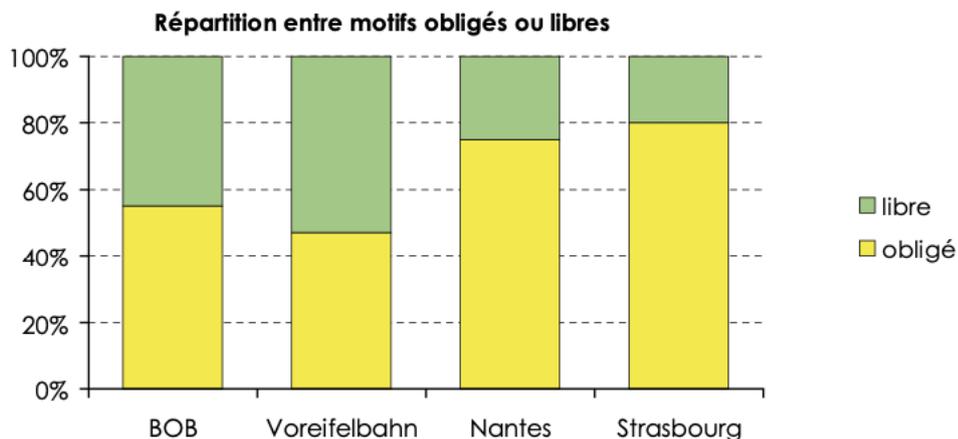


Figure 5 : graphique de répartition des motifs d'utilisation du train en France (Bahn Ville, 2002)

Les espaces périurbains et ruraux appartiennent donc à des aires urbaines définies en 2010 par l’INSEE. Celle de Tours, qui est le cas d’étude de ce PFE, comporte 140 communes. Dans ces espaces, l’utilisation de la voiture est majoritaire pour les déplacements quotidiens et occasionnels à 80% (Cete Lyon, 2013). Il est difficile de mettre en place des solutions alternatives à ces habitudes. Seulement 1/5 des communes de l’aire de Tours est équipé d’une gare ou d’une halte ferroviaire. Cependant, cette zone présente un fort potentiel de clientèle puisque plus de 480 000 ménages sont actifs et exercent un emploi quotidien. Cette première partie a donc permis de définir les zones géographiques et de contextualiser le projet en identifiant les types de mobilités pratiqués et les habitants.

2. LES CRITERES DE SUCCES DES GARES

Dans ce rapport, c'est la clientèle potentielle d'une gare périurbaine ou rurale qui est traitée, et donc le caractère attrayant de ces gares. Le succès d'une gare dépend de « la perception et des besoins des usagers » qui correspondent aux critères exogènes. Parmi ces derniers, le concept de l'attractivité des territoires se démarque (Labosse, 2010) ; la gare est attractive par rapport à son environnement si la commune dans laquelle elle est implantée présente des pôles générateurs de flux. Cependant, le succès d'une gare ne dépend pas uniquement des attentes des usagers. Elle doit également présenter un bon fonctionnement, déterminé soit par des facteurs endogènes à la gare elle-même, soit par des « caractéristiques inhérentes au fonctionnement d'une gare » (Inrets, 1999). Ainsi elle doit répondre à sa fonction première, qui est d'accueillir les voyageurs du ferroviaire et d'assurer le bon déroulement lors de leurs montées et descentes des trains. Elle doit aussi s'adapter aux attentes et besoins de ses usagers, c'est pourquoi certaines se sont développées en incluant bon nombres de services commerciaux. Cette partie a donc pour but de comprendre les indicateurs de bon fonctionnement d'une gare et de les classer selon une norme faisant référence à la qualité d'un produit et d'un service.

2.1. Les indicateurs de bon fonctionnement d'une gare

Lors de la première phase de rédaction du PFE, un état de l'art avec les différents indicateurs a été réalisé. Cela a permis de lister l'ensemble des critères pertinents au bon fonctionnement d'une gare ou halte ferroviaire. L'arborescence *Figure 6* offre un visuel des résultats retenus, répartis en deux grandes catégories : les indicateurs exogènes et endogènes. Ces termes vont être définis dans les sous-parties correspondantes, tout comme les différents critères.

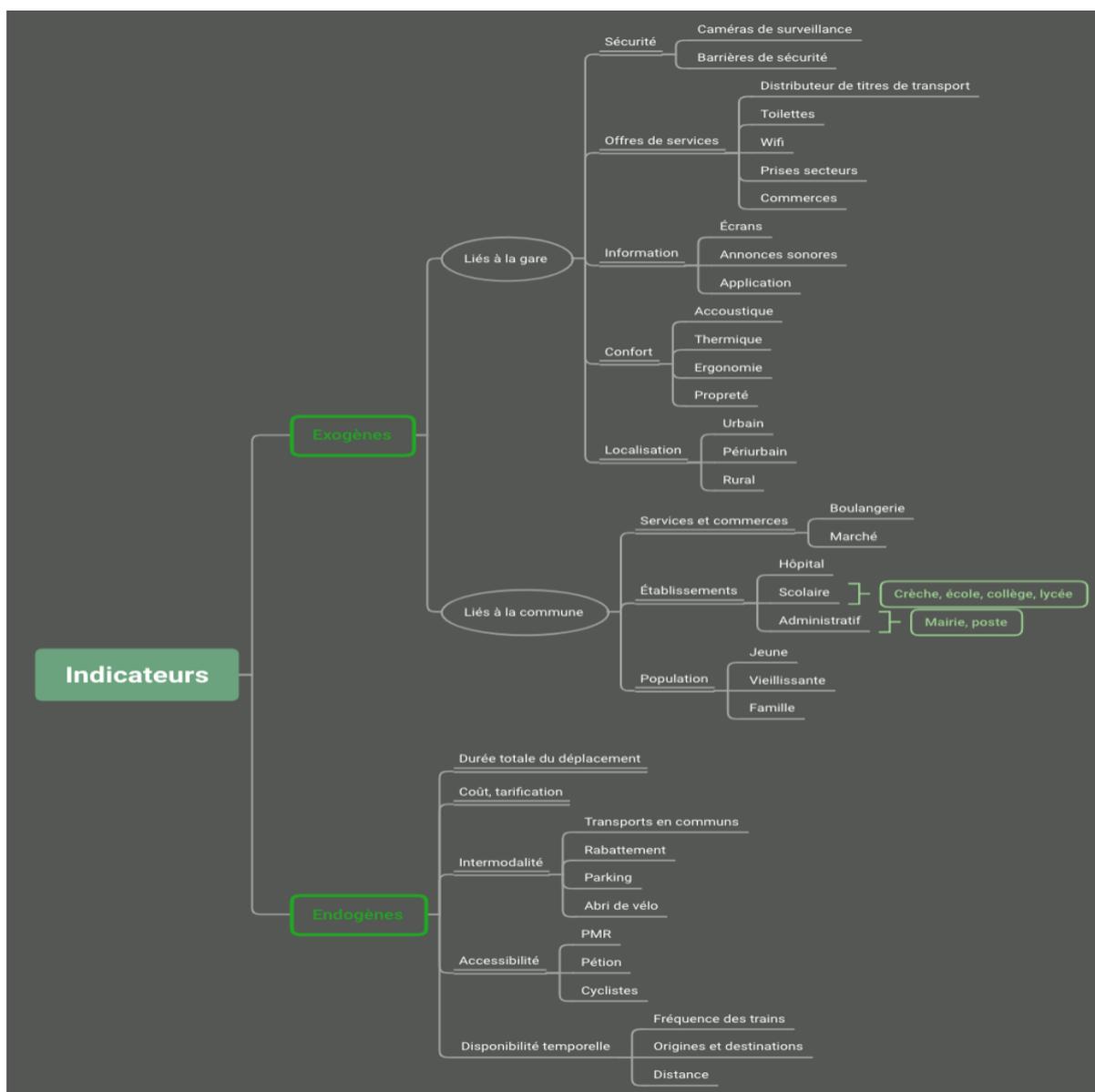


Figure 6 : arborescence des critères - *Eléonore POCHERIAU*

2.1.1. Les indicateurs exogènes

Les indicateurs exogènes sont des facteurs externes au fonctionnement propre d'une gare. Ils permettent de qualifier les aspects du bâtiment et son environnement mais ne traitent pas du réseau ferroviaire. Il est donc préférable de les dissocier en deux catégories :

- exogènes liés à la gare
- exogènes liés à la commune

Ils sont d'ordre qualitatif et peuvent relever de facteurs psycho-sociaux (Inrets, 1999). Ces indicateurs diffèrent selon les types de gare ; une gare de centre-ville ne présente pas les mêmes critères de bon fonctionnement qu'une gare située en zone rurale. En effet, la clientèle et l'environnement étant différents

selon l'emplacement de la gare, les critères de qualité retenus le sont également. Pour ce PFE, seuls les environnements périurbains et ruraux sont étudiés.

Les indicateurs exogènes liés à la gare

Ces indicateurs représentent l'ensemble des éléments appartenant au bâtiment propre de la gare. Ils sont importants du point de vue des visiteurs-voyageurs, et donc de la clientèle. Les visiteurs sont les personnes qui viennent dans la gare pour profiter des services proposés, sans avoir nécessairement un objectif de transport via le ferroviaire. À l'inverse, les voyageurs fréquentent les gares essentiellement pour se rendre sur les quais et prendre leurs trains.

L'indicateur le plus influent est la localisation de la gare (Inrets, 1999). En effet, les milieux urbains, périurbains et ruraux sont différents et les attentes ne sont pas les mêmes. En milieu urbain la gare est plus attractive et sert de levier pour l'intermodalité urbaine (AUAT, 2017) car elle est souvent placée au cœur de la ville. En milieu rural, elle permet de relier la commune à des grandes villes et de proposer un mode de déplacement alternatif à la voiture (AUAT, 2017). Dans ce contexte, le train peut être utilisé pour effectuer les trajets domicile-travail quotidiens. Or, il faut penser au temps de trajet des usagers, le matin comme le soir. Ce temps ne doit pas devenir une contrainte, c'est pour cela que la localisation de la gare est importante : si elle est trop éloignée du domicile, le choix de véhicule personnel pour réaliser l'ensemble du trajet est plus pratique et pertinent pour les usagers. Il faut compter, au maximum, « 15 minutes pour un trajet entre le domicile et la gare, 10 minutes entre la gare et le lieu de travail, le tout ajouté d'une marge sécuritaire de 5 minutes » (Baptiste, 2003). Lors du projet Bahn Ville, une enquête a été réalisée sur la répartition des temps d'accès aux stations selon le mode de déplacement *Figure 7*. Il apparaît que, exceptés pour les transports en commun urbains – sujet non traité lors de ce PFE – cette estimation du temps maximum de 15 minutes entre le domicile et la gare s'avère pertinente. Une majeure partie des sondés qui se déplacent en train prennent moins de 15 minutes pour se rendre à la station (Bahn Ville, 2002).

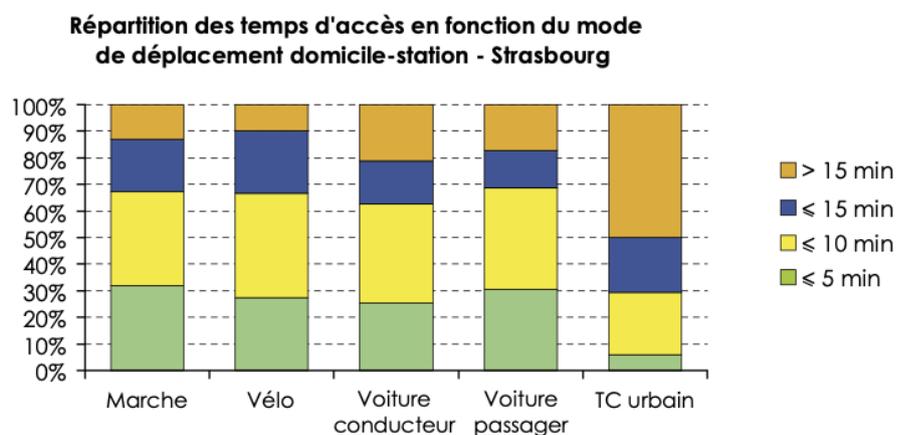


Figure 7 : graphique répartition des temps d'accès à la station ferroviaire (Bahn Ville, 2002)

La sécurité est ressentie comme un indicateur primordial pour tous les passagers et usagers (Inrets, 1999). En effet, dans la synthèse Inrets, qui vise à traiter de l'amélioration de la qualité des offres de transports, la sécurité perçue se place en deuxième position dans le classement des principaux critères pour l'utilisateur. Elle peut se traduire par la mise en place de caméras de surveillance ou de barrières de sécurité par exemple. De plus, la présence d'applications sécuritaires visibles rassure les voyageurs et permet de fidéliser la clientèle. Plus récemment, la sécurité est apparue dans les critères de qualité suivant la norme européenne NF EN 13816 (Cerema, 2015), permettant de définir la qualité d'un transport public de voyageurs.

Le confort, quel que soit sa nature, est un critère de choix du ferroviaire. En effet, qu'il soit d'ordre acoustique, thermique, ergonomique ou en lien avec la propreté, cet indicateur est essentiel pour maintenir la clientèle des gares et haltes mais aussi pour encourager la clientèle potentielle à utiliser le transport ferroviaire. Le nombre de places assises peut par exemple être un critère pris en compte par les personnes plus âgées lorsqu'elles attendent leur train tandis que la propreté du bâtiment semble un critère essentiel pour tous. La gare de Tours a d'ailleurs été notée 8,36/10 pour ce critère lors d'une enquête de septembre 2019 ; il s'agit d'une enquête semestrielle réalisée par « SNCF Gares & Connexion » afin de connaître le niveau de contentement des usagers des services ferroviaires pour les gares les plus fréquentées (baromètre de satisfaction des voyageurs, 2019). Cette satisfaction a connu une hausse de 0,35% par rapport à l'enquête précédente. Le personnel de cette gare a su développer ces aspects en installant de plus en plus d'espaces d'attente avec des canapés et des prises électriques dans le hall d'accueil.

Les offres de services sont aussi un critère de qualité d'une gare. Elles sont cependant plus développées en milieu urbain (Inrets, 1999) car la fréquentation y est plus élevée. Les visiteurs, passagers et usagers sont amenés à utiliser les services disponibles dans la gare de par la proximité de leurs habitations et la facilité des déplacements. Ils peuvent être de type commerces, comme une presse, ou d'équipements, tels que les distributeurs de titres de transport ou les points d'accès Wi-Fi. Il a été mentionné que « une offre de qualité permet de diversifier la clientèle » (Bahn Ville, 2002). Dans les zones rurales et périurbaines, peu de commerces sont implantés en gare mais les équipements commencent à s'y développer. En effet, de plus en plus de halls d'accueil voire de gares ferment sur les lignes de desserte fine. Ceci engendre l'installation d'automates pour vendre des billets de train en plus du développement des achats sur Internet (SNCF, 2016). En ce qui concerne les services d'information, comme les écrans ou les annonces sonores, ils sont bien perçus par l'ensemble des usagers. Ils permettent de communiquer les éléments importants de l'offre ferroviaire et par la même occasion de rassurer les usagers attendant leur train. La note de la gare de Tours pour ce critère s'élève à 8,74/10 en 2019 et celle de Saint-Pierre-des-Corps à 8,59/10 (baromètre de satisfaction des voyageurs, 2019).

Les indicateurs exogènes liés à la commune périurbaine/rurale

Ces indicateurs portent sur l'ensemble des éléments liés à l'environnement extérieur de la gare. Il s'agit des équipements de la commune qui rendent l'utilisation du transport ferroviaire pertinent. Ces indicateurs sont plus utiles en milieu urbain : commerces de proximité, fort développement des réseaux de transports en commun, etc... Concernant ce PFE, ces indicateurs sont intéressants à prendre en compte car les communes périurbaines et rurales étudiées présentent une forte dépendance à la métropole de Tours. Ainsi, ils peuvent être des atouts au développement de l'utilisation du transport ferroviaire par la clientèle potentielle.

Les commerces extérieurs peuvent favoriser les voyages du transport quotidien. En effet, s'ils se trouvent à proximité de la gare ou halte, les commerces de proximité comme les boulangeries ou les pharmacies, peuvent être des atouts pour faciliter l'utilisation du train plutôt que de la voiture. Par exemple, en rentrant du travail, le client peut prendre son pain avant de rejoindre son domicile, ce qui lui évite d'effectuer un trajet supplémentaire et lui permet un gain de temps. Il s'agit ici de la simplification de la chaîne du trajet quotidien, qui est déjà longue pour certains. En moyenne, il faut considérer que « la plage horaire d'une journée type s'étend de 6h à 20h » (Baptiste, 2003). Ainsi, le fait d'avoir des services en gare ou à proximité, est un levier pour raccourcir la chaîne des trajets quotidiens.

Les établissements administratifs et scolaires comme les écoles ou les mairies sont aussi des indicateurs pertinents. Les services scolaires peuvent collaborer avec les services ferroviaires afin de mettre en place un système de ramassage scolaire le matin et le soir. Le Réseau de Mobilité Interurbaine (Remi) développe cette offre via des autocars à l'échelle de la région (*cf. Annexe 2*) ; certaines lignes au sein de l'aire urbaine pourraient devenir ferroviaires si l'offre le permet, ce qui accroîtrait le potentiel de clientèle. Les mairies ou hôpitaux, qui sont des pôles générateurs d'emploi, peuvent également jouer sur ce système mis en place et accorder des primes à leurs employés, par exemple, afin de développer au mieux l'utilisation du transport ferroviaire et donc la clientèle potentielle. Si l'offre est adaptée à la demande, ce système de déplacement quotidien permettrait de toucher un large panel de clients.

2.1.2. Les indicateurs endogènes

Les indicateurs endogènes sont des facteurs internes au fonctionnement de la gare. Ils sont de l'ordre du quantitatif et doivent s'adapter à la demande afin de permettre à tous de se déplacer.

Tout ce qui est relatif au temps est un facteur essentiel pour améliorer le fonctionnement des gares. Cela renvoie à la notion évoquée pour la localisation des gares dans les indicateurs exogènes. La durée totale du déplacement est un des critères décisifs pour le client ; il se trouve en première place des critères de la

synthèse Inrets. Cette durée est définie comme « le temps chronométrique évalué à partir de l'expérience de l'usager » (Inrets, 1999). Cela signifie que la personne choisit son trajet en fonction de l'estimation de son temps de trajet et de sa fiabilité. Le fait de favoriser le véhicule personnel permet d'assurer cette estimation ; le ferroviaire doit alors répondre à cette demande pour attirer davantage de clients. Si le temps de trajet est plus long en train qu'en voiture, les usagers n'utilisent pas le réseau ferroviaire qui ne semble plus pertinent. Ainsi, cette durée doit être attractive par rapport aux autres modes de déplacements (Inrets, 1999). Il en est de même pour la disponibilité temporelle : la fréquence et cadence des trains doivent être adaptées à la demande afin d'attirer au mieux la clientèle potentielle (baromètre de satisfaction des voyageurs, 2017). De plus, si le trajet présente trop de correspondances, donc de coupures, la durée est alors allongée et la concurrence du moyen de transport ferroviaire avec le transport routier n'est pas à son avantage (Inrets, 1999)

Les coûts de déplacement doivent également être moindres par rapport aux autres modes de déplacement. Dans les régions périurbaines et rurales, une surutilisation de la voiture est notable (Orfeuill, 2013). Afin d'attirer la clientèle potentielle, les services ferroviaires devront s'aligner avec les prix de la concurrence. Des tarifs préférentiels peuvent être mis en place pour les voyageurs du quotidien afin qu'ils bénéficient d'avantages encore plus intéressants (Orfeuill, 2013).

L'intermodalité est un facteur classé dans les facteurs endogènes. Ce critère n'agit pas directement sur la ligne ferroviaire mais reste inhérent au bon fonctionnement de la gare. Il est donc très important de le prendre en compte tant en zone urbaine qu'en zone rurale. En ville, ce sont les transports en commun qui sont privilégiés alors que dans les espaces ruraux il est préférable de développer les parkings, les services de covoiturage ou encore les équipements liés au cyclisme (Gares & Connexions, 2015). Un usager peut se rendre à la gare avec son véhicule personnel, dans une limite de durée de trajet de 15 minutes (Baptiste, 2003). Ce temps est pris en compte dans le trajet complet quotidien.

Enfin, l'accessibilité pour tous, faisant écho au facteur précédent, est un critère majeur afin de permettre à l'ensemble des voyageurs d'utiliser les services ferroviaires. Il ne faut négliger personne pour toucher un maximum de clients (Schéma directeur d'accessibilité des services ferroviaires nationaux, 2016). Il est notamment utile de penser un aménagement pour les personnes à mobilités réduites mais aussi pour les jeunes clients adeptes de la poussette. Si un parent doit accompagner son enfant chaque jour à la crèche avant d'aller au travail, le tout en prenant le train, il faut réfléchir à ce que la gare soit la plus accessible et adaptée possible.

2.2. Les critères de qualité des indicateurs

Il est maintenant temps de classer les critères évoqués afin de pouvoir estimer un potentiel de clientèle. Il sera exprimé en fonction de l'attractivité d'une gare, et donc selon certains indicateurs évoqués dans la partie précédente mais aussi issus d'études scientifiques. Par la suite, apparaîtront dans l'équation finale les 4 items les plus récurrents. Cette restriction s'explique par rapport à la disponibilité des données pour la partie applicative ; les visites de terrain n'ayant pu être réalisées, les valeurs des variables seront donc issues des ressources bibliographiques, parfois moins représentatives que des données réelles, d'où le choix de limitation du nombre de critères sélectionnés.

Il existe différentes méthodes pour apprécier la pertinence des indicateurs. Par exemple, afin d'évaluer les transports collectifs, les collectivités de l'île de la Réunion ont choisi de décliner les niveaux de services en plusieurs échelles puis de comparer les multiples lignes (Citec, 2009). Cette méthode s'est avérée très efficace mais nécessite d'avoir en amont bon nombre de données, comme le nombre d'arrêts, leurs accessibilités, les informations disponibles ou encore les types de véhicules utilisés. Cet exercice s'apparente plus à évaluer les services de transports en commun urbains déjà existants.

Or, dans ce PFE, la question traite du potentiel de clientèle. Les auteurs de la synthèse du projet *Bahn Ville* estiment que « une offre de qualité permet de diversifier la clientèle » (Bahn Ville, 2002). Cette phrase a été prouvée via une enquête visant à « dégager l'importance des différentes composantes de l'offre dans la satisfaction de la clientèle et d'identifier les éléments de l'offre nécessaires à l'établissement d'une demande qualifiée » (Bahn Ville, 2002). Diverses enquêtes ont été menées pour déterminer les fondamentaux de l'offre ferroviaire. Les objectifs s'apparentent donc à ceux recherchés dans le cadre de ce PFE. Il est ressorti que les critères servant de leviers pour améliorer la part modale du transport ferroviaire régional sont :

- l'**amplitude horaire** de l'offre ferroviaire : « la fréquence et le cadencement de l'offre permettent la diversification des motifs de déplacements et d'amener vers le rail des personnes livre de choix modal » (Bahn Ville, 2002)
- le **nombre d'arrêts**, donc la localisation de l'offre ferroviaire
- l'**accessibilité** des arrêts et l'intermodalité
- l'**image sociale du train** – *terme non cité lors de l'état de l'art des indicateurs* – par rapport à la voiture
- le **confort**, même s'il est minoritaire par rapport aux services relevant de l'offre ferroviaire

Ce critère est d'ailleurs dépendant de l'âge des sondés. En effet, pour les personnes âgées, le confort apparaît comme un critère de choix pour le ferroviaire ; à l'inverse les jeunes portent moins d'attention à cet aspect en comparaison avec le véhicule personnel *Figure 8*.

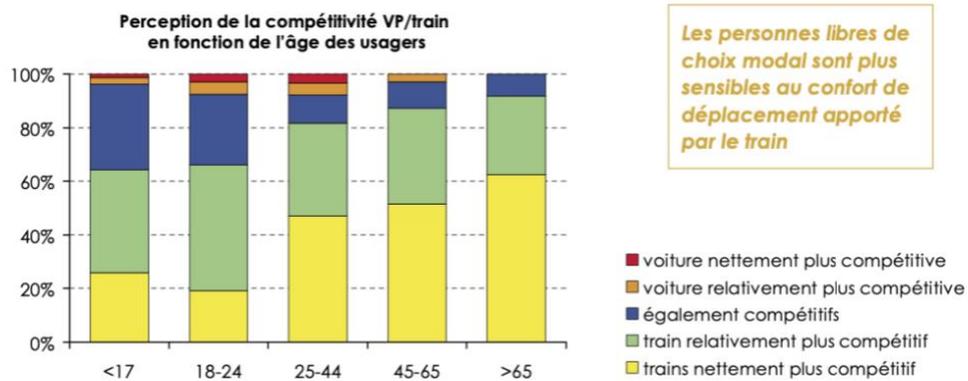


Figure 8 : graphique perception de la compétitivité du moyen de transport selon les générations (Bahn Ville, 2002)

Cinq critères apparaissent alors comme des leviers selon cette enquête. À titre comparatif, la norme NF EN 13816, qui juge de la qualité d'un produit ou service dans les transports collectifs, prend en compte huit aspects (Cerema, 2015), plus hétérogènes, mais certains sont similaires à ceux retenus pour le projet Bahn Ville :

- l'offre de service
- l'accessibilité
- les informations disponibles
- la durée du trajet
- l'attention portée au client
- le confort
- la sécurité
- l'impact environnemental

Certains de ces critères sont présents dans les deux cas de figure, mais aussi dans les indicateurs mentionnés dans l'arborescence réalisée dans le cadre de ce PFE. Afin de sélectionner les **4 critères** qui seront pris en compte dans l'équation du potentiel de clientèle pour le transport ferroviaire, un tableau comparatif *Figure 9* a été dressé permettant de retenir les plus pertinents. Si le critère est présent dans les deux études et dans l'état de l'art, alors il est retenu pour l'équation. Sinon, c'est le classement de cet indicateur dans son étude qui déterminera s'il doit être pris en compte ou non :

Critères	Présents dans l'arborescence	Présents dans le projet Bahn Ville	Présents dans la norme NF EN 13816	Retenus pour l'équation
Amplitude horaire forte/Offre de service	X	X	X	OUI
Nombres d'arrêts/localisation	X	X		OUI
Accessibilité	X	X	X	OUI
Confort	X	X	X	OUI
Image du ferroviaire		X		NON

POTENTIEL DE CLIENTÈLE DES GARES PÉRIURBAINES ET RURALES

Informations disponibles	X		X	NON
Durée du trajet	X		X	OUI
Attention portée au client			X	NON
Sécurité	X		X	NON
Impact environnemental			X	NON

Figure 9 : tableau de choix des critères de succès - Eléonore Pocheriau

Le critère de l'offre ferroviaire arrive en première position pour les deux études et est présent dans l'état de l'art réalisé pour ce PFE, il est donc forcément retenu pour déterminer un potentiel de clientèle. En effet, plus le niveau de l'offre est élevé, plus la part modale du train l'est aussi. Dans ce cas, le train peut concurrencer le véhicule personnel puisque l'offre est grande *Figure 10*.

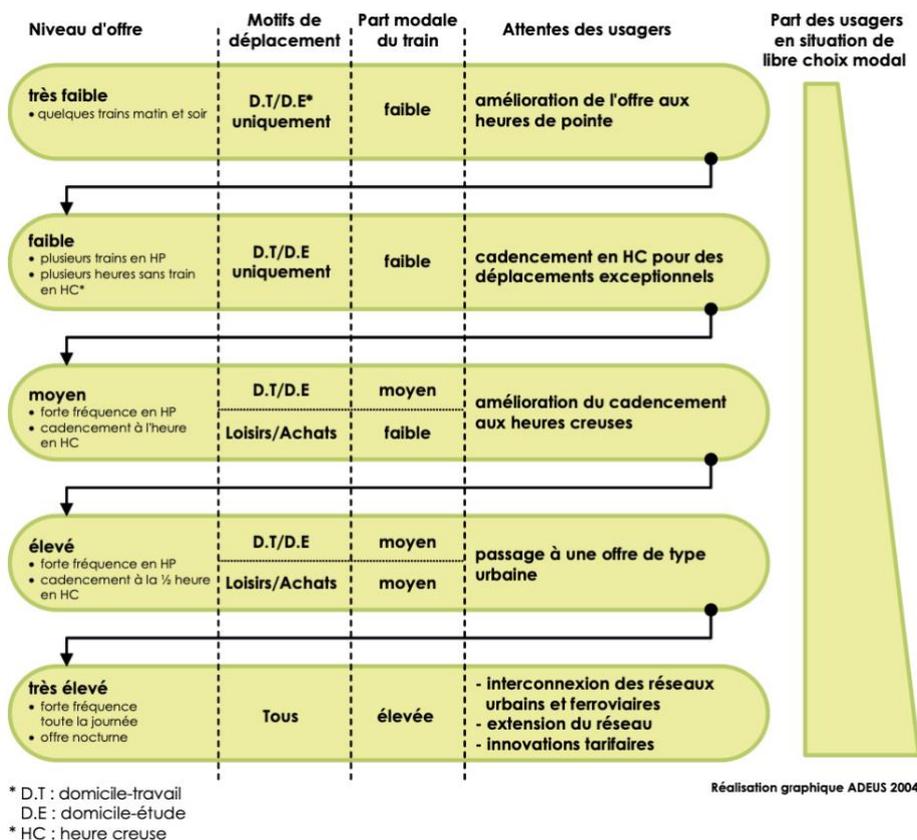


Figure 10 : schéma part modale du train estimée selon le niveau de l'offre (Bahn Ville, 2002)

Le second levier retenu, mentionné dans les trois documents, est l'accessibilité physique des gares et quais. En effet, pour toucher un large panel de clients, il faut penser aux meilleurs équipements possibles et faciles d'accès. Les personnes à mobilités réduites (PMR) font partie des clients potentiels. De plus, l'article 45 de la loi du 11 février 2005 « impose de rendre accessible les réseaux de transports publics aux personnes

handicapées et à mobilité réduite, et ce dans un délai maximum de 10 ans à compter de sa publication » (Sénat, 2013), ce qui conforte le choix de ce critère. Il en est de même pour le confort en gare et dans les trains, qui apparaît comme levier pour accroître les clients du ferroviaire, même si ce dernier est minoritaire par rapport aux questions d'offre de transport (Bahn Ville, 2002).

Enfin, le critère de la durée de trajet a été choisi puisqu'il est en lien avec le déploiement de l'offre ferroviaire, critère numéro 1 dans les trois études, mais aussi car il prend en compte le temps de trajet entre le domicile et la station. Il a été mentionné en amont que les localisations des arrêts importent sur le choix des usagers à emprunter ou non les services ferroviaires, puisqu'il ne faut pas que les haltes soient localisées à plus de 15 minutes de leurs domiciles.

Cette seconde partie a donc permis de dresser un état de l'art des critères d'attractivité d'une gare et des services ferroviaires. Cette étape est importante pour l'élaboration de l'équation du potentiel de clientèle, puisqu'elle accentue les principaux attendus des usagers. Ainsi, les 4 leviers retenus pour espérer l'augmentation de la part modale du ferroviaire contre celle du véhicule motorisé, moyen de déplacement le plus utilisé en milieu périurbain et rural sont : **la fréquence de l'offre ferroviaire (amplitude horaires forte), l'accessibilité physique, le confort et la durée du trajet.**

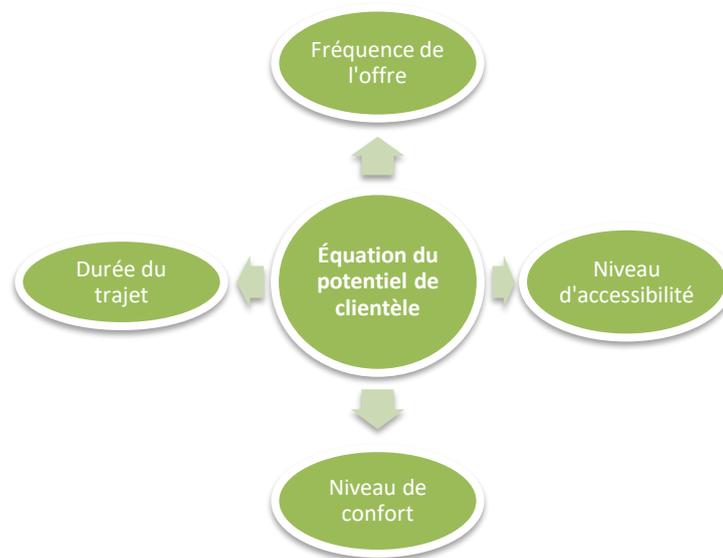


Figure 11 : schéma récapitulatif des leviers choisis pour l'équation - Eléonore Pocheriau

3. LA METHODE D'ÉVALUATION

Maintenant que les indicateurs ont été définis et choisis pour être des leviers quant au report modal de la voiture vers le train, il faut dresser une équation qui les combine et permette de calculer un potentiel de clientèle pour les gares et les lignes ferroviaires du quotidien. « Le calcul du potentiel d'un lieu se fonde certes sur la prise en compte d'une hypothèse d'interaction spatiale (forme de la décroissance de la probabilité de relation avec la distance) mais il s'agit fondamentalement d'une mesure d'accessibilité visant à évaluer la variation de la quantité d'opportunités de relation en fonction de la position. » (Grasland, 1999). Pour ce faire, il faut d'abord étudier les modèles existants qui permettent de calculer des faits similaires, pour ensuite adapter une de ces équations au cas d'étude. Enfin, une application sur l'aire urbaine de Tours sera réalisée. Une collecte des données de terrain n'a pu être effectuée en raison du contexte sanitaire Covid-19, les valeurs choisies seront donc issues de l'INSEE, d'autres enquêtes ou d'un parti pris.

3.1. Le choix de la démarche

Afin de définir l'équation qui correspond au sujet de ce PFE, il faut étudier les modèles existants. Trois modèles ont été sélectionnés :

- Le modèle de Reilly
- Le modèle de Huff
- Le modèle de Stewart

Le choix s'est porté sur ces trois systèmes car ils ont été conçus pour l'analyse des interactions et organisations spatiales. L'interaction spatiale se définit comme « le phénomène par lequel des actions s'exercent entre plusieurs centres de l'espace » (Levy et Lussault, 2003) Ils permettent de prévoir des phénomènes et sont très utilisés en « géomarketing ». Afin de trouver le modèle qui correspond le mieux au problème posé, les trois possibilités vont être détaillées. Elles s'inspirent toutes d'une analogie au modèle de gravitation universelle fondé par le scientifique Isaac Newton « deux corps s'attirent en raison directe de leur masse et en raison inverse de la distance qui les sépare » (Newton ; Lhomme, 2018), qui se traduit de la façon suivante : $F_{ij} = k * P_i * P_j * d_{ij}^{-2}$.

Les 3 hypothèses fondamentales

Afin de comprendre et de modéliser les flux, il faut savoir qu'il existe, de façon générale, trois hypothèses fondamentales. Ces hypothèses s'inspirent des fondements de Newton :

- Hypothèse 1 : « les échanges entre deux lieux sont proportionnels à leurs capacités d'émission et de réception » (Grasland, 1999) *Figure 12*

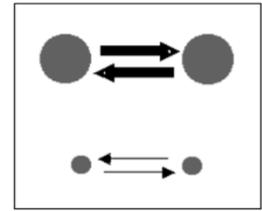


Figure 12 : schéma hypothèse fondamentale 1 (Grasland, 1999)

- Hypothèse 2 : « l'importance des échanges entre deux lieux diminue lorsque la distance augmente » (Grasland, 1999) *Figure 13*

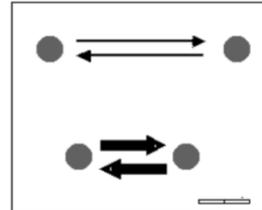


Figure 13 : schéma hypothèse fondamentale 2 (Grasland, 1999)

- Hypothèse 3 : « deux lieux appartenant à la même entité territoriale ont des flux plus importants que deux lieux séparés par une frontière » (Grasland, 1999) *Figure 14*

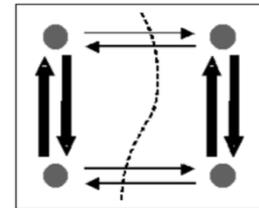


Figure 14 : schéma hypothèse fondamentale 3 (Grasland, 1999)

3.1.2. Le modèle de Reilly

Le premier modèle étudié est celui dit *de Reilly*. Il a été fondé par le scientifique qui lui a donné son nom en 1931. Cette loi vise à organiser des zones d'attraction commerciale en s'inspirant de la formule de Newton. Selon ce modèle gravitaire « la force d'attraction exercée par une ville j sur un lieu i est proportionnelle à sa taille M_j et inversement proportionnelle au carré de la distance D_{ij} qui sépare i et j » (Grasland, 1999). L'objectif premier est de définir le meilleur emplacement possible d'un équipement étudié représentant une offre par le calcul de flux de personnes, ces individus étant localisés via les masses. C'est souvent le coût de transport et la taille des centres commerciaux qui définissent les aires de marché. Cette équation s'écrit sous la forme (Gillon, 1997) :

$$t_{ij} = \alpha * \frac{M_j * M_i}{D_{ij}^\beta}$$

- t_{ij} : flux théoriques entre « i » et « j »
- α : constante
- M_i et M_j : masses des centres « i » et « j »
- d_{ij}^β : distance entre les centres « i » et « j »

Par la suite, il a été démontré qu’une forme permettait de déduire un point d’équilibre entre les aires d’influence des deux lieux étudiés. La loi de Reilly « interprète donc les achats de détail de la façon suivante » (Baptiste, 1999) :

$$\frac{V_a}{V_b} = \left[\frac{P_a}{P_b} \right]^\alpha * \left[\frac{\delta_{bc}}{\delta_{ac}} \right]^\beta$$

- V_a et V_b : proportion des échanges commerciaux de la place intermédiaire attirée respectivement par les centres « a » et « b »
- P_a et P_b : masses des centres « a » et « b »
- δ_{ac} et δ_{bc} : distance de « a » et « b » à la place intermédiaire « c »

Afin de savoir si cette équation s’adapte au projet, ses avantages et inconvénients ont été listés et orientés selon les objectifs de ce PFE *Figure 15*. Ce modèle permet bien d’obtenir des flux et s’applique à toutes les échelles. En revanche, afin de l’employer, il faut détenir des données précises pour les masses des centres. Elles s’obtiennent plus facilement en milieu urbain puisque la population est regroupée au sein d’une même ville ; or, ce PFE vise à explorer les milieux périurbains et ruraux qui sont beaucoup plus étendus géographiquement parlant et pour lesquels les limites de territoires sont plus floues. De plus, le but du calcul est de déterminer une localisation optimale d’équipements ; or, pour cette étude, il est plus pertinent d’utiliser un système cherchant une demande puisque le but est de trouver un potentiel de clientèle pour le ferroviaire, et donc de juger d’une demande de service. Ce système a d’ailleurs été qualifié comme « peu performant dans la prévision » (Gillon, 1997). L’offre correspond aux gares et aux nombres de trains, ce sont donc des données existantes qu’il ne faut pas délocaliser.

Modèle de Reilly	
Avantages	Inconvénients
Modélisation des flux Application à toutes échelles	Connaissance précise des données Prise en compte de lignes précises et non de zones Définition d’une localisation des équipements

Figure 15 : tableau avantages/inconvénients du modèle de Reilly - Eléonore POCHERIAU

3.1.3. Le modèle de Huff

Le modèle de Huff est une variante du modèle de Reilly. En effet, les limites du modèle de Reilly ont souvent été critiquées : « plutôt que de correspondre à des lignes précises, les limites des aires d’influences doivent correspondre à des zones de transition plus ou moins floues » (Grasland, 1999). La formulation de Huff permet ainsi de modéliser les parts de marchés en chaque point du territoire étudié en déterminant les probabilités des flux d’une origine vers une destination selon un facteur. Ce problème a été transcrit sous la forme (Baptiste, 1999) :

$$t_{ij} = P_i * \frac{\frac{M_j}{d_{ij}^\beta}}{\sum_k \frac{M_k}{d_{ij}^\beta}}$$

- t_{ij} : flux de « i » vers « j »
- P_i : population vivant en « i »
- M_j : facteur d'attractivité
- d_{ij} : distance entre « i » et « j »
- β : frein sur la distance

De la même façon que pour le modèle gravitaire de Reilly, les avantages et inconvénients de ce modèle par rapport aux objectifs de ce PFE, d'élaborer une équation de potentiel de clientèle, ont été récapitulés *Figure 16*. Le modèle de Huff s'applique à toutes les échelles mais ne prend pas en compte d'éventuels nouveaux flux : le résultat correspond à l'opportunité qu'un usager puisse se rendre à un endroit plutôt qu'un autre. Or, un potentiel de clientèle prend en compte, comme évoqué dans la première partie de ce rapport, les clients actuels mais aussi les nouveaux, susceptibles de changer leurs habitudes. De plus, cette équation vise elle aussi à déterminer une localisation idéale d'un équipement, ce qui n'est pas le but de ce PFE.

Modèle de Huff	
Avantages	Inconvénients
Modélisation des flux Application à toutes échelles	Obtention d'une opportunité à aller à un endroit plutôt qu'à un autre Définition d'une localisation des équipements

Figure 16 : tableau avantages/inconvénients du modèle de Huff - *Eléonore POCHERIAU*

3.1.4. Le modèle de Stewart

Le dernier modèle présenté est le modèle de Stewart. Il permet de déterminer « les localisations optimales des centres en fonction de la localisation des consommateurs » (Grasland, 1999). Cela correspond à une modélisation de la demande.

$$F_{ij} = \frac{k * P_i * P_j}{D_{ij}^2}$$

- F_{ij} : flux de « i » vers « j »
- k : constante, niveau global de mobilité
- P_i et P_j : masses des centres « i » et « j »
- d_{ij}^2 : distance entre les centres « i » et « i »

Via ce modèle, il a été possible de déduire une formule générale permettant de déterminer un potentiel de clientèle. Il se modélise par la variable population et une fonction de la distance, inspiré du modèle de Stewart :

$$Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * f(D_{ij})$$

- Pot_i : potentiel du lieu « i »
- P_j : masses du centre « j »
- D_{ij} : distance entre les centres « i » et « j »
- f : fonction quelconque de la distance

Ce modèle présente également des avantages et des inconvénients par rapport à l'équation recherchée dans ce PFE *Figure 17*. Le point fort de ce système est qu'il permet d'exprimer une demande et non une offre. Il peut également s'appliquer à toutes les échelles.

Modèle de Stewart	
Avantages	Inconvénients
Application à toutes échelles Modélisation de la demande	

Figure 17 : tableau avantages/inconvénients du modèle de Stewart - Eléonore POCHERIAU

Le modèle retenu pour élaborer un potentiel de clientèle est le **modèle de Stewart**. Ce système aboutit à une modélisation de flux reflétant une demande, puis il a été généralisé, ce qui permet de l'adapter à la situation de ce PFE. Les critères retenus dans la deuxième partie de ce rapport vont donc être injectés dans le modèle généralisé pour pouvoir construire une équation évaluant le potentiel de clientèle des gares et des lignes ferroviaires.

3.2. L'élaboration de l'équation

Il est nécessaire d'adapter l'équation au problème posé, qui est d'estimer un potentiel de clientèle pour les gares et les trajets ferroviaires du quotidien. Cette formule sera inspirée de la formule généralisée de Stewart et des indicateurs retenus dans l'état de l'art, disponibles dans la seconde partie de ce rapport.

3.2.1. Le modèle général et les éléments à insérer

Grâce aux éléments bibliographiques et à l'arborescence des critères, il est possible d'affirmer que la **fréquence de l'offre** des trains est un élément essentiel pour les demandeurs. Il faut également prendre en compte la **distance** entre le domicile et la destination, en incluant la distance entre l'habitation et la gare et celle de la gare vers le lieu d'arrivée. Cette distance ne doit pas être trop longue, au vu de la concurrence avec les véhicules personnels motorisés fort présents dans les espaces périurbains et ruraux. De plus, les

indicateurs de **confort** et **d'accessibilité physique** des gares et des trains doivent apparaître car ils influent sur la décision des clients à choisir ou non un trajet via le ferroviaire.

Or, le modèle de Stewart généralisé s'écrit de la façon suivante : $Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * f(D_{ij})$. Cette équation montre que le potentiel de clients d'un lieu « i » dépend de la population active du centre « j », point de départ, mais aussi d'une fonction de la distance. Ici, les centres correspondent aux gares. Il est aussi possible d'affirmer que plus un centre est peuplé, plus le potentiel de l'autre centre est important.

Afin de définir cette fonction, et donc obtenir l'équation du potentiel de clientèle recherchée, une procédure par étape va être effectuée. Les indicateurs seront ajoutés un à un dans le modèle général afin de valider leur pertinence et celle des relations qui les relie.

3.2.2. Le critère « distance »

L'indicateur de la durée totale du trajet a été retenu pour être inséré dans l'équation finale. Présente dans l'arborescence des critères, dans la norme NF EN 13816 mais aussi dans les diverses équations d'analyse spatiale, cette distance se décompose en plusieurs éléments pour un trajet (Baptiste, 2003) :

$$D_{ij} = D_{précheminement+sécurité} + D_{trajet\ principal} + D_{post\ acheminement}$$

Les durées pré et post-acheminement « sont appliquées dynamiquement, au cas par cas, durant le calcul de l'indicateur » (Baptiste, 2003). Il faut compter 15 minutes de trajet amont maximum dans l'idéal pour se rendre du domicile à la gare, en ajoutant 5 minutes de sécurité. Ensuite, c'est la durée de déplacement dans le véhicule qui est compté. Puis, la durée post-acheminement, d'environ 10 minutes (Baptiste, 2003) est comptabilisée. Ces estimations visent à évaluer une durée de trajet type *porte à porte* pour approcher au mieux les durées réelles des déplacements. Ces forfaits temps portent sur la notion de « périmètre marchable » (Bertolini et Spit, 1998)

Afin d'attirer un maximum de clients, il faut donc que cette durée totale de déplacement évolue de façon inversement proportionnelle. En effet, plus elle est longue, moins les clients seront nombreux. Cette affirmation s'illustre par la courbe du nombre de déplacements en fonction de la distance *Figure 18*. Les valeurs sont celles des déplacements domicile-travail de chaque commune de l'aire urbaine vers la ville-centre de Tours, d'après le recensement de la population INSEE 2016. Sur ce graphique, il apparaît que plus les villes sont éloignées de leur destination, en termes de temps et kilométrage, moins le nombre de personnes se déplaçant pour un motif domicile-travail est important. Au-delà de 20 km, la valeur des flux est inférieure à 500 contre plus de 2 500 pour des déplacements dans un rayon de 5 à 10 km.

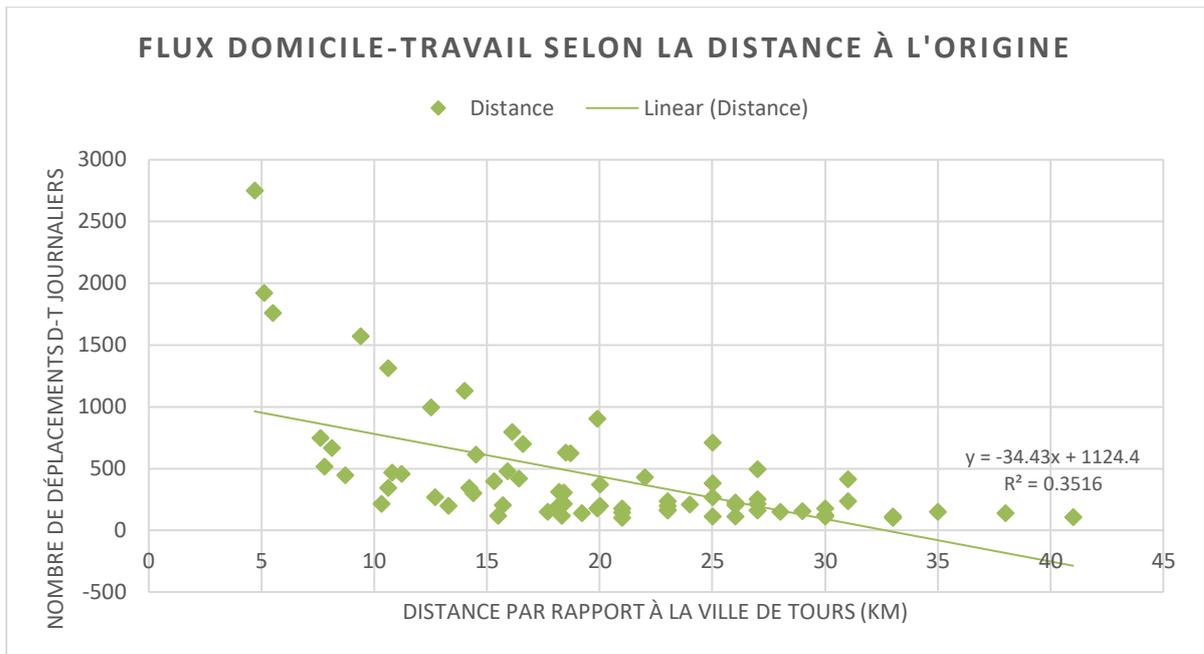


Figure 18 : graphique des flux DT selon la distance à l'origine - Eléonore POCHERIAU

Ces relations confirment que la distance joue un réel rôle dans les déplacements domicile-travail, qui sont des trajets quotidiens pouvant être réalisés par le biais du transport ferroviaire. Au vu de cette importance, il est pertinent d'ajouter un poids à cet indicateur dans l'équation, en lui ajoutant une valeur de puissance égale à 2 : aucun calage n'a été effectué pour estimer un tel poids, cette valeur est donc issue d'un parti pris, comme dans les modèles gravitaires énoncés auparavant. L'effet de la distance n'est pas proportionnel car plus la valeur est élevée, moins la valeur du potentiel est grande et tend vers 0 à partir d'une certaine distance. La relation provisoire serait donc la suivante :

$$Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * \frac{1}{D_{ij}^2}$$

En utilisant les limites, il est possible de vérifier la pertinence de cette équation :

$$\left. \begin{aligned} \lim_{n \rightarrow 0} \sum_{j=1}^n P_j * \frac{1}{D_{ij}^2} &= +\infty \text{ (car } D_{ij} \rightarrow 0) \\ \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n P_j * \frac{1}{D_{ij}^2} &= 0 \text{ (car } D_{ij} \rightarrow \infty) \end{aligned} \right\} \text{ Ainsi, plus la distance est faible, plus le} \\ \text{potentiel de clientèle est élevé}$$

Le graphique correspondant illustre et confirme le phénomène Figure 19. Pour un même nombre de personnes P_j fixé à 500, le potentiel de clientèle décroît et se stabilise à partir d'une certaine valeur, qui est l'optimum de la fonction. Ici, il vaut 5 kilomètres. Au-delà de cette valeur de distance, le potentiel chute et tend vers la valeur 0 à compter de 20 kilomètres.

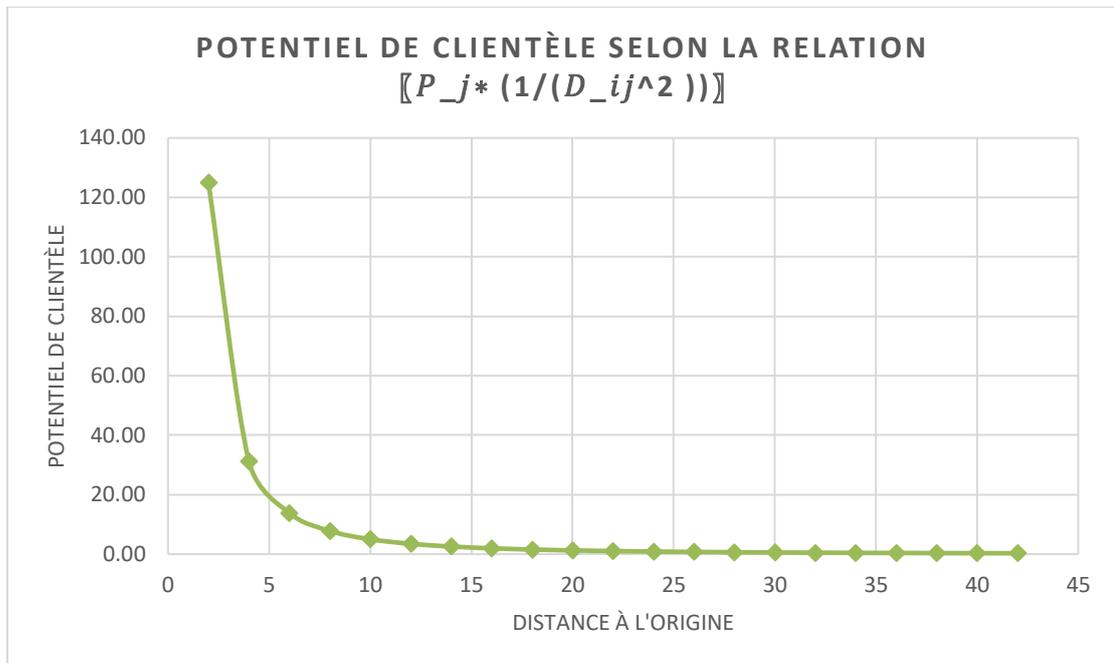


Figure 19 : graphique du potentiel selon la relation $P_j \cdot (1/D_{ij}^2)$

3.2.3. Le critère « fréquence de l'offre »

Le niveau de fréquence de l'offre est un critère important correspondant ici au **nombre d'arrêts des trains en gare par jour**, tous sens confondus. Apparaissant dans la synthèse du projet Bahn Ville, dans l'arborescence et dans la norme NF EN 13816, ce critère est l'élément principal pour augmenter le nombre de clients pour les services ferroviaires. Il est affirmé que **plus le niveau de l'offre est grand, plus le nombre d'utilisateurs augmente** (Bahn Ville, 2002).

Or, l'équation provisoire est la suivante $Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * \frac{1}{D_{ij}^2}$. Il faut donc injecter le critère de la fréquence du niveau de l'offre (F), soit le nombre d'arrêts quotidiens en gare. Selon les éléments bibliographiques, plus la valeur de F est grande, plus le potentiel de clientèle est élevé. La relation peut donc devenir :

$$Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * \frac{F_j}{D_{ij}^2}$$

En utilisant les limites, il est possible de vérifier la pertinence de cette équation, en considérant la distance constante :

$$\left. \begin{aligned} \lim_{j \rightarrow 0} \sum_{j=1}^n P_j * \frac{F_j}{D_{ij}^2} &= 0 \text{ (car } F_j \rightarrow 0) \\ \lim_{j \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n P_j * \frac{F_j}{D_{ij}^2} &= +\infty \text{ (car } F_j \rightarrow \infty) \end{aligned} \right\} \text{ Ainsi, plus le nombre d'arrêts en gare est élevé, plus le potentiel de clientèle est fort}$$

Le graphique illustrant la relation confirme que plus la fréquence de l'offre est élevée, plus le potentiel de clientèle est fort *Figure 20*. Pour illustrer cette relation, la distance et la population du centre j ont été considérées comme constantes.

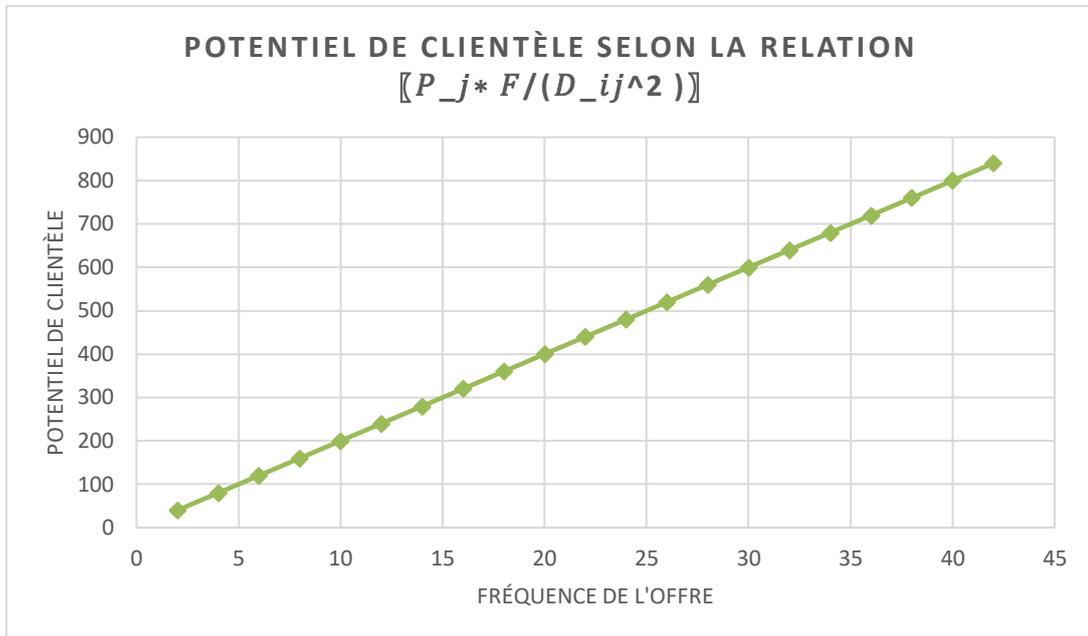


Figure 20 : graphique du potentiel selon la relation $P^*(F/D^2)$

3.2.4. Les critères de niveau de confort et d'accessibilité

Afin de parfaire l'équation, il est nécessaire d'ajouter des indicateurs de bien-être ressenti par les clients, ici le niveau de confort en gare et dans les trains ainsi celui de l'accessibilité physique aux équipements pour tous. En effet, ils sont présents dans la synthèse du projet Bahn Ville, la norme NF EN 13816 et l'arborescence des critères, ce qui prouve leurs importances et pertinences. Selon ces éléments de bibliographie, il s'avère que plus ces indices sont forts, plus le potentiel de client est élevé. Ils doivent être placés au niveau du numérateur de l'équation. De plus, ces critères semblent indépendants l'un de l'autre ; en effet, une gare et un train peuvent être très accessibles alors que le niveau de confort se révèle déplorable. Ainsi, pour ne pas impacter cette relation, il est nécessaire que les critères soient reliés via une addition, et non une multiplication. De ce fait, le critère de confort, noté γ , et celui de l'accessibilité, de façon physique à la gare, noté α apparaîtraient dans l'équation de cette façon :

$$\alpha + \gamma$$

Pour modéliser ces indicateurs, leurs valeurs pourront aller de 0 à 1, avec un intervalle de 0,2 : 0 correspondant à un niveau déplorable, 1 à un niveau optimal. Selon certains critères, les valeurs de α et γ seront attribuées à chaque gare, sans unité puisque ce sont des indices de qualité *Figure 21*.

Indicateur de « confort » en gare		Indicateur d' « accessibilité » en gare	
Critère	Valeur	Critère	Valeur
Sièges (en gare)	0,2	Alternative à un escalier	0,2
Abri (en gare)	0,2	Alternative à un trottoir	0,2
Wi-Fi (en gare et dans le train)	0,2	Système pour accéder à la rive d'en face	0,2
1 ^{ère} classe (dans le train)	0,2	Parking	0,2
Toilettes (gare et/ou train)	0,2	Aide pour monter dans le train	0,2

Figure 21 : tableau de valeur alpha et gamma - Eléonore POCHERIAU

Dans un premier temps, au cours de la réflexion, cette relation apparaissait en facteur de la fréquence de l'offre. Or, la valeur des critères ne dépassant pas le chiffre « 1 », cela affecterait grandement la valeur du nombre d'arrêts en gare, pilier pour déterminer le potentiel de clientèle. En ayant une relation de type $F^{\alpha+\gamma}$, et avec des valeurs $\alpha = 0$ et $\gamma = 0$, toutes valeurs de la fréquence de l'offre redescendraient à 1, ce qui ne reflète pas la réalité. Il en est de même pour une liaison multiplicative avec la variable F. En effet, α et γ ne sont que des indicateurs de qualité et ne font donc pas autant varier le potentiel de clientèle : la fréquence de l'offre est le critère le plus impératif pour le choix du ferroviaire selon 65% des usagers contre 15% pour le confort (Bahn Ville, 2002). Ainsi, afin de les injecter dans l'équation, la proposition est la suivante :

$$Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * \frac{F_j * (1 + \alpha_j + \gamma_j)}{D_{ij}^2}$$

De cette manière, même pour des valeurs d'indicateurs nulles, la fréquence de l'offre ne sera pas impactée, ce qui reflète la réalité. Dans le cas où les valeurs α et γ sont nulles, la fréquence de l'offre ne sera pas affectée puisqu'elle sera multipliée par 1 ; dans le cas contraire, la valeur sera augmentée de 3, ce qui amplifiera la valeur du potentiel de clientèle. De la même façon que la fréquence de l'offre, ces indicateurs sont spécifiques à la gare de départ « j ». Ainsi, chaque gare de la ligne possède ses propres valeurs d'indice de qualité.

3.2.5. La relation finale

Le potentiel étudié en gare « i » est donc la somme des populations actives du centre « j » multipliée par la fréquence de l'offre ferroviaire et les indices de qualité de la gare correspondante, le tout divisé par la distance « ij » au carré. Cela permet de prendre en compte la totalité du corridor allant des gares « j » à la gare « i ». Au final, l'équation générale pouvant déterminer le potentiel de clientèle en gare serait :

$$Pot_i = \sum_{j=1}^n P_j * \frac{F_j * (1 + \alpha_j + \gamma_j)}{D_{ij}^2}$$

Le calcul exprime bien un potentiel selon une fonction de la distance, comme le précise le modèle général de Stewart. Au niveau des unités, il est possible de faire une analyse afin de comprendre la valeur du résultat obtenu :

$$\sum [\text{nombre de personnes}] * \frac{\left[\frac{\text{nombre d'arrêts}}{\text{jour}} \right] * (1 + \alpha + \gamma)}{[\text{minutes}]^2}$$

Le résultat obtenu est donc un nombre de personnes selon le nombre d'arrêts par jour des trains en gare et la distance à l'origine élevée au carré. Afin d'harmoniser l'équation, une hypothèse est faite sur la constante (1) : cette variable peut avoir pour unité $[\text{minutes}]^2$ ce qui permet d'obtenir un **potentiel en nombre de personnes par jour pour le nombre d'arrêts donné**.

3.3. L'application en Indre-et-Loire

3.3.1. Le choix des zones d'études

Comme évoqué en introduction de ce rapport, la zone choisie pour l'application de la formule du potentiel de clientèle est l'aire urbaine de Tours. Ce périmètre permet d'étudier bon nombre de communes rurales et périurbaines possédant des gares ou des haltes, et pour lesquelles la présence d'une métropole, en l'occurrence Tours, permet de nombreux flux domicile-travail. Pour rappel, le sujet de ce PFE porte sur les déplacements quotidiens. Parmi les 140 communes de l'aire urbaine, seules 32 sont équipées d'une gare ou halte.

Les premières pistes évoquées, lors du rendu initial¹, portaient sur les lignes de Langeais et Azay-le-Rideau. Il faut 29 et 26 minutes en voiture pour effectuer respectivement les trajets Langeais-Tours et Azay-le-Rideau-Tours (*Plan by Apple*). De plus, Langeais et Azay-le-Rideau, communes rurales, sont très dépendantes de la métropole de Tours. En effet, elles font partie de l'aire urbaine et de la zone d'emploi de Tours. De nombreux flux domicile-travail sont effectués chaque jour à destination de la métropole *Figure 22* (INSEE, 2015) :

- Azay-le-Rideau/Tours : 21% des actifs de la commune d'origine
- Azay-le-Rideau/Joué-lès-Tours : 12% des actifs de la commune d'origine
- Langeais/Tours : 41% des actifs de la commune d'origine
- Tours/Langeais : 12% des actifs de la commune d'origine

¹ Rendu PFE second semestre 2019-2020, 4^{ème} année d'école d'ingénieur, en binôme avec Vahea Reynier

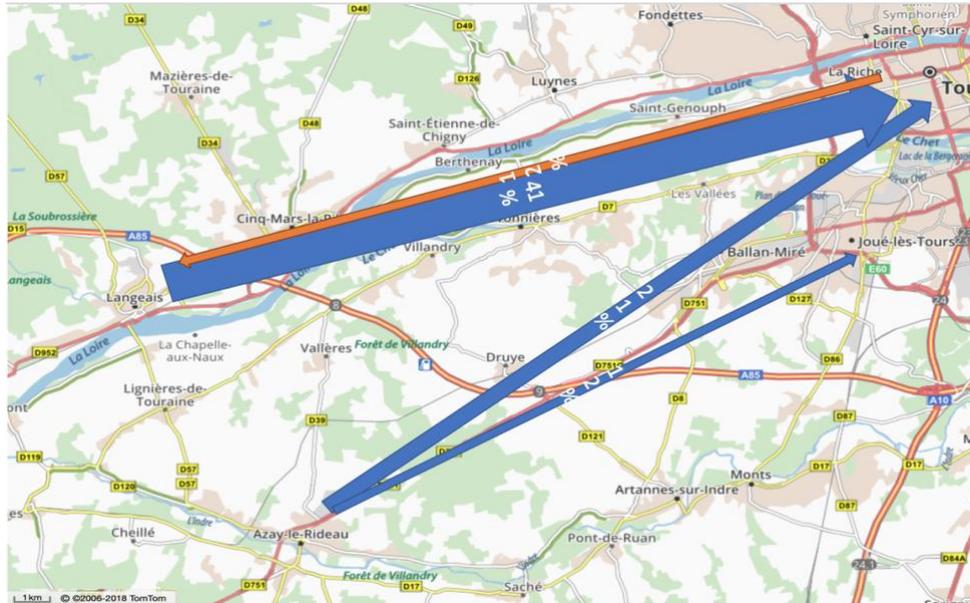


Figure 22 : carte des flux domicile-travail - INSEE 2015, Eléonore POCHERIAU

Une mise en application de la méthode de recueil des données est proposée pour ces deux communes. Or, ces deux cas d'études sont situés à l'Ouest de la ville-centre. Il serait également intéressant de porter un regard vers les communes Est, comme Bléré, située à 29 minutes de Tours (*Plan by Apple*) et possédant une gare. Selon l'INSEE, 239 déplacements domicile-travail, soit 12% des actifs de la commune, seraient effectués quotidiennement depuis cette commune à destination de la métropole (INSEE, 2015).

Sachant que la variable de la fréquence de l'offre, c'est-à-dire le nombre d'arrêts journaliers de trains en gare, est un critère majeur dans l'équation, tout comme la distance, il est judicieux d'étudier différentes lignes ferroviaires. Les gares ne sont pas fréquentées de la même façon, il est donc nécessaire de travailler sur divers cas d'études pour vérifier la pertinence du calcul. Les tracés actuels sont visibles *Figure 23*. Les lignes et gares retenues pour appliquer l'équation de ce PFE sont donc :

Azay-le-Rideau – Rivarennnes - Druye – Ballan-Miré – Joué-lès-Tours – Tours

Langeais – Cinq-Mars-la-Pile – Savonnières – Tours

Bléré – Vézetz – Saint-Pierre-des-Corps – Tours

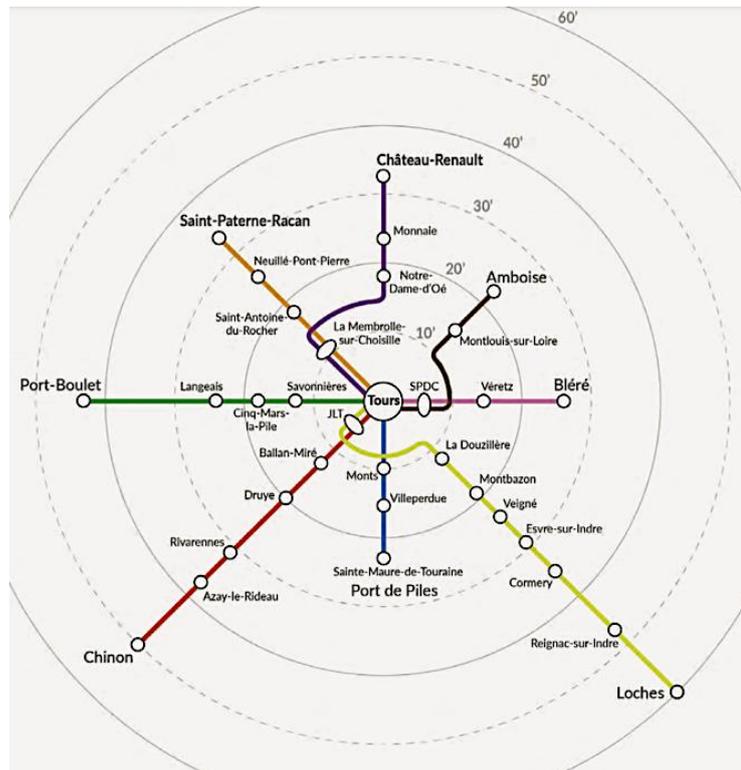


Figure 23 : carte des temps de parcours en train jusque Tours (AUAT, 2017)

Néanmoins, il n'est pas totalement exclu d'étudier les autres villes de l'Indre-et-Loire, comme les aires urbaines de Chinon ou Loches. Si la dépendance de ces communes à Tours vient à augmenter et qu'il faut investir dans une des deux gares, la méthode déterminant le potentiel de clientèle pour les lignes ferroviaires du quotidien devient alors nécessaire.

3.3.2. L'application de l'équation

Pour chaque ligne retenue, il est maintenant temps de tester l'équation conçue. Pour cela, il faut trouver les valeurs de chaque variable, à savoir : la population active du centre « j », ici de la commune de départ, le nombre d'arrêts en gare journalier, via les données SNCF, la distance à l'origine en temps, via le logiciel *Plan by Apple* ainsi qu'attribuer des valeurs aux niveaux de confort et d'accessibilité ; des vues de terrain n'ayant pu être réalisées, ces dernières données seront étudiées à l'aide du logiciel *Street View by Google Maps* qui permet de visualiser la zone. Les valeurs de la gare de Tours ne seront pas prises en compte car il s'agit du terminus du train. De plus, la population active de cette ville ne n'emprunte pas le réseau ferroviaire pour se rendre à son travail. En revanche, le résultat obtenu correspondra au potentiel de clientèle pouvant arriver en gare de Tours chaque matin et en repartir chaque soir. Par la suite, les résultats obtenus seront comparés aux chiffres actuels de montées et descentes des trains, ce qui permettra de voir l'impact du projet, pour l'instant théorique.

La ligne Azay-le-Rideau/Tours

La première ligne étudiée est celle ayant pour origine Azay-le-Rideau et pour destination la ville de Tours. Cette ligne part en réalité de la ville de Chinon, qui n'est pas située dans l'aire urbaine de Tours ; sa gare ne sera pas donc prise en compte dans le calcul. Cette ligne comporte les gares d'Azay-le-Rideau, de Druye, de Ballan-Miré et de Joué-lès-Tours.

Voici les résultats du calcul de potentiel de clientèle pour cette ligne *Figure 24*. Les détails se trouvent *Annexe 3*. Les chiffres actuels sont disponibles sur la plateforme SNCF Data. Ici, le total voyageurs (V) et non voyageurs (NV) de l'année 2019 a été considéré et ramené à une moyenne journalière en divisant par le nombre de jours ouvrés qui est de 250.

Gare	Population active se déplaçant vers Tours	Fréquence de l'offre de TER vers Tours	Distance à Tours en minutes	Potentiel journalier calculé	Total V + NV journalier 2019 (SNCF Data)	Écart relatif
Azay-le-Rideau	215	6	28	77	338	-0.77
Druye	104	6	20	37	68	-0.45
Ballan-Miré	995	6	12	359	178	1.02
Joué-lès-Tours	4334	9	10	3518	239	13.71

Figure 24 : tableau potentiel de clientèle Azay-le-Rideau/Tours - Eléonore POCHERIAU

Le potentiel calculé est donc très hétérogène selon les gares. Plus le centre étudié est proche de la destination, ici la gare de Tours, plus il est important, voire supérieur au nombre de voyageurs et non-voyageurs existants. Par exemple, pour la gare de Joué-lès-Tours, l'écart entre les valeurs empiriques et théoriques est de 13,7. À noter que cette commune peut être considérée hors du cadre géographique de l'étude de par sa proximité avec la métropole. L'écart peut s'expliquer par le fait que ses habitants empruntent divers moyens de transport pour se rendre à Tours, comme le tramway ou le vélo. En revanche, pour la gare d'Azay-le-Rideau, gare la plus éloignée dans ce cas, le potentiel de clientèle quotidien obtenu est largement inférieur à la réalité et se reflète avec un écart de -0,77, soit une perte de plus de 77% de voyageurs et non-voyageurs. Graphiquement, le phénomène est bien visible *Figure 25*, et les résultats annoncés lors de la création de l'équation se retrouvent : pour un temps de trajet supérieur à 15 min, le nombre d'usagers tend vers 0 ; sachant que le temps pris en compte ici est la distance du centre « i » au centre « j », la zone d'ampleur de la gare « j » n'ayant pas été étudiée.

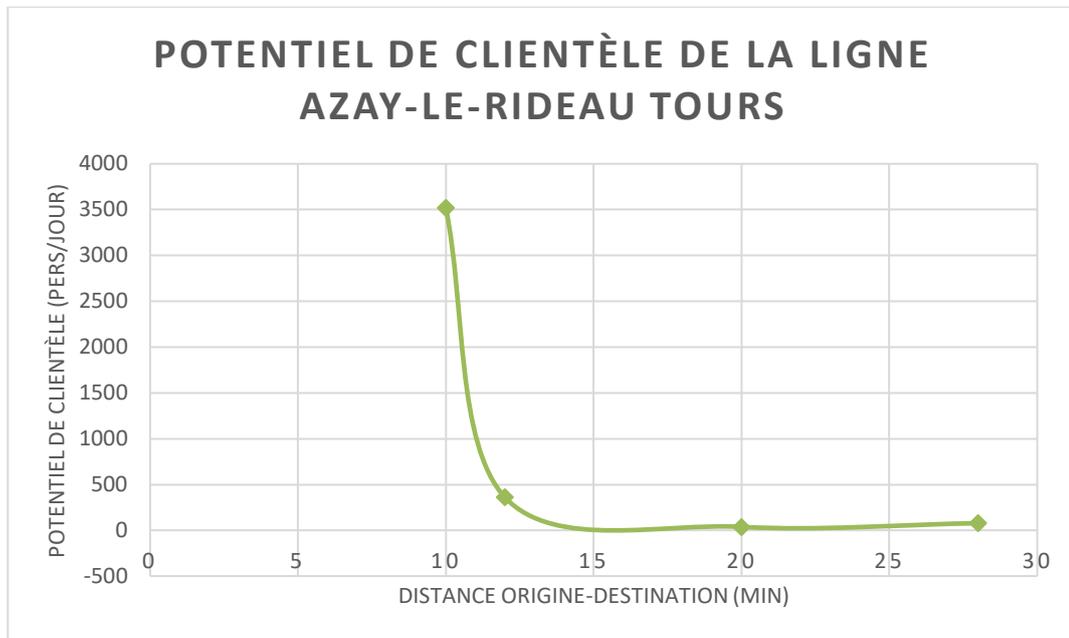


Figure 25 : graphique potentiel de clientèle selon la distance pour la ligne Azay-le-Rideau/Tours – Eléonore POCHERIAU

La fréquence de l’offre ferroviaire est aussi un critère majeur. Un test a donc été effectué avec un nombre d’arrêts en gare des trains élevé à 28, ce qui correspond à 1 train toutes les 30 minutes entre 6h et 20h, temps moyen hors-domicile (Baptiste, 2003). Cette configuration permettrait de combler les vides actuels en termes d’offre ferroviaire et, selon l’équation, amènerait un maximum d’utilisateurs *Figure 26*, voire trop par rapport à la population active et à la capacité d’accueil des gares et TER, trains pouvant accueillir une moyenne de 80 voyageurs assis (SNCF).

Gare	Population active se déplaçant vers Tours	Fréquence de l’offre de TER vers Tours fixée à 30 min	Distance à Tours en minutes	Potentiel journalier calculé	Total V + NV journalier 2019 (SNCF Data)	Écart relatif
Azay-le-Rideau	215	28	28	1686	338	3.98
Druye	104	28	20	816	68	11.00
Ballan-Miré	995	28	12	7805	178	42.96
Joué-lès-Tours	4334	28	10	34003	239	141.17

Figure 26 : tableau potentiel de clientèle fictif Azay-le-Rideau/Tours - Eléonore POCHERIAU

La ligne Langeais/Tours

La seconde ligne concerne les gares des communes de Langeais, Cinq-Mars-la-Pile et Savonnières ayant pour destination ferroviaire la ville de Tours. Cette ligne part actuellement de la ville de Port-Boulet, qui n’est pas située dans l’aire urbaine de Tours ; la gare ne sera pas donc prise en compte dans le calcul.

Voici les résultats du calcul de potentiel de clientèle pour cette ligne *Figure 27*. Les détails se trouvent *Annexe 3*. Ici, le total voyageurs (V) et non voyageurs (NV) de l'année 2019, extrait du site SNCF Data, a été considéré et rapporté à une moyenne journalière en divisant par le nombre de jours ouvrés qui est de 250.

Gare	Population active se déplaçant vers Tours	Fréquence de l'offre de TER vers Tours	Distance à Tours en minutes	Potentiel journalier calculé	Total V + NV journalier 2019 (SNCF Data)	Écart relatif
Langeais	416	7	22	204	1081	-0.81
Cinq-Mars-la-Pile	383	7	12	188	455	-0.59
Savonnières	480	5	10	120	9	12.29

Figure 27 : tableau potentiel de clientèle Langeais/Tours - Eléonore POCHERIAU

Ici, le poids du critère du temps de trajet a moins d'impact que pour l'étude précédente. En effet, la gare de Langeais, deux fois plus éloignée en termes de temps que la gare de Savonnières par rapport à Tours, attire un plus grand nombre de clients. La commune de Savonnière est d'ailleurs à la limite du cadre du PFE puisqu'elle appartient à la métropole de Tours, ce qui explique le grand écart avec la réalité ; il est possible que bon nombre d'habitants se rendent à la métropole par d'autres biais de moyen de transport, tel le réseau Fil Bleu ou le vélo. L'offre ferroviaire de la gare de Langeais est légèrement plus élevée *Figure 28*. En revanche, l'équation s'est révélée moins efficace que pour la première application puisque les écarts par rapport aux valeurs théoriques sont en majorité négatifs.

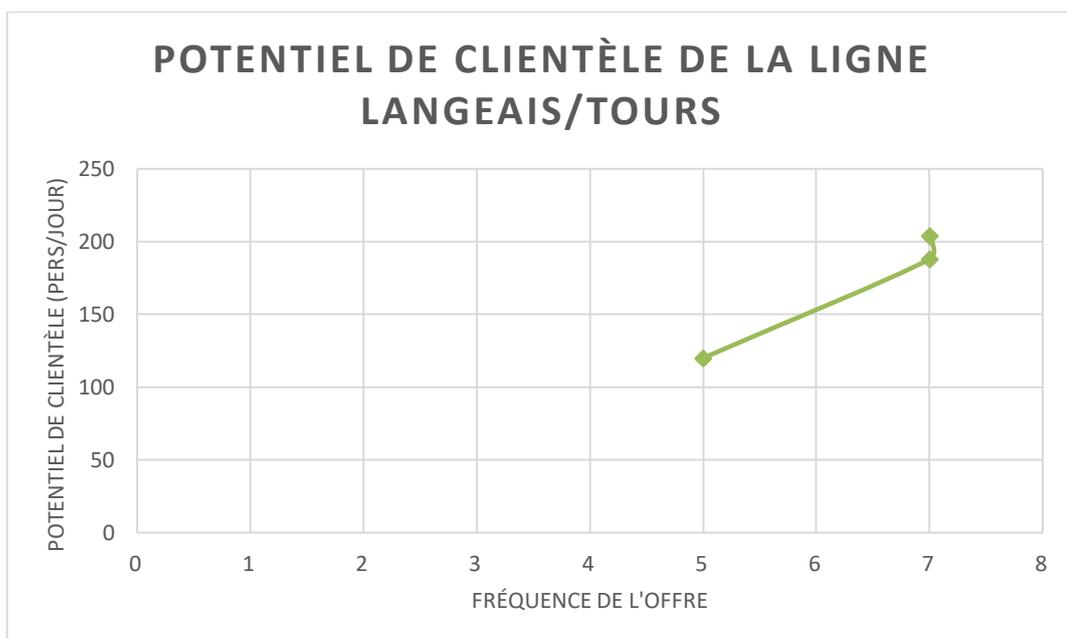


Figure 28 : graphique potentiel de clientèle selon la fréquence de l'offre pour la ligne Langeais/Tours – Eléonore POCHERIAU

La ligne Bléré/Tours

Les dernières gares étudiées se situent sur la ligne ferroviaire de Bléré et ont pour destination ferroviaire la ville de Tours. Les gares concernées, situées à l'Est de l'arrivée, sont celles de Bléré-la-Croix, Véretz-Montlouis et Saint-Pierre-des-Corps (SPDC). Cette dernière est particulière puisqu'elle se situe en zone urbaine et a été conçue pour désengorger la gare de Tours, en assurant les correspondances des grandes lignes ferroviaires (SNCF). Elle ne correspond donc pas à l'étude de ce PFE.

Voici les résultats du calcul de potentiel de clientèle pour ce corridor *Figure 29*. Les détails se trouvent *Annexe 3*. Ici, le total voyageurs (V) et non voyageurs (NV) de l'année 2019, extrait du site SNCF Data, a été considéré et ramené à une moyenne journalière en divisant par le nombre de jours ouvrés qui est de 250.

Gare	Population active se déplaçant vers Tours	Fréquence de l'offre de TER vers Tours	Distance à Tours en minutes	Potentiel journalier calculé	Total V + NV journalier 2019 (SNCF Data)	Écart relatif
Bléré-la-Croix	239	17	25	691	728	-0.05
Véretz-Montlouis	624	12	14	899	113	6.97

Figure 29 : tableau potentiel de clientèle Bléré/Tours - Eléonore POCHERIAU

Dans cette configuration, les hypothèses ayant servi pour modéliser l'équation sont validées. En effet, plus la gare est éloignée, moins le potentiel de clientèle est élevé et le phénomène s'inverse pour une meilleure offre ferroviaire quotidienne. L'écart par rapport à la situation actuelle est soit légèrement négatif, pour la gare de Bléré-la-Croix, soit très positif pour le cas de Véretz-Montlouis.

3.3.3. Les limites de l'application

Dans l'ensemble, l'application du modèle pour les gares périurbaines et rurales considérées est convaincante. Pour les gares proches de la destination, le potentiel de clientèle est supérieur au nombre d'usagers actuel. La donne s'inverse pour les centres les plus loin. La fréquence de l'offre joue également un rôle, puisque si la valeur de cet indicateur augmente, les résultats deviennent très élevés. En revanche, les critères de confort et d'accessibilité n'influent que très peu sur le potentiel obtenu pour les gares où la population active est moins présente : en les modifiant ou les supprimant, le résultat varie en moyenne de 5 personnes pour les communes ayant moins de 200 personnes actives comme Druye. Mais, plus la valeur de la population active augmente, plus ces critères ont un impact sur le résultat final.

Cette méthode empirique présente des limites qu'il faut, dans l'avenir, tenter de résoudre. Premièrement, lors de l'attribution des valeurs des flux domicile-travail quotidien, seuls ceux de la ville où se trouve la gare ont été pris en compte. Or, dans les milieux périurbains et ruraux, les gares n'étant pas implantées partout, il faut définir une zone d'influence qui prend ainsi en compte plusieurs communes. Deuxièmement, les déplacements occasionnels n'apparaissent pas, car les données sont difficiles à obtenir sans visite de terrain ou sans questionnaire à la population, du fait qu'ils sont très aléatoires. Troisièmement, lors de cette application empirique, seul le nombre de montées dans les trains a été comptabilisé, ce qui n'est pas le cas des descentes inter-trajet : un utilisateur du ferroviaire pourrait par exemple prendre le train pour se rendre d'Azay-le-Rideau à Ballan-Miré. Il en est de même pour les horaires des trains : ce critère n'a pas été retenu pour apparaître dans l'équation mais pourrait l'être par la suite, étant donné que ce sont principalement les trajets du quotidien de type domicile-travail qui sont étudiés. Il est donc important que l'offre ferroviaire, soit le nombre d'arrêts en gare, soit dense aux heures de pointe. Enfin, il a été mentionné que les indicateurs de confort et d'accessibilité avaient un poids moindre sur le résultat. Ce phénomène peut être en partie dû à l'absence de visite de terrain et donc à une imprécision des données.

CONCLUSION

Ce Projet de Fin d'Études s'inscrit dans la continuité de la formation en « Génie de l'Aménagement et de l'Environnement ». Le premier temps fut consacré à nourrir la culture du sujet et à la rédaction d'une note de synthèse concernant la clientèle potentielle en gare, pour les lignes à desserte fine et les trajets du quotidien dans les espaces périurbains et ruraux. La définition de ces zones géographiques a été développée et l'étude de l'aire urbaine de Tours a été choisie. Par la suite, un état de l'art concernant les principaux indicateurs faisant le succès d'une gare a été effectué, et, mêlé à des recherches bibliographiques, un classement a pu être établi. Les critères « fréquence de l'offre », « temps de trajet », « niveau de confort », « niveau d'accessibilité » ont été retenus afin de constituer l'équation déterminant un potentiel de clientèle en gare. Le modèle obtenu s'inspire de la formule généralisée de Stewart. Tous ces éléments constituent la phase théorique de ce PFE. Par la suite, une application a été menée malgré le contexte Covid-19, sur trois corridors ferroviaires de l'aire urbaine de Tours. Les limites de cette étude ont été mentionnées, mais, malgré cela, un début de résultat concluant a été retenu. Les trois études de cas permettent de répondre, de façon positive à la problématique posée en introduction : *que faut-il développer dans les gares de desserte fine et/ou leur commune pour augmenter le potentiel de clientèle ?* Les indicateurs sur lesquels il faut accentuer les valeurs sont principalement ceux retenus pour l'équation de ce rapport.

Au cours de ce PFE, de nombreux articles ont été lus et étudiés, afin d'enrichir les connaissances dans les domaines du transport, du géomarketing et de géographie. Ce fut également l'occasion de découvrir, d'appliquer et de modéliser des méthodes de calcul existantes, comme l'équation de Stewart.

Ainsi, l'élaboration de l'équation mesurant le potentiel de clientèle peut être poursuivie, en ajoutant par exemple d'autres critères de succès ou en modifiant les relations entre les indicateurs actuels. De même, les études de terrain seront précieuses pour évaluer la justesse de la méthode.

BIBLIOGRAPHIE

Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours. (2017). *Étoile Ferroviaire de Tours*. Tours, France. Consulté à l'adresse <http://www.atu37.org/Download/pdf/EFdeTours.pdf>

Baptiste, H.B. (2003). *Évaluer la qualité d'un service de transport collectif interurbain* (EA 2111). Consulté le 30 décembre 2020 à l'adresse https://drive.google.com/file/d/1gZSvUfQGie_hPo3twp6nzyHNUciVpIS/view

BAPTISTE Hervé. (1999) Interactions entre le système de transport et les systèmes de villes : perspective historique pour une modélisation dynamique spatialisée. – Thèse de doctorat : Aménagement de l'espace et Urbanisme. - Tours : Laboratoire du CESA, 1999. – 423 f.

BAHN VILLE (2002), *Enseignements du projet Bahn-Ville*, 87p. Consulté le 29 décembre 2020 à l'adresse http://www.adeus.org/productions/enseignements-du-projet-bahn-ville/files/bv_f.pdf

Bertolini L., Spit T. (1998). *Cities on rails: the redevelopment of railway station areas*. London, E&FN Spon.

Cete Lyon (28 mai 2013). *Les enjeux de la mobilité dans les territoires urbains*. Consulté le 30 mars 2020 à l'adresse http://www.cotita.fr/IMG/pdf/2_CETE69_Mobilite_et_periurbain.pdf

CEREMA (2015). *Qualité de service dans les transports collectifs urbains : Quelles prises en compte dans les contrats ?* Consulté le 11 novembre 2020 à l'adresse <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1169452.pdf>

CITEC Ingénieurs Conseils. (s. d.). (2009) *Approche de la qualité de service des transports en commune à la Réunion*. Consulté le 10 novembre à l'adresse <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0082/Temis-0082266/22035.pdf>

Émangard, P.-H. (2005). La carte...du classement des lignes en catégories UIC. *Cairn*, (108), 16-17. Consulté le 15 février 2020 à l'adresse <https://doi.org/10.3917/turb.108.0016>

Gillon Pascal. Le modèle gravitaire : quelques réflexions sur le transfert d'un modèle physique en géographie. In : *Géographes associés n°21*, 2e semestre 1997. Géographie et modèles. Recherches, enseignements, pratiques. Géoforum Besançon 15-17 mai 1997 suivi de Enquête. L'image de la Géographie chez les élèves (1995-1997) pp. 51-59 ; DOI : <https://doi.org/10.3406/geoas.1997.2087>

Grasland. (1999). *GO303 : Chapitre 5 : Les modèles d'interaction spatiale /documents de cours*. Les modèles d'interactions spatiale. Consulté le 10 décembre 2020, à l'adresse http://grasland.script.univ-paris-diderot.fr/go303/ch5/doc_ch5.htm

INRETS. (1999). Synthèse INRETS (33). Consulté le 15 février 2020 à l'adresse <https://masstransitpractices.files.wordpress.com/2019/12/synth33p1-77.pdf>

INSEE. *Définitions des zonages de l'INSEE*. Consulté le 30 mars 2020 à l'adresse <http://www.herault.gouv.fr/content/download/7825/43317/file/DefinitionsZonagesINSEE.pdf>

INSEE. *Dossier complet : Aire urbaine de Tours 2010*
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=AU2010-018>

INSEE. *Espace rural/Espace à dominante rurale*. Consulté le 30 mars 2020 à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1034>

INSEE. (2015). *Mobilités professionnelles en 2015 : déplacements domicile-travail*. Consulté le 01 avril 2020 à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3566477>

Laurence Labosse, INSEE. (2010). *Attractivité des territoires : 14 types de zones d'emploi*. Consulté le 30 mars 2020 à l'adresse https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwj149_bkYPPAhVB2qwKHXEDD9cQFjAEegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.insee.fr%2Ffr%2Fstatistiques%2Ffichier%2F1372501%2Ffsr10e.PDF&usq=AOvVaw17YsV1wVu3XSwI4j5E77jn

Lhomme, S. L. (2018, 5 novembre). *Les principaux modèles d'analyse spatiale dans le domaine du géomarketing*. Les principaux modèles d'analyse spatiale dans le domaine du Géomarketing. http://serge.lhomme.pagesperso-orange.fr/doc/Geomarketing_modeleAS.pdf

Morin, B. (2012). Qui habite en milieu rural ? *Cairn*, (164), 11-22. Consulté le 15 février 2020 à l'adresse <https://www.cairn.info/revue-informations-sociales-2011-2-page-11.html>

Orfeuill, J.-P. (2020, 28 mai). *Dialogue sur la mobilité entre F. Dureau, P. Lannoy, J.-P. Orfeuill et T. Ramadier. 1 : Genèses d'un champ*. Forum Vies Mobiles. Consulté à l'adresse <https://fr.forumviesmobiles.org/projet/2020/05/28/dialogue-sur-mobilite-entre-f-dureau-p-lannoy-j-p-orfeuill-et-t-ramadier-1-geneses-dun-champ-13317>

Question concernant l'accessibilité des gares – Sénat. (2013). Sénat.

<https://www.senat.fr/questions/base/2013/qSEQ130204534.html>

SNCF. (2019, novembre 5). Baromètre satisfaction client en gare. Consulté le 25 novembre 2020, à l'adresse

<https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/barometre-client/information/>

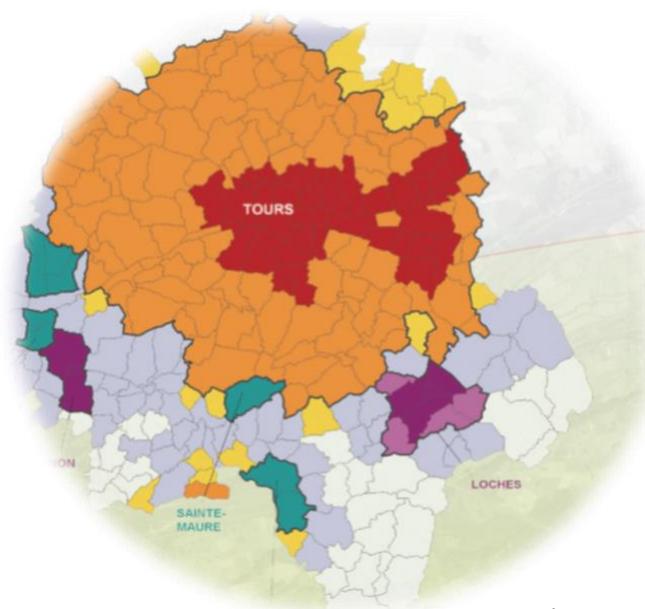
Spinetta, J.-C. (2018). *L'avenir du transport ferroviaire*. Consulté le 15 février 2020 à l'adresse

<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/184000093.pdf>

Annexe 1 : les communes de l'aire urbaine de Tours

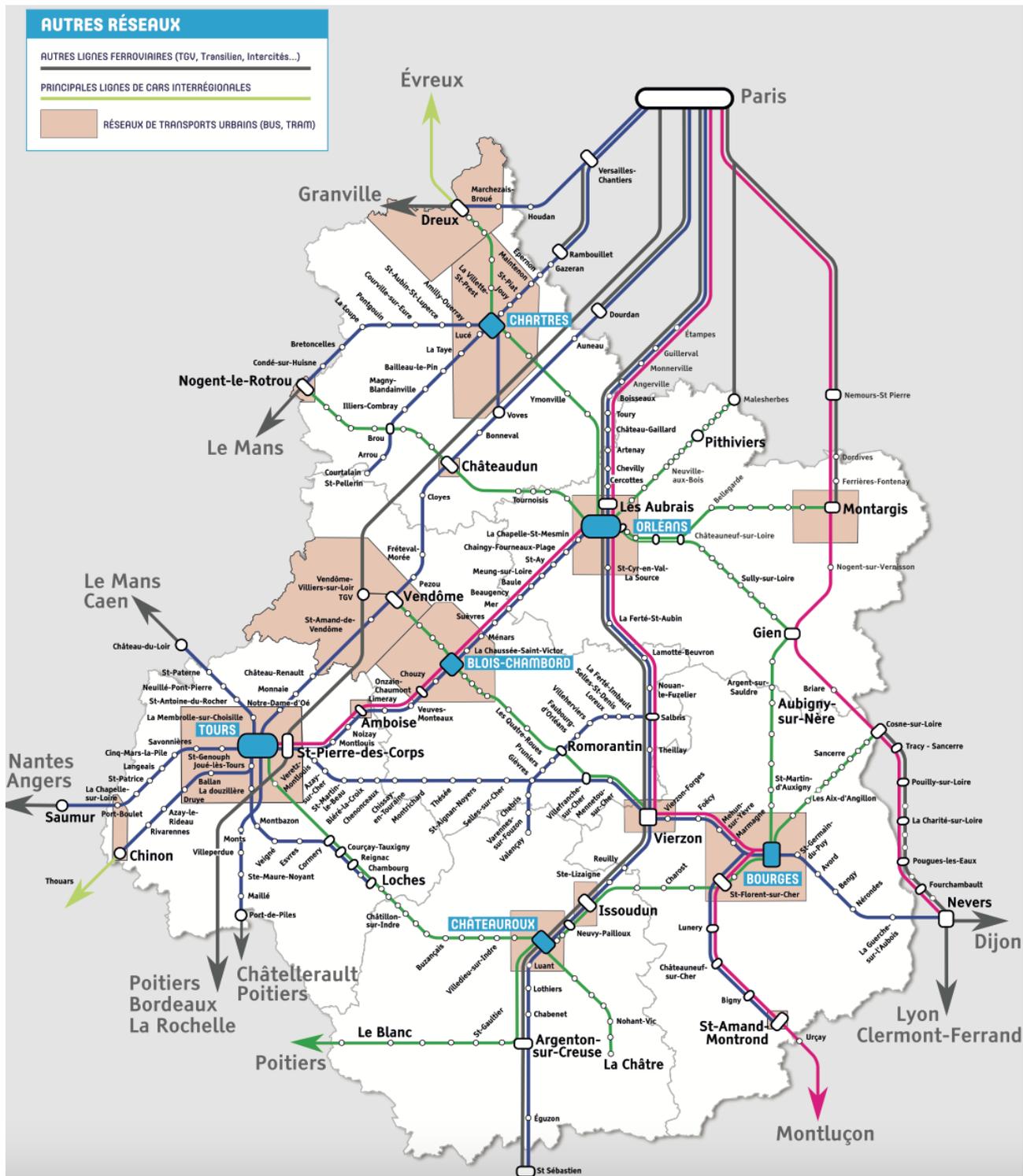
Cette aire urbaine est composée de 140 communes, 32 étant équipées de gare ou halte ferroviaire (cité en vert dans ce tableau).

Ambillou	Chemillé-sur-Dême	Le Liège	Nouzilly	Coteaux-sur-Loire
Amboise	Chenonceaux	Lignières-de-Touraine	Parçay-Meslay	Saint-Pierre-des-Corps
Artannes-sur-Indre	Chisseaux	Limeray	Pernay	Saint-Quentin-sur-Indrois
Athée-sur-Cher	Chouzé-sur-Loire	Louans	Pocé-sur-Cisse	Saint-Règle
Autrèche	Cigogné	Le Louroux	Pont-de-Ruan	Saint-Roch
Avrillé-les-Ponceaux	Cinq-Mars-la-Pile	Lublé	Reignac-sur-Indre	Savigné-sur-Lathan
Azay-le-Rideau	Civray-de-Touraine	Lussault-sur-Loire	Reugny	Savonnières
Azay-sur-Cher	Cléré-les-Pins	Luynes	La Riche	Semblançay
Azay-sur-Indre	Continvoir	Luzillé	Rillé	Sonzay
Beaumont-Louestault	Cormery	Manthelan	Rilly-sur-Vienne	Sorigny
Berthenay	Couesmes	Marcilly-sur-Maulne	Rivarennes	Souvigné
Bléré	Courçay	Marray	Rochechouart	Souvigny-de-Touraine
Bossée	Courcelles-de-Touraine	Mazières-de-Touraine	Rouziers-de-Touraine	Sublaines
Braye-sur-Maulne	La Croix-en-Touraine	La-Membrolle-sur-Choisille	Saché	Tauxigny-Saint-Bauld
Brèches	Crotelles	Mettray	Saint-Antoine-du-Rocher	Thilouze
Bréhémont	Dame-Marie-les-Bois	Monnaie	Saint-Avertin	Tours
Bueil-en-Touraine	Dierre	Montbazou	Saint-Branches	Truyes
Cangey	Dolus-le-Sec	Montlouis-sur-Loire	Sainte-Catherine-de-Fierbois	Vallères
Cerelles	Druye	Montreuil-en-Touraine	Saint-Christophe-sur-le-Nais	Veigné
Chambray-lès-Tours	Épeigné-sur-Dême	Monts	Saint-Cyr-sur-Loire	Véretz
Chançay	Esvres	Mosnes	Saint-Épain	Vernou-sur-Brenne
Chanceaux-sur-Choisille	La Ferrière	Nazelles-Négron	Saint-Étienne-de-Chigny	Villaines-les-Rochers
Channay-sur-Lathan	Fondettes	Neuil	Saint-Genouph	Villandry
La Chapelle-aux-Naux	Francueil	Neuillé-le-Lierre	Saint-Laurent-de-Lin	La Ville-aux-Dames
Charentilly	Hommes	Neuillé-Pont-Pierre	Saint-Laurent-en-Gâtines	Villebourg
Chargé	Joué-lès-Tours	Neuvy-le-Roi	Saint-Martin-le-Beau	Villedômer
Château-la-Vallière	Langeais	Noizay	Saint-Ouen-les-Vignes	Villeperdue
Cheillé	Larçay	Notre-Dame-d'Oé	Saint-Paterne-Racan	Vouvray



(AUAT, 2012)

Annexe 3 : le plan du réseau TER Centre



(SNCF, 2019)

POTENTIEL DE CLIENTÈLE DES GARES PÉRIURBAINES ET RURALES

Annexe 4 : les détails des calculs réalisés lors de l'application

GARE	Population active a	Fréquence de l'offre	Confort	Accessibilité	Distance à Tours (r Distance ^2	Potentiel	Potentiel *F	total voyageu	Écart	Écart relatif	Écart relatif%
Azay-le-Rideau	215	0,6	6	1	28	784	13	77	-261	-0,77	-77,11
Druye	104	1	6	1	20	400	6	37	-30	-0,45	-44,86
Ballan-Miré	995	1	6	1	12	144	60	359	181	1,02	102,22
Joué-lès-Tours	4334	1	9	1	10	100	391	3518	3279	13,71	1371,08
	5648				Total		470	3992	792	3	338
					% /r pop active		8				
GARE	Population active a	Fréquence de l'offre	Confort	Accessibilité	Distance à Tours (r Distance ^2	Potentiel	Potentiel *F	total voyageu	Écart	Écart relatif	Écart relatif%
Langevals	416	1	7	1	22	484	29	204	-877	-0,81	-81,13
Cinq-Mars-la-Pile	383	1	7	0,8	12	144	27	188	-267	-0,59	-58,68
Savonnières	480	0,6	5	0,4	10	100	24	120	111	12,29	1228,91
	1279				Total		80	512	-344	4	363
					% /r pop active		6				
GARE	Population active a	Fréquence de l'offre	Confort	Accessibilité	Distance à Tours (r Distance ^2	Potentiel	Potentiel *F	total voyageu	Écart	Écart relatif	Écart relatif%
Bléré la croix	239	0,8	17	0,8	25	625	41	691	-37	-0,05	-5,11
Véretz	624	0,8	12	0,8	14	196	75	899	786	6,97	696,80
Saint-Pierre-des-Corps	1759	1	65	0,2	5	25	1144	74373	55822	3,01	300,92
	2622				Total		1260	75963	18857	3	331
					% /r pop active		48				

Formule « Potentiel »

$$=LC(-6)*(LC(-5)*(1+(LC(-4)+LC(-3))))/LC(-1)$$

Formule « Écart »

$$=LC(-2)-LC(-1)$$

Formule « Écart relatif »

$$=(LC(-3)-LC(-2))/LC(-2)$$

Directeur de recherche :

Hervé Baptiste

Eléonore Pocheriau

PFE/DAE5

UIT/Réseau

2020-2021

Le potentiel de clientèle des gares pour les trajets du quotidien dans les espaces périurbains et ruraux ? Élaboration et mise en œuvre d'une méthode d'évaluation, application en Indre-et-Loire

Résumé : Dans les zones périurbaines et rurales, une surutilisation de la voiture individuelle est observable. Pour y remédier, une méthode conduisant à un report modal du véhicule motorisé vers les services ferroviaires est pensée et élaborée. Pour cela, les critères faisant le succès d'une gare sont étudiés, via des articles scientifiques et des normes existantes, puis un classement est établi. Les indicateurs ayant le plus de poids sont retenus et injectés dans une équation, élaborée selon l'inspiration des grands modèles d'analyse spatiale, utilisés dans le domaine du géomarketing : *Reilly, Huff et Stewart*. Une application au niveau de trois corridors de l'aire urbaine de Tours est réalisée pour juger de la pertinence de la méthode employée et des améliorations possibles. Cet état de l'art permet de comprendre les critères de succès d'une gare et la façon dont ils peuvent être reliés pour garantir d'un grand nombre d'usagers.

Mots Clés : mobilité domicile-travail, transport, ferroviaire, gare, voiture, potentiel, modèle gravitaire, analyse spatiale