

Rapport de stage

Pour le diplôme d'ingénieur de l'Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris

Année 2025-2026

Exploitation ferroviaire du SERM de Touraine

*Comment les études d'exploitations ferroviaires permettent-elles
d'arbitrer entre les performances du plan de transport et les besoins
d'investissements d'infrastructure ?*

Nathan Legros

Promotion 65

Février-Juillet 2026

Sous la direction de :

Sacha Van Vynckt, Maître de stage

Sophie Petit, Tutrice EIVP

Notice bibliographique

AUTEUR du mémoire			
NOM		Legros	
Prénom		Nathan	
ORGANISME de stage			
NOM organisme		Arcadis	
NOM, Prénom du maître de stage		Van Vynckt, Sacha	
NOM, Prénom du tuteur EIVP		Petit, Sophie	
ANALYSE			
TITRE du mémoire		Exploitation ferroviaire du SERM de Touraine	
TITLE		Railway operations of the Touraine Suburbain Train Network SERM	
RÉSUMÉ (15 à 20 lignes)		Dans une société qui débute sa transition écologique la question des transports pendulaires est un sujet complexe. La décarbonation des transports est envisagée aujourd'hui en partie en favorisant le mode ferroviaire. Dans ce contexte, les projets de SERM (ou RER métropolitains) font partie des réponses soutenues par le gouvernement. Après avoir étudié les acteurs des projets et leurs enjeux, nous nous sommes intéressés à l'articulation et la méthodologie des études d'exploitation ferroviaires amonts de ces projets afin de montrer leur importance dans les choix politiques qu'amènent les projets de SERM à beaucoup de décideurs. Le sujet est illustré par l'étude du projet de SERM de Touraine.	
ABSTRACT		Since the ecological transition started, the way to regard commuting has become a complex subject of study. Transport decarbonisation is now largely driven by railway systems, as the French government promotes SERM projects. SERM are high-frequency train services, connecting a main city to the suburbs (as Paris' RER and bus). Operators of the SERM projects and their stakes are firstly studied, then the way the study of the railway operations before the final decisions go with the decision-making process. The topic is illustrated by the Touraine SERM project.	
Mots-clés		Réseau ferré, Politique des transports, mobilité durable, transports en commun	
Keyword (anglais, 8 maxi) thesaurus		Railway network, transports policy, sustainable transports, public transport	
Références			
	Nb de pages du mémoire	Annexes (nombre de p.)	Bibliogr. : nb de références
	32	3	19

Remerciements

Je souhaite remercier Arcadis et mes deux responsables Mikaël Beck et Mathias Dufresne pour m'avoir accordé la possibilité de les rejoindre au sein de l'activité Emergence. Je veux remercier également Sacha Van Vynckt, mon maître de stage, pour son suivi, son écoute et sa bienveillance tout au long du stage. J'ai également envie de remercier les collègues avec qui j'ai pu travailler, notamment Steve Almosni, Antoine Lemarchand, Marc Fédière et le restant de l'équipe ferroviaire qui m'a chaleureusement accueillie.

Mes remerciements vont aussi vers l'EIVP, à ma tutrice Sophie Petit, à l'équipe pédagogique notamment Victor Thongsa et enfin à M. le Directeur, Franck Jung, pour m'avoir accordé l'aménagement du stage afin de le concilier avec mes fonctions de Vice-président étudiant adjoint de l'Université Gustave Eiffel.

Enfin un grand merci à mes parents et mes amis pour leur soutien au long du stage notamment dans les moments difficiles.

À Thomas, mon ami qui aurait dû pouvoir lire ces lignes.

Sommaire

Remerciements	iii
Liste des annexes.....	vi
Liste des illustrations.....	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction	1
Partie 1 : SERM et réseau ferroviaire.....	2
1. SERM.....	2
1.1. RER Métropolitain.....	2
1.2. Loi SERM	3
1.3. SERM de Touraine	4
2. Les acteurs du réseau ferroviaire.....	5
2.1. SNCF Réseau, gestionnaire d’infrastructure et régulateur des circulations.....	6
2.2. L’Etat	7
2.3. Les Régions, collectivités territoriales et la SGP	8
2.4. Les opérateurs ferroviaires.....	9
2.5. Bureau d’étude et AMO.....	9
2.6. Une gouvernance du SERM.....	10
3. Le réseau ferroviaire et son exploitation	10
3.1. Composants de la voie ferrée	10
3.2. RFN.....	10
3.3. Performance du plan de transport	11
4. Coût et financement des SERM	11
4.1. Montant des budgets dans le ferroviaire	11
4.2. Effet de seuil en investissement ferroviaire	12
Partie 2 : l’étude d’exploitation ferroviaire	13
5. Notions et outils de l’exploitation ferroviaire	13
5.1. La signalisation ferroviaire	13
5.1.1. Trois grands conflits à éviter	13
5.1.2. Eléments et schéma de signalisation	13
5.1.3. Le cantonnement et le BAL.....	14
5.2. L’exploitation ferroviaire.....	14
5.2.1. Définitions et notions importantes.....	15
5.2.2. GET	15

5.2.3.	GOV.....	16
5.2.4.	Réculaire.....	16
5.2.5.	PEE et PER.....	16
6.	Etudes numériques en exploitation ferroviaire.....	17
6.1.	Présentation de RailSys et de Denfert.....	17
6.1.1.	Module Infrastructure	18
6.1.2.	Module Timetable.....	19
6.2.	Méthodologie de l'étude d'exploitation.....	22
6.2.1.	Données d'entrées et hypothèses	23
6.2.2.	Modélisation de l'infrastructure	23
6.2.3.	Trame 2h.....	24
6.2.4.	Trame 24h.....	25
6.2.5.	Test de robustesse	25
6.2.6.	Livrables	25
6.3.	Exemple d'étude sur le renfort de l'axe Tours-Chinon.....	26
6.3.1.	Etude d'un renfort d'offre jusqu'à Chinon	26
6.3.2.	Etude d'un renfort d'offre jusqu'à Azay-le-Rideau ou Rivarennnes	28
6.3.3.	Récapitulatif des différentes variantes.....	28
Partie 3 :	le stage et ses apports.....	29
7.	Arcadis, l'entreprise d'accueil.....	29
7.1.	Arcadis dans le monde	29
7.2.	Arcadis en France.....	29
7.3.	Equipe Émergence	30
8.	Apports du stage.....	30
8.1.	Savoir travailler et intégrer une organisation.....	30
8.2.	Capacité d'adaptation et gestion de projet	31
8.3.	Limites des études.....	31
9.	Perspectives personnelles	32
Conclusion.....		33
Bibliographie		34
Annexes		a

Liste des annexes

Annexe I : Exemple d'un GET d'une simulation avec perturbation dans Denfert	a
Annexe II : Vue microscopique du nœud de Tours dans la modélisation Denfert.....	a
Annexe III : Vue ligne des gares de Saint-Martin-le-Beau et Bléré-La Croix dans la modélisation Denfert	b
Annexe IV : Paramètres de créations des circulations dans le module Timetable de Denfert.....	b
Annexe V : SIF projeté de la gare de Tours	c
Annexe VI : GET théorique de croisement à Chinon	c

Liste des illustrations

Figure 1 : Cartographie SNCF Réseau des SERM en projet.....	2
Figure 2 : Schéma de l'offre projetée du SERM de Touraine (Région Centre Val-de-Loire, 2025)	4
Figure 3 : Extrait de la carte du RFN sur le nœud ferroviaire de Tours (SNCF Réseau, avril 2025).....	4
Figure 4 : Train au départ sur le réseau ferré (image personnelle)	6
Figure 5 : Logo de Rémi, le réseau de mobilité interurbaine de la région Centre-Val de Loire	8
Figure 6 : Organigramme de la comitologie du SERM de Touraine (production personnelle).	9
Figure 7 : Schéma des composants sommaires de la voie ferrée (Transilien, extrait du site malignee.transilien.com)	10
Figure 8 : Carte du RFN (SNCF Réseau).....	11
Figure 9 : Schéma des estimations COI des investissements SERM en 2022	12
Figure 10 : Schéma de fonctionnement du BAL, interne Arcadis	14
Figure 11 : Exemple d'un GET entre Tours-Verdun et Blois, de 9h45 à 11h	16
Figure 12 : GOV projeté de la gare de Blois (voies 4 et 6 des missions se retournant, voies 1 et 2 des missions traversantes)	16
Figure 13 : Logo de RailSys.....	17
Figure 15 : Capture d'écran du logiciel Denfert, montrant la modélisation des blocs d'un seul signal en gare de Château-du-Loir	18
Figure 14 : Extrait de l'interface de Denfert présentant la modélisation en gare de Selles-sur-Cher	18
Figure 16 : Création d'une circulation Bléré-Tours dans le module Timetable de Denfert	19
Figure 18 : Itinéraire, graphique de vitesse et GET d'une circulation Tours-Bléré dans le logiciel Denfert.....	20
Figure 17 : GOV de Saint-Pierre-des-Corps dans le logiciel Denfert.....	20
Figure 19 : GET avec bloc d'occupation sur la bifurcation Tours-Saint-Pierre-des-Corps	21

Figure 20 : Capture d'écran de l'animation de la simulation dynamique dans Denfert.....	22
Figure 21 : Outil Excel développé afin de déterminer la période de 4h avec le plus grand nombre de circulation en gare de Tours à partir de données GTFS	23
Figure 22 : Exemple d'extrait d'un schéma de signalisation d'une gare (cheminots.net)	23
Figure 23 : Réticulaire de trame 2h SA2026 PER (snCF-reseau.com).....	24
Figure 24 : GET de l'étude d'un renfort d'offre à la demi-heure sur la liaison Tours-Chinon, issu du modèle Denfert.....	26
Figure 25 : Carte de contexte de l'étude d'évitement, extraite du livrable client.....	27
Figure 26 : Comparaison des GET des scénarios de croisement sur l'axe de Chinon.....	27
Figure 27 : AMC des variantes de l'étude de Tours-Chinon	28
Figure 28 : Carte de répartition du nombre de collaborateurs dans le monde, ressource Arcadis	29
Figure 29 : Illustration présentant Arcadis en France (ressource Arcadis)	29
Figure 30 : Organigramme de l'équipe Emergence	30

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des branches de l'étoile ferroviaire de Tours et leurs contraintes de circulations hors SERM	5
Tableau 2 : Exemple fictif de fiche horaire des volontés d'activation	25

Introduction

Face à l'urgence climatique actuelle il est devenu prioritaire pour notre génération de travailler sur la transition écologique et saisir les enjeux environnementaux. Dans ce cadre, les politiques publiques de transport s'orientent vers un rebond du mode ferroviaire, mode le moins impactant pour l'environnement. Afin de rendre ce mode de transport crédible dans les trajets du quotidien face à la voiture dans les villes hors Île-de-France, les projets de SERM sont favorisés par le gouvernement et se développent dans de nombreuses villes.

Curieux de se développer et passionné par le monde des transports, je souhaitais pour mon stage de fin d'étude (TFE) pouvoir travailler sur ces projets de SERM, auxquels je tiens particulièrement. Après ma rencontre sur le forum entreprise de l'EIVP, l'équipe d'Arcadis m'a donné l'occasion de les rejoindre pour travailler sur les sujets d'études amonts ferroviaires, dont une étude importante sur le SERM de Touraine.

Le SERM de la région de Tours est un bon exemple d'implémentation d'un SERM dans une métropole française moyenne. De plus, la situation ferroviaire de l'étoile ferroviaire de Tours est plutôt adaptée au projet, même si de nombreuses contraintes sont à surmonter. Bien que le mode ferroviaire soit la colonne vertébrale d'un SERM, les autres modes de transport sont également importants et l'articulation avec le réseau de bus et de tramway de la métropole tourangeoise serait également un cas d'étude intéressant, comme l'intégration des villes périphériques non dotées de voies ferrées.

Comme présenté dans la première partie, le dialogue politique et budgétaire ainsi que les jeux d'acteurs sont des facteurs importants dans la réussite et le respect de l'ambition d'un projet de SERM. Aussi, comme développé dans la deuxième partie, les études amonts du projet qui font l'objet de mon stage sont des étapes importantes pour sa réalisation. En permettant d'aider à fixer clairement les limites entre les ambitions de politique de transport et la compatibilité du réseau existant, les chiffrages à la fois des coûts d'infrastructure nécessaires au développement ou au contraire des dessertes non réalisables sont des aides majeures à la décision pour les acteurs du SERM.

C'est pourquoi je souhaitais que la problématique de mon rapport de stage comprenne les deux visions d'un projet de SERM : la première de la politique publique qui se déroule pour changer un système complexe et la deuxième d'une complexité technique importante à décortiquer pour atteindre le but commun : changer les habitudes de transport pour migrer vers un monde plus respectueux de l'environnement.

Comment les études d'exploitations ferroviaires permettent-elles d'arbitrer entre les performances du plan de transport et les besoins d'investissements d'infrastructure ? permet d'avoir cette double lecture de choix dans les investissements et les ambitions au travers du résultat des études d'exploitation.

Enfin le stage de fin d'étude est aussi le premier grand pas dans le monde du travail et au dehors de l'environnement de l'école. A travers la partie 3 seront décrits les apports non techniques et non académiques qu'impliquent le passage dans la vie active au sein d'une grande structure comme Arcadis.

Partie 1 : SERM et réseau ferroviaire

1. SERM

Dans le langage courant, les notions de SERM et de RER métropolitain sont souvent employées comme des synonymes. Dans ce rapport, il convient toutefois de distinguer ces deux termes qui renvoient à des réalités complémentaires mais non strictement égales.

Le RER métropolitain correspond principalement à un service renforcé de l'offre ferroviaire autour d'une métropole ; il s'agit d'un terme historique hérité du RER francilien. Le SERM, pour Service Express Régional Métropolitain, constitue une notion plus large. Il intègre cette dimension ferroviaire, mais l'inscrit dans un système global de mobilité associant également les cars express, les transports urbains, les pôles d'échanges, les modes actifs, la tarification, la billettique et l'information voyageurs. Ainsi, le RER métropolitain peut être considéré comme l'ossature ferroviaire d'un SERM, tandis que le SERM correspond au projet d'ensemble permettant d'organiser les mobilités du quotidien à l'échelle d'un bassin de vie.



Figure 1 : Cartographie SNCF Réseau des SERM en projet

1.1. RER Métropolitain

La notion de RER métropolitain désigne l'adaptation, en dehors de l'Île-de-France, d'un principe déjà bien identifié avec le réseau express régional francilien : proposer une offre ferroviaire lourde du quotidien, dense et lisible avec suffisamment de circulation pour répondre aux besoins de déplacements entre une ville-centre, sa banlieue et les territoires périurbains. L'objectif initial n'est donc pas uniquement d'ajouter quelques trains supplémentaires, mais de construire un véritable système de transport de masse, capable d'être utilisé naturellement pour les trajets domicile-travail, les études, les loisirs : la plupart des déplacements du quotidien.

Cette ambition repose sur plusieurs principes de service. Un RER métropolitain doit d'abord proposer une offre cadencée, c'est-à-dire organisée à intervalles réguliers, afin que les horaires soient faciles à comprendre pour que le train devienne un mode de transport spontané. Il doit également offrir une fréquence élevée, en particulier aux heures de pointe, une amplitude horaire suffisamment large et une bonne fiabilité d'exploitation. Ces atouts permettent de rapprocher l'usage du train « TER » de celui d'un transport urbain, avec un niveau de service plus simple, plus fréquent et plus prévisible pour l'utilisateur.

Le RER métropolitain se distingue également par son intégration avec les autres réseaux de transport. Il ne peut pas fonctionner comme une offre ferroviaire isolée : son efficacité dépend de la qualité des correspondances avec : les tramways, les bus urbains, les cars interurbains et express, les itinéraires cyclables, les cheminements piétons, les pôles d'échanges multimodaux, ainsi que le matériel roulant employé, etc. Cette interconnexion est essentielle pour organiser le rabattement vers les gares et permettre aux habitants des communes périphériques ou périurbaines d'accéder facilement au réseau structurant.

Les réflexions autour des RER métropolitains se sont développées progressivement depuis les années 2010 dans plusieurs grandes agglomérations françaises, à partir des étoiles

ferroviaires existantes. Elles ont pris une dimension politique nationale à partir de 2022, lorsque l'objectif de développer des réseaux express régionaux autour de grandes métropoles a été confirmé par le Président de la République. Cette impulsion a ensuite conduit à formaliser le cadre des SERM côté gouvernement.

La mise en œuvre d'un tel projet suppose de réunir un grand nombre d'acteurs à l'échelle de l'agglomération et de son bassin de vie : Région, métropole, collectivités locales, État, gestionnaire d'infrastructure, exploitants ferroviaires et opérateurs de transport urbain. Elle nécessite des études permettant d'évaluer la capacité du réseau existant à accueillir une augmentation de l'offre, mais aussi d'identifier les adaptations nécessaires : réouverture ou création de haltes, modernisation de gares, adaptation de lignes, amélioration de la signalisation, création de retournement intermédiaires ou réaménagement de l'intermodalité entre autres.

1.2. Loi SERM

La loi du 27 décembre 2023¹ relative aux services express régionaux métropolitains donne donc un cadre juridique aux SERM et inscrit cette notion dans le code des transports. Elle permet de définir le SERM comme une offre multimodale de transports collectifs publics, mise en place en dehors de l'Île-de-France et s'appuyant prioritairement sur le renforcement de la desserte ferroviaire. Le train en constitue donc l'ossature principale, mais le dispositif intègre aussi explicitement les cars express, les transports urbains, les réseaux cyclables, les pôles d'échanges multimodaux, la billettique et l'information voyageurs. La loi donne ainsi une définition large du SERM, adaptée à la diversité des métropoles françaises.

La mise en œuvre d'un SERM repose sur une gouvernance partagée entre les Régions, autorités organisatrices des services ferroviaires régionaux, les autorités organisatrices de la mobilité locales, les métropoles, les collectivités, l'État, les gestionnaires d'infrastructure et les exploitants. La loi prévoit une logique de labellisation par le Ministère de la Transition Ecologique, permettant d'identifier les projets suffisamment cohérents pour entrer dans une trajectoire d'études, de programmation et de financement. Ce dernier point est déterminant, car le développement d'un SERM peut nécessiter des investissements importants. Dans ce cadre, la loi élargit notamment les missions de la Société du Grand Paris, devenue Société des grands projets, afin qu'elle puisse contribuer à certaines opérations en dehors de l'Île-de-France. Pour les études d'exploitation ferroviaire ce cadre est structurant : il impose de confronter l'ambition d'une desserte plus fréquente et plus fiable à la capacité réelle du réseau historique et aux investissements nécessaires.

¹ Cf. sites internet officiel (Légifrance Loi SERM, 2023) (Vie Publique SERM, 2026)

1.3. SERM de Touraine

L'un des exemples de projet développé dans le cadre de cette loi est le SERM de Touraine, qui sera notre cas d'étude.

Ce projet s'inscrit au sein d'une agglomération de taille moyenne (300 000 habitants), organisée autour de la ville de Tours et d'un bassin de vie dont les déplacements dépassent largement les limites communales. Le territoire présente une situation ferroviaire favorable, avec une étoile organisée autour de huit branches convergeant vers le cœur métropolitain. Cette densité d'infrastructures constitue un atout pour développer une offre de type SERM, qui s'appuie notamment sur des lignes déjà existantes et, pour certaines, récemment rénovées. Elle permet d'envisager une augmentation des circulations ferroviaires, sous réserve d'identifier les goulots d'étranglement du réseau et les investissements nécessaires.

Evolution de l'offre ferroviaire Situation de référence vs. **Situation cible 2040**

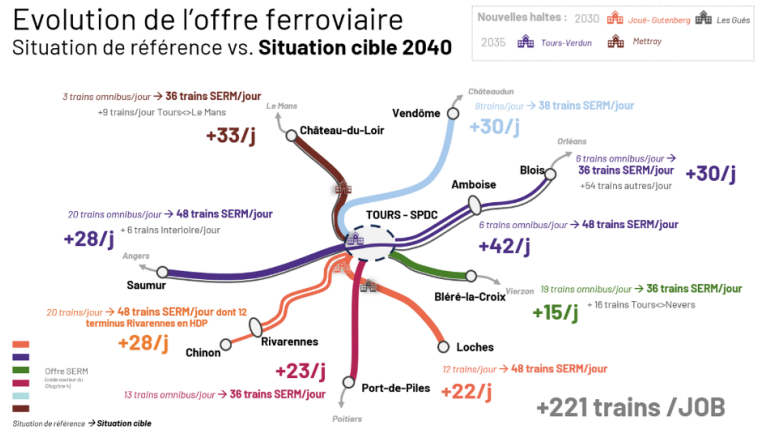


Figure 2 : Schéma de l'offre projetée du SERM de Touraine (Région Centre Val-de-Loire, 2025)

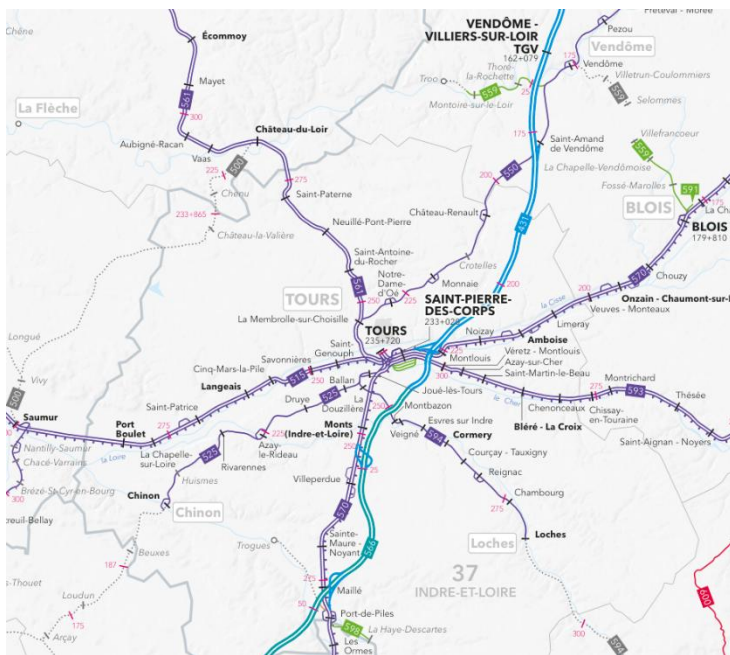


Figure 3 : Extrait de la carte du RNF sur le nœud ferroviaire de Tours (SNCF Réseau, avril 2025)

certaines secteurs. À l'inverse, la présence d'installations de maintenance lourde et de remisage à Saint-Pierre-des-Corps est un atout pour l'exploitation du matériel roulant. Le cas tourangeau montre ainsi l'enjeu central des études d'exploitation : montrer dans quelle mesure l'ambition d'une desserte renforcée peut être conciliée avec les capacités réelles du réseau existant et des

² La diamétralisation est l'organisation d'une infrastructure ferroviaire permettant à une circulation de traverser le cœur du réseau pour relier deux branches opposées, sans avoir pour terminus systématique la gare centrale.

aménagements d’infrastructures projetés. Des circulations denses de TAGV³, d’Intercités⁴, de SLO⁵ et de Rémi Express sont également à prendre en compte. Le réseau autour de Tours sera résumé par branche dans l’étude et le Tableau 1 en donne quelques caractéristiques.

Branche	Importance nationale	Electrification	Nombre de voie	Contrainte FRET	Contrainte Long parcours
Orléans	Haute	Oui	2 + IPCS ⁶	Corridor Européen	SLO et Rémi Express
Poitiers	Haute	Oui	2 + IPCS	Corridor Européen	SLO et TAGV
Saumur	Haute	Oui	2	Trame	SLO, TET et TAGV
Vierzon	Moyenne	Oui	2	Trame	TET
Le Mans	Moyenne	Non	2	Hors trame	-
Vendôme	LDFT ⁷	Non	Unique	Hors trame	-
Chinon	LDFT	Non	Unique	-	-
Loches	LDFT	Non	Unique	Hors trame	-

Tableau 1 : Liste des branches de l’étoile ferroviaire de Tours et leurs contraintes de circulations hors SERM

2. Les acteurs du réseau ferroviaire

Afin de mieux comprendre les enjeux politiques, technique et administratif d’un projet de SERM il est important de comprendre quels acteurs interviennent dans le réseau ferroviaire.

Le système ferroviaire français repose sur de nombreux acteurs aux responsabilités complémentaires. Autour de l’infrastructure, de son financement, de sa régulation et de son exploitation, interviennent à la fois l’État, les Régions, les collectivités territoriales, les gestionnaires d’infrastructure, les autorités de sécurité, les régulateurs économiques et les opérateurs ferroviaires. Cette organisation est donc à la fois diversifiée et multiple : chaque acteur dispose d’un périmètre propre, mais les décisions relatives au développement de l’offre

³ Train Apte à la Grande Vitesse : ensemble des circulations long parcours qui peuvent emprunter les Lignes à Grande Vitesse (LGV) ; TGV est la marque commerciale de SNCF Voyageurs, mais d’autres entreprises ferroviaires comme Velvet prévoient des circulations TAGV aux horizons d’étude.

⁴ Intercités ou TET : train d’équilibre du territoire, circulations ferroviaires organisées par l’état pour relier sur de long parcours des territoires dépourvus de LGV et/ou de circulations TAGV.

⁵ SLO : service librement organisé, circulations ferroviaires sur lignes classiques opérées par des entreprises ferroviaires sans financement publique (comme les Ouigo Train Classique).

⁶ IPCS : Installation Permanente de Contre-Sens, permet la circulation des trains sur chaque voie dans les deux sens pour par exemple qu’un train en double un autre dynamiquement

⁷ LDFT : Ligne de Desserte Fine du Territoire, voir (Le rôle des Régions françaises dans la gestion des « petites lignes » ferroviaires, 2021)

ferroviaire, et plus particulièrement aux projets de SERM, nécessitent une coordination permanente entre ces différentes parties prenantes.

2.1. SNCF Réseau, gestionnaire d'infrastructure et régulateur des circulations

En France, le principal gestionnaire d'infrastructure du réseau ferré national est SNCF Réseau. Son rôle est central dans le système ferroviaire, car il porte la responsabilité de l'accès, de l'exploitation, de la maintenance, de la modernisation et développement de l'infrastructure et surtout de la sécurité des circulations. À ce titre, il est un interlocuteur incontournable pour toute étude d'exploitation ferroviaire : la faisabilité d'un plan de transport dépendant directement de la capacité réelle du réseau, de ses contraintes techniques, de son état patrimonial, des possibilités d'aménagement envisageables et des contraintes de sécurité internes.



Les missions de SNCF Réseau couvrent plusieurs dimensions. D'abord, l'entreprise commercialise l'accès au réseau en attribuant des sillons horaires⁸ aux entreprises ferroviaires et en garantissant, en principe, un accès équitable à l'infrastructure. Ensuite, elle organise l'exploitation quotidienne du réseau, c'est-à-dire la gestion opérationnelle des circulations, la régulation du trafic et la prise en compte des contraintes d'exploitation. Elle assure également la maintenance courante, le renouvellement et la modernisation des composants ferroviaires : voies, aiguillages, caténaires, ouvrages d'art, signalisation, installations électriques ou encore passages à niveau. Enfin, SNCF Réseau intervient comme maître d'ouvrage ou acteur technique majeur dans les projets d'aménagement et de développement du réseau ferré.

Cette position explique pourquoi les études d'exploitation ferroviaire doivent nécessairement s'appuyer sur les données, les référentiels et l'expertise du gestionnaire d'infrastructure. Les documents d'exploitation, les schémas de signalisation, les règles de tracé



Figure 4 : Train au départ sur le réseau ferré
(image personnelle)

des sillons, les plages réservées aux travaux ou encore les contraintes de capacité constituent des éléments déterminants pour évaluer la robustesse d'un scénario de desserte. Dans le cadre d'un SERM, où l'objectif est d'augmenter la fréquence et la régularité des circulations autour d'une métropole, ces éléments deviennent particulièrement structurants : toute amélioration du plan de transport doit être confrontée aux limites physiques et organisationnelles du réseau existant.

L'organisation de SNCF Réseau est faite selon un découpage territorial, avec des directions régionales qui assurent le lien entre les enjeux nationaux du réseau et les besoins propres aux territoires. Cette présence régionale permet d'articuler les priorités

locales, les projets portés par les collectivités et les contraintes industrielles de maintenance ou de régénération. Pour un projet comme le SERM de Touraine, cette articulation est essentielle, car les choix d'exploitation ne relèvent pas uniquement d'une logique de service voyageurs : ils doivent aussi intégrer les circulations existantes, les besoins du fret, les travaux programmés

⁸ Le sillon est la période durant laquelle une infrastructure donnée est affectée à la circulation d'un train entre deux points du réseau ferré : autrement dit il s'agit de l'itinéraire emprunté par le train en incluant les horaires de passage à chaque point

et les capacités d'investissement disponibles, vision que la direction régionale de SNCF Réseau est seule à avoir.

Enfin, le gestionnaire d'infrastructure joue un rôle économique important. L'entretien et la régénération du réseau représentent des coûts élevés, financés par des ressources publiques, par des contrats passés avec l'État et par les redevances acquittées par les entreprises ferroviaires pour l'utilisation de l'infrastructure. Ces droits de circulation constituent un levier de financement mais aussi un élément de régulation économique du système ferroviaire. Ainsi, SNCF Réseau se situe au croisement des enjeux techniques, financiers et politiques : il doit maintenir un réseau sûr et performant, permettre le développement de nouvelles offres de transport et arbitrer l'utilisation d'une infrastructure dont la capacité reste limitée. La tâche est délicate.

On peut noter que d'autres gestionnaires d'infrastructures sont en voie d'apparaître avec les nouvelles possibilités des Régions à devenir propriétaires du réseau ferré. Le cas de référence est la Ligne 14⁹, reliant Nancy à Contrexéville, dont la réouverture est prévue en 2030 avec un gestionnaire d'infrastructure différent de SNCF Réseau. La LGV SEA possède déjà son propre gestionnaire d'infrastructure indépendant de SNCF Réseau.

2.2. L'Etat

L'État, au travers du MTE¹⁰, occupe une place structurante dans le système ferroviaire français. Même si l'organisation quotidienne des services régionaux relève largement des Régions et si l'exploitation concrète du réseau est assurée par les gestionnaires d'infrastructure et les entreprises ferroviaires, l'État conserve un rôle déterminant dans la définition du cadre national, dans la planification des grandes orientations, dans le financement des infrastructures et dans la régulation du secteur. Il intervient donc à la fois comme organisateur, financeur, et autorité de régulation. Il veille à la cohérence d'ensemble du système ferroviaire.

Dans le ferroviaire, l'action de l'État souhaite s'inscrire d'abord dans une logique d'aménagement du territoire et de transition écologique. Le réseau ferré constitue en effet une infrastructure nationale, dont les choix d'investissement ont des effets à long terme sur l'accessibilité des territoires, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la compétitivité des transports en commun. À ce titre, l'État définit les priorités nationales, fixe les objectifs de politique publique et veille à leur articulation avec les engagements européens, notamment en matière de sécurité, d'interopérabilité, de concurrence et de décarbonation des transports. Ces aspirations sont traduites dans le nouveau pacte ferroviaire (Nouveau pacte ferroviaire, 2018).

Pour les projets de SERM, ce rôle est particulièrement important. Ces projets sont portés localement par les autorités organisatrices de la mobilité (généralement les régions), mais ils s'inscrivent dans la stratégie nationale de développement des mobilités du quotidien. L'État intervient donc pour fixer le cadre légal, accompagner par la labellisation des projets, participer aux décisions de financement et veiller à la cohérence entre les ambitions d'un projet et les objectifs nationaux.

Ainsi plusieurs organismes rattachés ou liés à l'État interviennent à différentes échelles dans les projets de SERM. Les DREAL¹¹ assurent le relais territorial des politiques nationales et

⁹ (Site internet de Nova 14, 2024)

¹⁰ MTE : Ministère de la Transition Ecologique, de la Biodiversité et des Négociations internationales sur le climat et la nature (intitulé en juillet 2026)

¹¹ Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

participent au suivi des projets à l'échelle régionale ; la DGITM¹² porte le pilotage stratégique des politiques de transport et d'infrastructures ; l'AFIT France¹³ contribue au financement des opérations d'aménagement ; l'EPSF¹⁴ veille au respect des exigences de sécurité ferroviaire ; enfin, l'ART¹⁵ garantit des conditions d'accès équitables au réseau et contrôle les équilibres économiques du système. Dans le cadre d'un SERM, ces acteurs n'interviennent donc pas directement dans l'exploitation quotidienne ou les études en amont, mais contribuent à créer les conditions administratives et financières du développement de ces nouvelles dessertes.

2.3. Les Régions, collectivités territoriales et la SGP

Les Régions occupent une place centrale dans l'organisation du transport ferroviaire régional. Depuis la régionalisation des services ferroviaires de voyageurs, elles sont autorités organisatrices des services ferroviaires d'intérêt régional. Elles définissent l'offre TER¹⁶, fixent les grands principes du plan de transport, participent à la tarification, financent une part importante du service et contractualisent avec l'exploitant. Elles interviennent également sur le matériel roulant régional, dont elles financent l'acquisition et le renouvellement.



Figure 5 : Logo de Rémi, le réseau de mobilité interurbaine de la région Centre-Val de Loire

Les collectivités territoriales jouent un rôle dans l'organisation des mobilités locales, en particulier lorsqu'elles exercent la compétence d'autorité organisatrice de la mobilité (AOM). Les métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomération ou certaines communautés de communes peuvent ainsi organiser les transports collectifs urbains. À l'échelle d'une agglomération, leur rôle est donc complémentaire de celui de la Région : elles ne pilotent pas directement l'offre ferroviaire, mais elles organisent les réseaux qui permettent d'accéder aux gares et de prolonger les déplacements au-delà du train.

Dans les projets de SERM, la compétence régionale est structurante car le renforcement de la desserte repose largement sur l'offre TER existante. La Région intervient donc sur le niveau de service ferroviaire, le matériel roulant, la contractualisation avec l'exploitant, les études de capacité et les arbitrages financiers. Cependant, un SERM ne se limite pas au train : il associe aussi les transports urbains, les cars express, les pôles d'échanges, les modes actifs, la tarification et l'information voyageurs, qui relèvent en partie des métropoles ou des AOM¹⁷ locales. Cette superposition peut créer un flou de gouvernance, notamment pour les déplacements internes à l'agglomération, la Région reste compétente pour les services ferroviaires régionaux, tandis que la métropole organise les mobilités urbaines. La réussite d'un SERM peut dépendre donc d'une coordination étroite entre ces acteurs afin d'assurer la cohérence des horaires, des correspondances, de la tarification et des investissements.

La Société des Grands Projets intervient quant à elle dans des projets de SERM à la demande des collectivités. En phase amont en tant que coordinatrice des démarches du projet et conductrice du dialogue territorial afin de garantir une vision d'ensemble cohérente du projet.

¹² Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités

¹³ Agence de Financement des Infrastructures de Transport de France

¹⁴ Etablissement Public de Sécurité Ferroviaire

¹⁵ Autorité de Régulation des Transports

¹⁶ TER : Train express régional. Service ferroviaire régional organisé par les Régions et historiquement exploité par SNCF Voyageurs, aujourd'hui progressivement ouvert à la concurrence.

¹⁷ Autorité Organisatrice de la Mobilité (souvent des intercommunalités)

En phase de réalisation la SGP peut être désigné maître d'ouvrage sur tout ou partie des aménagements liés au SERM ou uniquement participer à la bonne articulation des interventions en tant que membre de la structure locale de coordination¹⁸. Enfin la SGP peut participer au financement des projets sur des modèles similaires au Grand Paris Express. La SGP n'étant pas présente dans notre cas d'étude de Tours, nous ne la retrouverons pas dans la suite de l'étude.

2.4. Les opérateurs ferroviaires

Les opérateurs ferroviaires assurent l'exploitation commerciale des services voyageurs : conduite des trains, gestion du personnel roulant, information voyageurs, relation client et mise en œuvre opérationnelle de l'offre définie par l'autorité organisatrice. Historiquement, ces services étaient principalement assurés par SNCF Voyageurs, mais l'ouverture progressive à la concurrence permet désormais à d'autres entreprises ferroviaires de répondre aux appels d'offres régionaux. Dans le cadre de cette étude, leur rôle reste secondaire : les principaux arbitrages portent davantage sur la capacité de l'infrastructure, la construction du plan de transport et les choix d'investissement que sur l'organisation interne de l'exploitant.

2.5. Bureau d'étude et AMO

Les bureaux d'études et les sociétés de conseil, comme Arcadis, interviennent en appui des maîtres d'ouvrage pour traduire les objectifs politiques et les ambitions d'un projet de SERM en solutions techniques réalistes. Leur rôle consiste notamment à répondre à des appels d'offres ou à intervenir dans le cadre d'accords-cadres afin de réaliser les études nécessaires au développement du projet : études d'exploitation, analyses d'infrastructure, estimations de coûts, comparaison de scénarios ou aide à la décision. Ils occupent donc une position intermédiaire et transverse entre les ambitions exprimées par les autres acteurs et leur traduction en actions concrètes, chiffrées et techniquement vérifiables.

Les AMO, ou assistants à maîtrise d'ouvrage, peuvent également accompagner la maîtrise d'ouvrage dans le pilotage de ces études. Leur intervention ne porte pas sur la décision finale mais sur l'aide à la structuration des démarches : clarification des besoins, suivi des prestataires, vérification de la cohérence des hypothèses et préparation des arbitrages. Dans un projet de SERM, ils contribuent ainsi à rendre lisibles des sujets techniques complexes pour les acteurs publics chargés de décider. Dans le cadre

Comitologie du SERM de Touraine

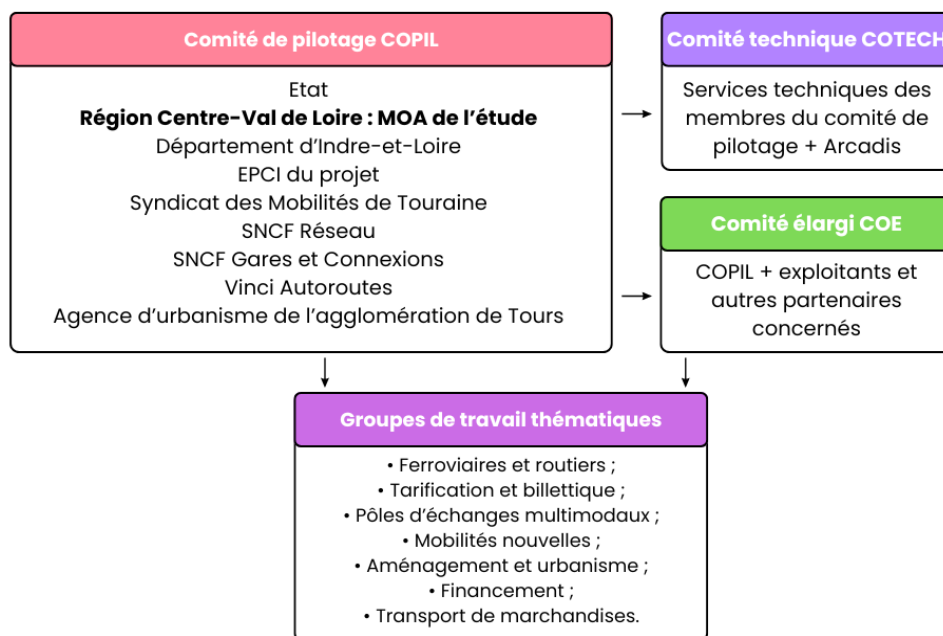


Figure 6 : Organigramme de la comitologie du SERM de Touraine (production personnelle)

¹⁸ (SGP)

du SERM de Touraine, une AMO dédiée à la gestion du matériel roulant accompagne la région Centre-Val de Loire.

2.6. Une gouvernance du SERM

La gouvernance d'un projet de SERM revient à se saisir d'un sujet de développement des mobilités et d'aménagement du territoire, plus que d'un sujet technique. La création d'un SERM requiert avant tout une concertation des parties prenantes à l'origine du projet. A ces fins, la création du comité de pilotage rassemble les acteurs concernés par le projet (Figure 6), comme définie dans le Code des transports¹⁹. C'est la région qui pilote notre étude et rend compte au COPIL.

Un comité technique vient prendre part à ce fonctionnement, avec l'ensemble des acteurs techniques qui peuvent être impactés par un tel projet (ainsi que les territoires limitrophes). La question des infrastructures étant au cœur de ces projets, il y a donc une nécessaire participation des gestionnaires d'infrastructures dans ces instances (y compris un ou plusieurs concessionnaires d'autoroutes pour la partie routière) et l'étude questionne et tient compte des décisions du comité technique.

3. Le réseau ferroviaire et son exploitation

Quelques éléments de contexte et de vocabulaire technique sont à connaître sur le réseau ferroviaire afin de mieux appréhender la suite du rapport.

3.1. Composants de la voie ferrée



Figure 7 : Schéma des composants sommaires de la voie ferrée (Transilien, extrait du site malignee.transilien.com)

Une voie ferrée est composée de plusieurs éléments qui assurent le guidage, le support et la sécurité des trains. Les rails permettent le roulement et le guidage du matériel roulant, tandis que les traverses maintiennent leur écartement entre ces rails. Le ballast, constitué de pierres concassées, stabilise la voie, absorbe une partie des vibrations et facilite le drainage. Sous cet ensemble. À ces éléments s'ajoutent les appareils de voie, comme les aiguillages, qui permettent d'orienter les trains vers différents itinéraires. La signalisation encadre les circulations en indiquant les autorisations de mouvement et les limitations de vitesse. Elle est composée de pancartes et feux colorés. Sur les lignes électrifiées, la caténaire fournit l'alimentation électrique aux trains. Enfin, les gares, quais, installations de service et passages à niveau complètent

l'infrastructure en permettant les interactions des voies avec le monde extérieur. Ainsi, la performance et les investissements d'une ligne ne dépendent pas uniquement des rails, mais de l'ensemble de ces composants techniques.

3.2. RFN

Le réseau ferré national, ou RFN, désigne l'ensemble des lignes ferroviaires relevant du réseau national. Il constitue le support principal des circulations voyageurs et fret, et son accès, son exploitation, sa maintenance et sa tarification sont encadrés.

Chaque ligne présente des caractéristiques techniques qui conditionnent le matériel roulant pouvant y circuler et ses performances : le gabarit définit l'encombrement maximal admissible, l'électrification impose une compatibilité avec le type d'alimentation disponible, comme le 1

¹⁹ (L. 1215-8 du Code des Transports, 2023)

500 V continu ou le 25 kV alternatif, la voie unique limite les croisements et donc la fréquence, tandis que la pente, la vitesse maximale autorisée et le rayon de courbure influencent les accélérations, les temps de parcours et la capacité d'exploitation. Ainsi, les études ferroviaires doivent toujours croiser les caractéristiques de l'infrastructure avec les capacités du matériel roulant.

3.3. Performance du plan de transport

Dans ce rapport, la performance du plan de transport désigne la capacité d'une planification horaire des circulations ferroviaires à répondre à un objectif de service tout en restant compatible avec les contraintes réelles de l'infrastructure. Elle ne se limite donc pas au nombre de trains pouvant circuler par jour : elle intègre aussi la fréquence proposée (et des adaptations en heure de pointe), la régularité attendue, la robustesse de l'exploitation et la capacité du système à absorber des perturbations. Cette notion est centrale dans le cas d'un SERM, car les circulations supplémentaires doivent s'insérer sur des voies déjà utilisées par les TER existants, les trains de fret et les trains longue distance ; ces contraintes sont encore plus importantes à Tours comparé à certaines lignes franciliennes qui utilisent une infrastructure dédiée. L'enjeu des études d'exploitation est donc d'évaluer jusqu'où le plan de transport peut être amélioré avec l'infrastructure disponible, puis d'identifier les investissements nécessaires lorsque les limites de capacité ou de robustesse sont atteintes.



Figure 8 : Carte du RFN (SNCF Réseau)

4. Coût et financement des SERM

Les acteurs du financement des SERM sont donc les décideurs des solutions à mettre en place parmi ce que les études d'exploitation ferroviaire vont proposer. En tant que prestataire à l'œuvre de ces études il est intéressant de regarder les réalités budgétaires dans lesquels évoluent les estimations proposées.

4.1. Montant des budgets dans le ferroviaire

Comme abordé précédemment, le financement des SERM repose sur un montage associant l'État, les Régions, les collectivités territoriales et, selon les projets, d'autres financeurs publics. L'État intervient principalement par les contrats de plan État-Région, qui permettent de contractualiser les budgets pour les études, les premiers travaux et certains travaux d'infrastructure. Selon les premières estimations de 2022 du Conseil d'Orientation des Infrastructures (COI), les coûts des premiers projets de SERM s'étalent de 300 M€ à 4,5Md€ en fonction des contextes, uniquement pour les investissements d'infrastructure (hors matériel roulant entre autres). En 2025, une estimation de 20Md€ sur 20 ans est donnée par le COI pour tous les projets de SERM (Grands projets : le temps des choix, 2026). La région Centre-Val de

Loire prévoit par exemple un investissement de 400M€ à 750M€ pour le SERM de Touraine sur 15 ans (Dossier de statut SERM de Touraine, 2025) et un surcoût en fonctionnement de minimum 70M€ par an à terme du projet, ceux à quoi s'ajoutent 250M€ pour la matériel roulant et 100M€ pour la sécurisation des passages à niveau.

Pour comparaison en 2025 le budget de l'AFIT pour les transports ferroviaires est de 2 5Md€ en autorisation d'engagement (Rapport d'activité 2025). Aujourd'hui 27 projets labelisé SERM doivent se partager les 2,7 Md€ fléchés SERM des CPER dont 900M€ apportés en supplément par l'Etat (Grands projets : le temps des choix, 2026).

Au vu de ces compétences, la Région est un acteur majeur dans le financement des projets de SERM. Si l'on regarde le budget 2025 de la Région Centre-Val de Loire sur 1,9Md€, 390M€ sont crédités en fonctionnement et 150M€ en investissement pour le domaine des transports. De nettes augmentations de 50 et 80% sont prévues pour 2026 sur ces volets pour les besoins notamment des deux SERM que la Région coordonne. Les ordres de grandeur pour une AOM comme le Service des Mobilités de Touraine sont de 50M€ d'investissement et 130M€ de fonctionnement (Compte Administratif 2024).

La répartition des financements pour l'investissement du SERM de Touraine est proposé en trois tiers entre l'Etat, la Région et les AOM du périmètre (notamment le Syndicat des Mobilités de Touraine), là où le matériel roulant est à parité entre la Région et les AOM.

4.2. Effet de seuil en investissement ferroviaire

Dans les études d'exploitation ferroviaire, les investissements ne produisent pas toujours des effets linéaires sur la performance du plan de transport. Certains aménagements peuvent n'apporter qu'un gain limité quand un autre point bloquant subsiste sur la ligne ou dans le nœud ferroviaire. À l'inverse, le franchissement d'un seuil d'investissement (par exemple l'adaptation d'un plan de voies ou la suppression d'un conflit de circulation) peut permettre une amélioration nette de la capacité.

Ce qu'on recherche dans nos études est donc d'identifier ces paliers et construire des scénarios cohérents, associant un niveau de service visé à un ensemble d'investissements compatibles. Chaque scénario met en regard les gains attendus pour l'exploitation (comme le nombre de trains supplémentaires, les gains en robustesse, l'amélioration des correspondances, etc.) avec le coût des aménagements nécessaires. Cette approche permet de fournir aux décideurs une aide à l'arbitrage : il ne s'agit pas que de déterminer ce qui est techniquement possible, mais aussi d'évaluer à partir de quel niveau d'investissement le gain de service devient réellement significatif au regard des moyens financiers mobilisables.

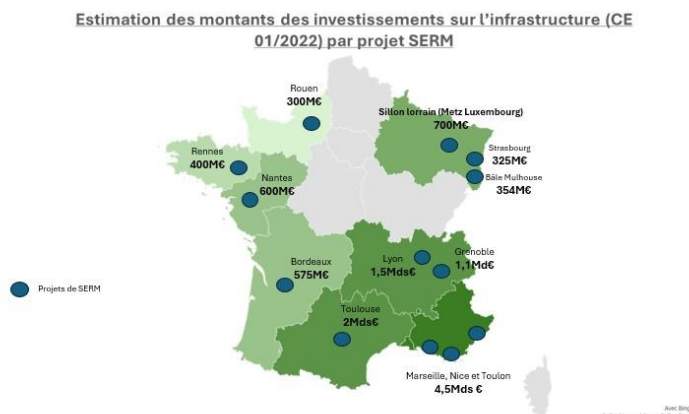


Figure 9 : Schéma des estimations COI des investissements SERM en 2022

Partie 2 : l'étude d'exploitation ferroviaire

Après avoir présenté le cadre et le contexte de la problématique, cette deuxième partie se concentre sur le travail réalisé pendant le stage : les études d'exploitation ferroviaire. Celles-ci permettent de traduire des objectifs « politique » de service en une analyse technique de leur faisabilité, en tenant compte des contraintes du réseau, de leurs effets sur l'exploitation et des aménagements nécessaires lorsque les limites de l'infrastructure sont atteintes. Il s'agit donc ici de présenter les grands principes de l'exploitation ferroviaire, puis de montrer comment les outils spécialisés permettent d'aboutir à des conclusions sur un cas d'étude concret.

5. Notions et outils de l'exploitation ferroviaire

5.1. La signalisation ferroviaire

La signalisation ferroviaire encadre la circulation des trains en garantissant à la fois leur sécurité, leur espacement et la gestion des conflits d'itinéraires. Elle constitue un élément central de l'exploitation ferroviaire, car elle ne se limite pas à transmettre des indications aux conducteurs : elle détermine aussi la capacité pratique d'une ligne. La longueur des cantons, les règles d'annonce et d'exécution, la position des signaux ou encore la nature des installations de sécurité conditionnent directement les temps de parcours, les marges nécessaires et la possibilité d'insérer de nouvelles circulations.

Un principe à garder en mémoire est que les trains ne circulent pas « à vue », contrairement à une voiture, un bateau ou un tramway. La distance de freinage d'un train étant importante, c'est la signalisation qui régit toute la sécurité de la mise en marche du train et le conducteur doit s'y conformer strictement car il ne peut pas s'arrêter à la vue d'un obstacle ou d'un autre train.

Toutes les connaissances dans ce domaine sont regroupées dans (La signalisation ferroviaire, 1987), dont des informations de la partie sont extraites.

5.1.1. Trois grands conflits à éviter

La signalisation vise principalement à éviter trois grands types de conflits entre circulations. Le premier est le rattrapage, lorsqu'un train risque de pousser celui qui le précède sur une même voie et dans le même sens. Le deuxième est le nez-à-nez, qui correspond au risque de rencontre frontale entre deux trains circulant en sens opposés sur une même section de voie. Le troisième est le cisaillement (ou écharpe) lorsqu'un train coupe ou rejoint l'itinéraire d'un autre au niveau d'un appareil de voie. Ces trois situations structurent les règles de cantonnement, d'espacement et d'autorisation des itinéraires, dans une optique de sécurité des circulations.

5.1.2. Eléments et schéma de signalisation

Plusieurs types d'éléments constituent la signalisation ferroviaire. Les pancartes indiquent des informations fixes, comme un point kilométrique, une limitation de vitesse, une limitation temporaire, etc. Les signaux lumineux, eux, transmettent au conducteur une information dynamique sur l'occupation de la voie devant lui et sur la conduite à adopter. Certaines indications décrivent de manière figée l'infrastructure, tandis que d'autres évoluent en fonction de l'occupation des voies et des itinéraires formés.

Dans la conduite d'un train, l'information ne peut pas être donnée seulement au point où l'action doit être réalisée. Les distances de freinage étant longues, le conducteur doit être prévenu en amont qu'un arrêt ou un ralentissement sera nécessaire. C'est pour cette raison que l'on distingue généralement un signal d'annonce, qui prépare l'action à venir, et un signal

d'exécution, qui impose l'action immédiate. Un même signal peut remplir l'une ou l'autre de ces fonctions.

Tous ces signaux sont représentés dans des schémas de signalisation. Ce sont des plans qui représentent l'infrastructure de manière linéaire et indiquent les points kilométriques exactes de chaque élément de signalisation, ainsi que son contenu et son nom (notamment pour les aspects des feux qui varient en fonction de ce qui doit être annoncé). On y retrouve également les informations des voies de service ou principale, les vitesses autorisées, la longueur des quais et les passages à niveau, etc. (Figure 22).

5.1.3. Le cantonnement et le BAL

Le cantonnement consiste à découper une ligne en sections successives, appelées cantons, afin de garantir l'espacement entre les trains. Un seul train est admis dans un canton à un instant donné. Ce principe permet notamment d'éviter les rattrapages entre circulations de même sens.

Les cantons sont délimités par des signaux qui autorisent, limitent ou interdisent la progression du train. Le plus souvent, le feu vert indique que la voie est libre, le feu jaune avertit le conducteur qu'il doit pouvoir s'arrêter au signal suivant, et le feu rouge impose l'arrêt. Cette logique permet de gérer l'occupation de l'infrastructure à partir de l'occupation réelle de la ligne.

Le Block Automatique Lumineux, ou BAL, est l'un des systèmes de cantonnement utilisés sur les lignes à trafic important. Il repose sur une détection automatique de l'occupation des cantons par des capteurs et sur la modification automatique de l'aspect des signaux en fonction de la position des trains (Figure 10). Pour les études d'exploitation, cette logique est déterminante : plus les cantons sont courts et adaptés aux vitesses voulues, plus l'infrastructure peut accepter des circulations rapprochées et un débit élevé. À l'inverse, une signalisation moins performante ou des cantons longs peuvent limiter la fréquence possible, même si la voie paraît « visuellement » disponible.

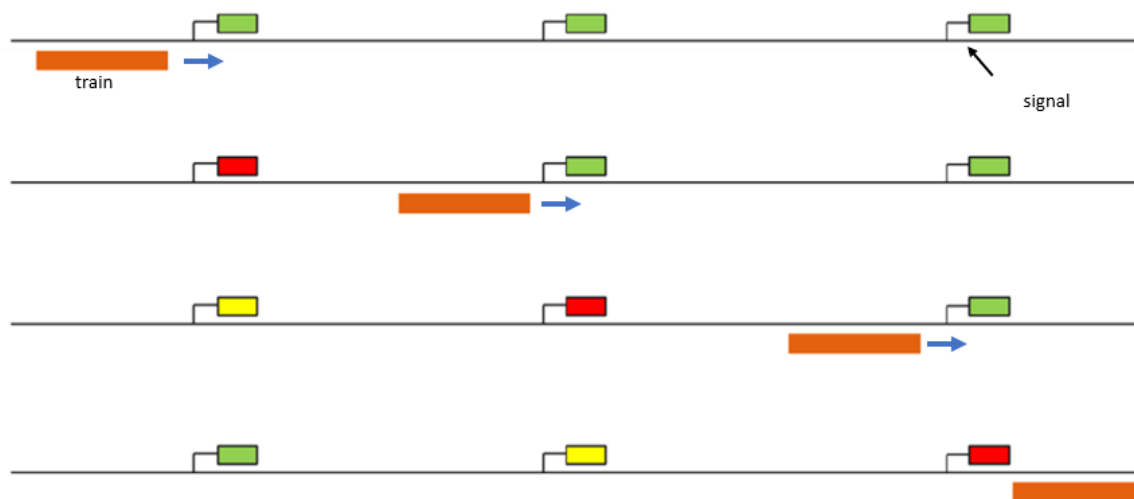


Figure 10 : Schéma de fonctionnement du BAL, interne Arcadis

5.2. L'exploitation ferroviaire

L'exploitation ferroviaire regroupe les règles et méthodes qui permettent d'organiser la circulation des trains sur une infrastructure donnée. Elle consiste à faire correspondre un objectif de service, comme une fréquence renforcée ou une amplitude horaire élargie, avec les

contraintes réelles du réseau : capacité des voies, signalisation, croisements, occupation des gares ou encore marges de régularité. Dans le cadre d'un SERM, les études d'exploitation permettent ainsi de vérifier la faisabilité d'un scénario de desserte et de proposer des adaptations nécessaires lorsque l'infrastructure existante atteint ses limites.

Beaucoup de notions d'exploitations sont regroupées au sein de (Manuel d'Exploitation Ferroviaire, 2024) qui a servi de source principale dans l'apprentissage de ce domaine spécifique.

5.2.1. Définitions et notions importantes

Plusieurs notions sont utilisées de manière récurrente dans en exploitation. Une mission désigne un trajet ferroviaire défini par une origine, une destination et une politique d'arrêt²⁰. Le sillon correspond à la traduction horaire de cette mission sur l'infrastructure : il précise l'itinéraire emprunté, les minutes de passage et les marges de régularité associées. L'activation indique ensuite les moments de la journée où ce sillon est effectivement utilisé. Un sillon peut ainsi exister dans une trame de référence sans être activé à toutes les heures.

Le roulement du matériel roulant décrit l'enchaînement des missions assurées par une même rame²¹ au cours de la journée. Il doit être compatible avec les temps de parcours, les temps de retournement²² en terminus, les opérations de remisage²³ ou de maintenance. Le temps de retournement est donc un paramètre important : s'il est trop court, la moindre perturbation peut se répercuter sur la mission suivante ; s'il est trop long, il consomme de la capacité des quais en gare et du matériel roulant supplémentaire.

5.2.2. GET

Le graphique espace-temps, ou GET, est l'un des principaux outils de représentation de l'exploitation ferroviaire. Il représente les positions des trains dans le temps sous forme de courbes, avec le temps en abscisse et la position sur la ligne en ordonnée. Chaque courbe correspond à un train ou à un sillon. La pente de la courbe traduit la vitesse moyenne du train : une courbe plus inclinée correspond à un déplacement plus rapide, tandis qu'un segment horizontal indique un arrêt en gare.

²⁰ Le choix de desservir certaines gares ou non

²¹ La rame est l'ensemble des voitures d'un train de voyageurs, aujourd'hui non dételable

²² Le retournement est le fait pour une rame de changer de sens de circulation, de « faire demi-tour »

²³ Le remisage est la mise « au parking » d'un train

Le GET permet de lire rapidement les interactions entre les trains : croisements sur voie unique, rattrapages possibles, conflits de circulation ou marges disponibles entre deux circulations. Dans les études d'exploitation, il sert donc à vérifier la trame horaire, mais aussi à repérer les zones où l'infrastructure devient contraignante ou au contraire disponible. C'est un document à la fois technique et pédagogique, car il rend visibles des phénomènes qui seraient difficiles à comprendre uniquement à partir de tables horaires.

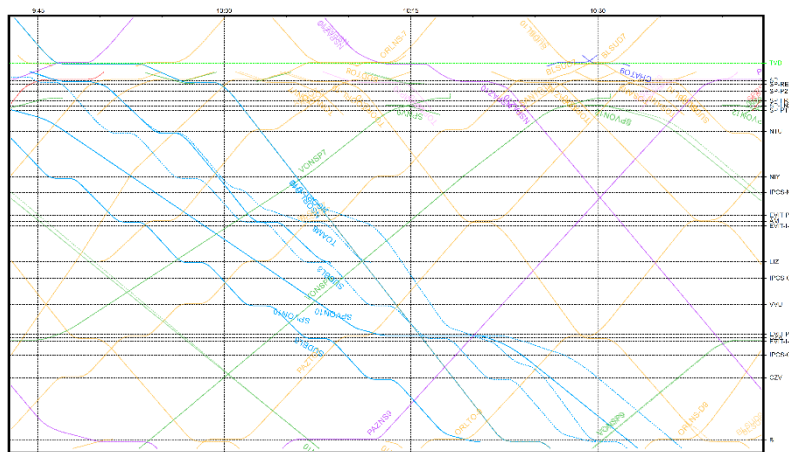


Figure 11 : Exemple d'un GET entre Tours-Verdun et Blois, de 9h45 à 11h

5.2.3. GOV

Le graphique d'occupation des voies, ou GOV, complète le GET en se concentrant sur les gares. Il représente les périodes pendant lesquelles chaque voie à quai est occupée par un train. Il permet de vérifier qu'un train peut être reçu sur une voie, quand la voie est disponible et que son temps d'arrêt ou de retournement est compatible avec les autres circulations.

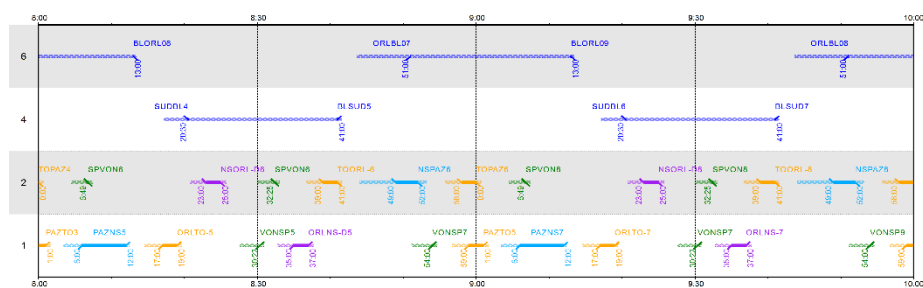


Figure 12 : GOV projeté de la gare de Blois (voies 4 et 6 des missions se retournant, voies 1 et 2 des missions traversantes)

Dans un nœud ferroviaire, le GOV est particulièrement important car la capacité n'est pas seulement limitée par les voies en ligne, mais aussi par les quais et les temps d'arrêt. Une gare sous dimensionnée peut ainsi devenir un point bloquant même si les lignes qui y arrivent disposent encore de capacité apparente.

5.2.4. Réticulaire

Le réticulaire est un document de base dans la planification d'une offre cadencée²⁴. Il représente une trame horaire de référence, souvent construite sur deux heures, qui peut ensuite être répétée ou adaptée au cours de la journée. Il indique les sillons, leur fréquence, leur politique d'arrêt, leurs minutes de départ et d'arrivée dans les gares principales, ainsi que les correspondances possibles (Figure 23). Dans une étude SERM, il permet de passer d'une ambition de service à une organisation horaire lisible et vérifiable.

5.2.5. PEE et PER

Les PEE et les PER constituent des documents de référence portés par SNCF Réseau pour organiser l'usage futur du réseau. Le PER, plan d'exploitation de référence, contient à l'horizon de 5 ans les ambitions de circulations des différents acteurs et devient définitif une certaine

²⁴ L'offre cadencée est la conception de l'enchaînement des missions ferroviaires avec un pattern récurrent de 2h se reproduisant toute la journée

durée avant la période étudiée. Le PEE, plan d'exploitation émergent, est la première version à long terme (10 ans) du PER. Ces documents donnent et recensent le cadre pour construire les hypothèses de desserte à prendre en contrainte. Ils sont fournis sous forme de réticulaire (voire 5.2.4). Les PER sont publiques et en accès libre sur le site de SNCF Réseau (PER, 2026).

6. Etudes numériques en exploitation ferroviaire

Les études d'exploitation ferroviaire reposent sur beaucoup de calculs horaires. Il faut prendre en compte les vitesses autorisées, les temps d'arrêt en gare, les performances du matériel roulant, la signalisation, les conflits possibles entre trains ou encore les marges nécessaires pour garder une exploitation robuste. Une partie importante du travail consiste donc à vérifier si une offre théorique peut réellement être tracée sur le réseau existant, sans créer de conflits et d'évaluer la robustesse par rapport aux autres circulations.

Ce type d'étude se prête bien à l'utilisation de logiciels numériques spécialisés. En effet, les calculs sont nombreux, souvent répétitifs et itératifs, et doivent être ajustés à chaque modification d'une circulation ou de l'infrastructure. Les logiciels permettent alors de représenter le réseau, de simuler les circulations et de tester plusieurs scénarios extrêmement plus rapidement qu'avec une méthode uniquement manuelle. Les calculs n'analysent pas les résultats, ce qui est le travail de l'ingénieur, mais ils donnent une quantification pour comparer les hypothèses et repérer les limites des propositions.

6.1. Présentation de RailSys et de Denfert



Figure 13 : Logo de RailSys

Parmi ces logiciels, RailSys, de RMCON, est un logiciel développé pour les études d'exploitation ferroviaire, notamment dans les phases amont d'étude des projets. Il permet de modéliser un réseau ferroviaire, d'y intégrer des circulations et d'analyser leur compatibilité entre elles et avec les contraintes d'infrastructure. Son intérêt est de pouvoir tester

différents plans de transport et des améliorations avant même leur financement et leur mise en œuvre, afin d'identifier les conflits, les besoins de marge ou les aménagements qui pourraient être les plus pertinents.

Denfert est une version de RailSys développée et adaptée pour les besoins de la SNCF²⁵. Cette version intègre les spécificités du réseau ferroviaire français, en particulier sur la signalisation, les règles de calcul horaire et les méthodes utilisées par les horairistes. Dans le cadre d'une étude comme celle du SERM de Touraine, cet outil est donc indispensable, car il permet de travailler avec des hypothèses proches de celles utilisées par le gestionnaire d'infrastructure en réalité²⁶, pour en savoir plus sur Denfert : (Article sur Denfert, 2020).

Ces logiciels sont organisés en plusieurs modules. Les deux principaux, que j'ai donc utilisé pendant le stage, sont le module Infrastructure et le module Timetable²⁷. Le premier sert à modéliser le réseau ferré, avec ses voies, ses gares, ses ADV (appareils de voie), ses caractéristiques (comme la vitesse) et sa signalisation. Le second sert ensuite à construire et

²⁵ Utilisée notamment à SNCF Réseau, mais propriété de Transilien

²⁶ Utiliser RailSys original sur le réseau français revient à faire beaucoup d'approximation car le logiciel n'est pas conçu avec les mêmes logiques de fonctionnement, notamment sur la signalisation

²⁷ Timetable, ou grille horaire, est l'enchaînement des horaires de passage d'une circulation à chaque point remarquable de son trajet (comme une gare ou un ADV)

analyser les horaires des circulations de trains sur ce réseau. Les deux modules sont donc liés : une modification de l'infrastructure peut changer les possibilités de tracé horaire, et inversement un besoin d'exploitation peut faire apparaître une limite sur le réseau. Des itérations et de relance de calcul sont donc souvent nécessaires dans l'étude

L'utilisation de Denfert est encadrée. Comme il s'agit d'un outil interne commercialisé uniquement pour les bureaux d'étude titulaire de certains marchés, son accès nécessite des règles précises, notamment l'usage d'un ordinateur SNCF dédié. Les données internes du réseau ferrés sont également accessible uniquement depuis ce poste

6.1.1. Module Infrastructure

Le module Infrastructure sert à modéliser numériquement le réseau ferré sur lequel les circulations seront étudiées. Il contient les caractéristiques principales des voies, comme les vitesses limites, les pentes, les appareils de voie, les quais, les gares et les éléments de signalisation. Cette étape est importante, car la qualité du modèle conditionne ensuite la fiabilité des résultats obtenus dans les calculs horaires et le succès d'une modélisation d'une circulation sans bug.

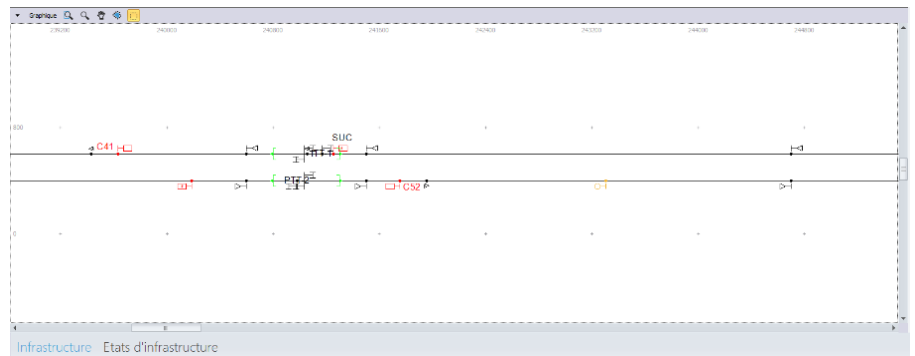


Figure 15 : Extrait de l'interface de Denfert présentant la modélisation en gare de Selles-sur-Cher

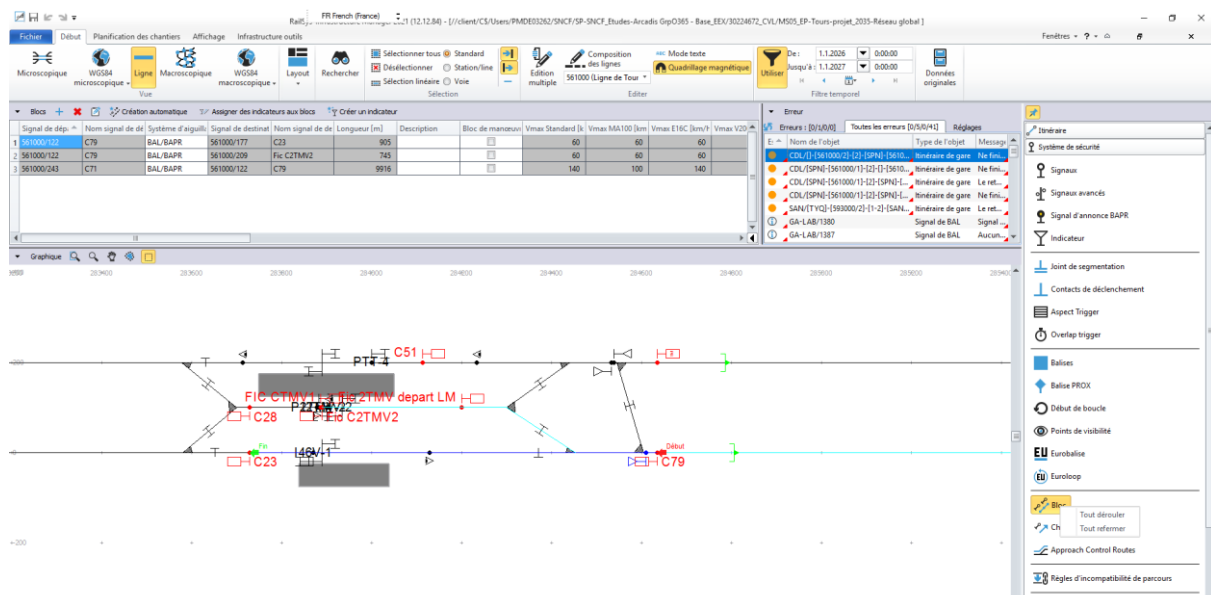


Figure 14 : Capture d'écran du logiciel Denfert, montrant la modélisation des blocs d'un seul signal en gare de Château-du-Loir

Le fonctionnement du module peut être comparé à celui d'un SIG²⁸. Le réseau est construit à partir de points remarquables, par exemple un changement de vitesse, un signal, un appareil

²⁸ Système d'Information Géographique : logiciel traitant de la donnée spatiale et géographique

de voie à un point kilométrique particulier. Ces points sont reliés par des lignes²⁹ représentant les voies ferrées. Chaque segment porte ensuite des informations nécessaires au calcul, comme sa longueur, sa vitesse autorisée ou sa position entre les autres segments dans le réseau.

À partir de cette base, le logiciel permet de définir les « blocs » (ou itinéraires) que les trains peuvent emprunter. Ces itinéraires sont les chemins que les trains peuvent parcourir tenant compte de la signalisation et vont former les blocs de cantonnement. En ligne, ces blocs servent à maintenir une distance de sécurité entre les trains et à éviter les rattrapages. En gare (Annexe III) ou dans les zones d'aiguillage ou de bifurcation (regroupés dans RailSys sous le même terme de gare), ils permettront aussi de repérer les conflits d'itinéraires, par exemple lorsqu'un train coupera la trajectoire d'un autre. Le modèle infrastructure n'est donc pas seulement une représentation graphique du réseau : il est la première base décomposée des sillons des circulations modélisées dans le module Timetable.

L'interface du logiciel représente le réseau est à la fois graphiquement et organisée sous forme de base de données (Figure 14). Les éléments sont principalement positionnés dans la vue principale selon leur point kilométrique sur la ligne, ce qui correspond à la logique ferroviaire classique linéaire en « 1D »³⁰. Une vue géographique, « Microscopique » (Annexe II), peut aussi être utilisée pour faciliter la lecture d'ensemble, mais elle reste moins précise et inutilisée par logiciel pour les calculs.

6.1.2. Module Timetable

Le module Timetable sert à modéliser les circulations des trains sur l'infrastructure déjà construite dans le premier module. Il permet de définir, pour chaque train, son origine, sa destination, ses arrêts intermédiaires, son horaire de départ, son horaire d'arrivée et les voies qu'il emprunte. (Figure 16) Les mouvements techniques peuvent aussi être intégrés, par

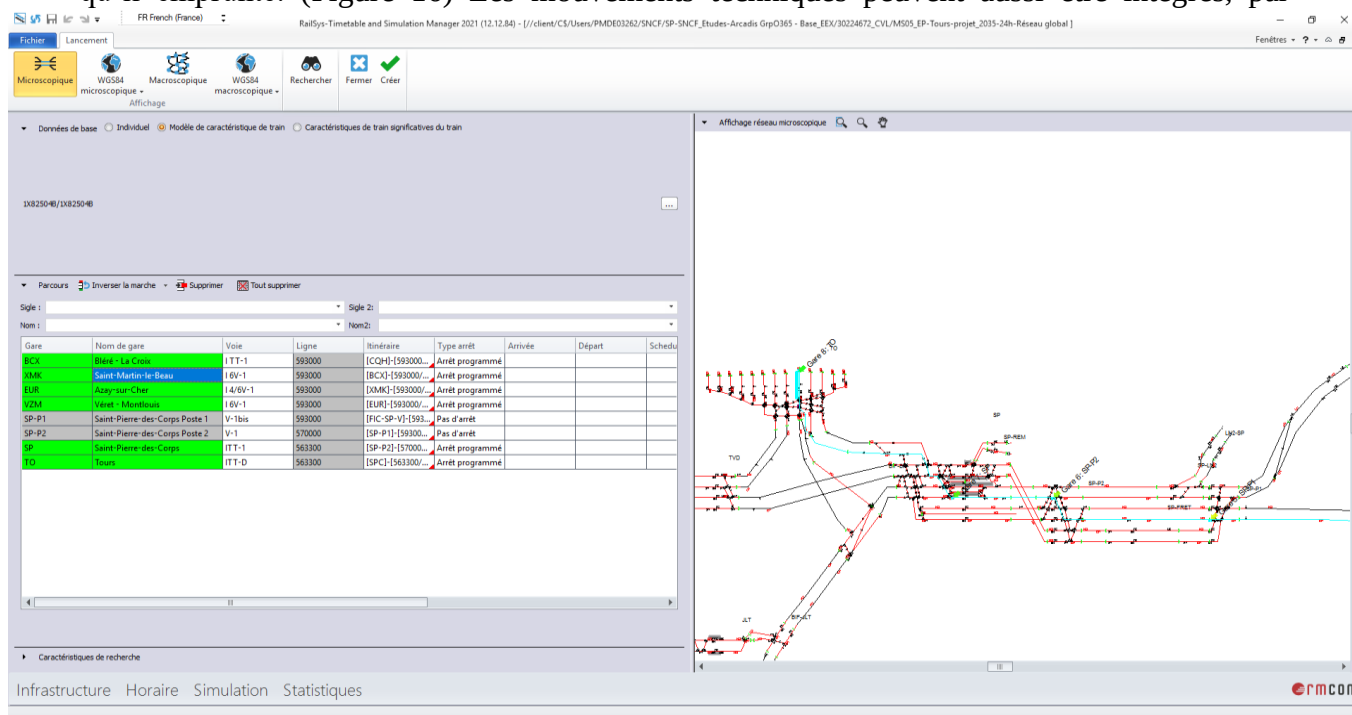


Figure 16 : Création d'une circulation Bléré-Tours dans le module Timetable de Denfert

²⁹ Dans RailSys le terme est « ligne », là où dans un SIG le terme utilisé est habituellement « segment »

³⁰ 1D : 1 dimension, par opposition aux modélisations en 3D ou en 2D

exemple pour un train qui entre ou sort d'un site de remisage. Avant de tracer les circulations, une base de données des trains est créée avec leurs principales caractéristiques, comme le type de matériel roulant, ses performances d'accélération et de freinage, ou encore ses vitesses limites.

La construction horaire s'appuie ensuite sur les sillons ferroviaires définis dans le cadre de l'étude (ou déjà existante). Dans le cas des PEE et PER, les circulations sont organisées autour d'un schéma répétitif, par exemple toutes les heures ou toutes les deux heures selon les missions. Cette logique permet de générer des groupes de trains (Annexe IV) qui se répètent dans la journée, au lieu de créer chaque circulation une par une. Une fois les trains tracés dans

les deux sens et pour les différentes origines-destinations, le logiciel permet d'analyser leurs itinéraires et leur insertion dans le réseau.

Un premier travail consiste à vérifier les voies de réception et les itinéraires utilisés en gare. Les GOV permettent de visualiser l'occupation des voies et d'ajuster les choix proposés automatiquement par l'algorithme (Figure 17). Cette étape est importante, car une voie de réception mal choisie peut créer un conflit avec une autre circulation, ou rendre impossible un retournement dans de bonnes conditions. Le module Timetable permet donc de corriger

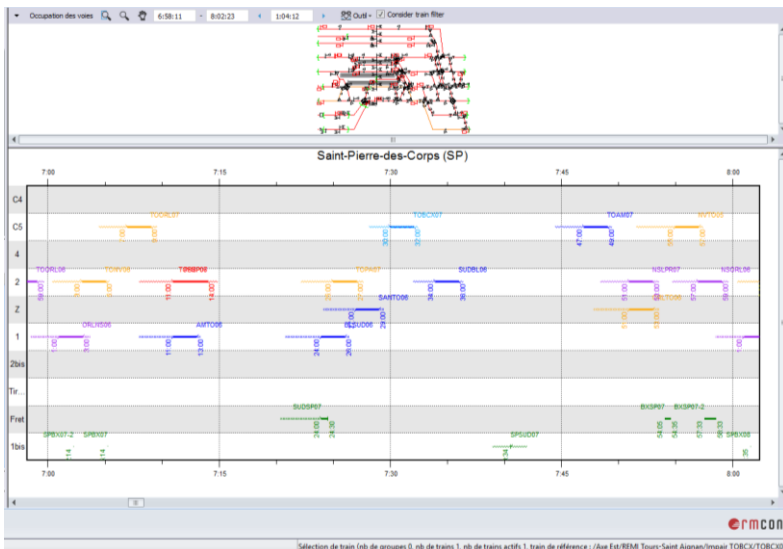


Figure 17 : GOV de Saint-Pierre-des-Corps dans le logiciel Denfert

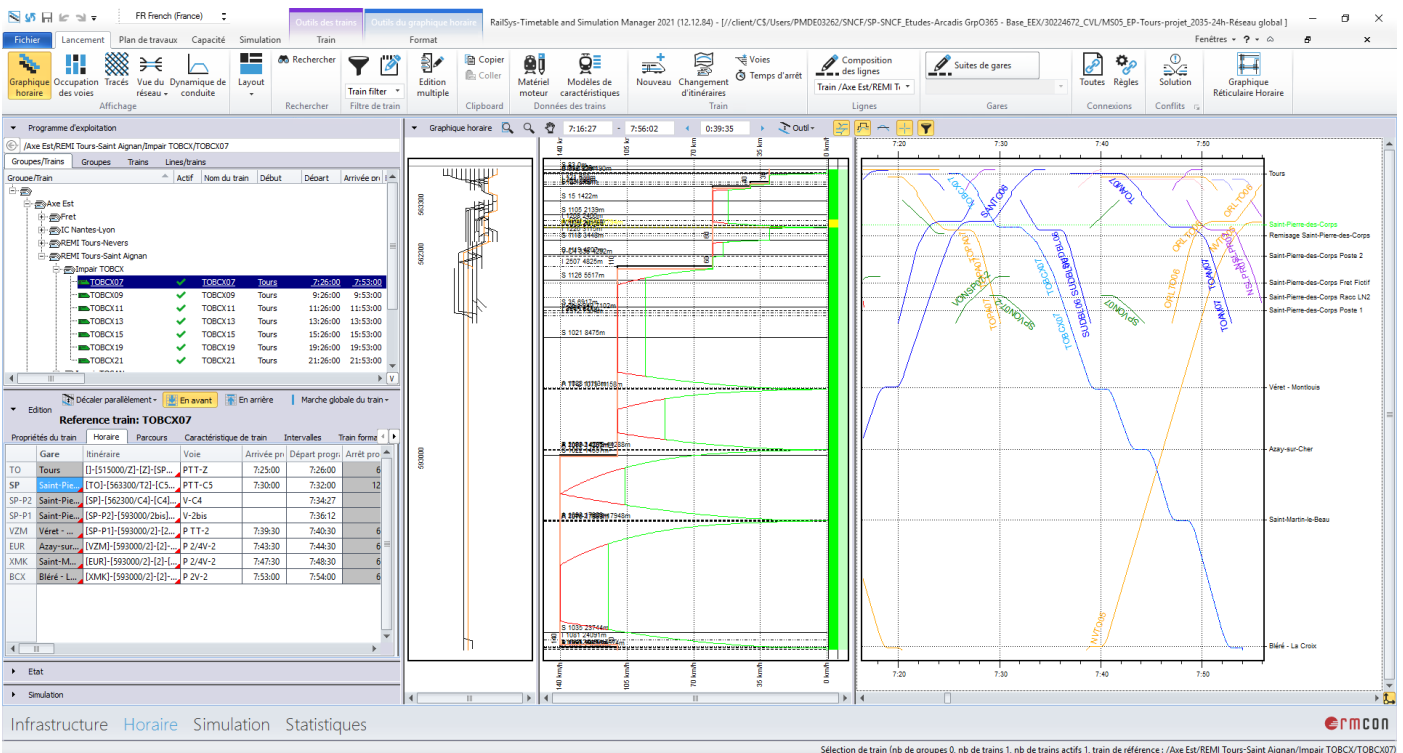


Figure 18 : Itinéraire, graphique de vitesse et GET d'une circulation Tours-Bléré dans le logiciel Denfert

progressivement ces choix pour obtenir une grille plus réaliste.

Les GET servent ensuite à suivre le tracé des trains sur une ligne et à lire leur occupation de l'infrastructure dans le temps. Le logiciel calcule les vitesses en fonction des performances du train, des limites de vitesse de la ligne, des distances de freinage et des temps d'arrêt en gare. Il intègre aussi des temps de détente et des marges de régularité, qui permettent de rendre l'horaire moins tendu et de mieux absorber de petits retards (Figure 18).

De plus, des graphiques d'occupations additionnés aux GET permettent de repérer visuellement les conflits ou les circulations proches (et moins robustes) : un rattrapage entre deux trains qui se suivent, un croisement impossible sur voie unique, ou un conflit d'itinéraire dans une zone d'aiguillage (Figure 19).

Enfin, le sous-module de simulation permet de visualiser l'évolution des trains sur le réseau pendant une période donnée (Figure 20). Il peut être utilisé pour mieux comprendre le fonctionnement général de la grille mais aussi pour tester sa robustesse en appliquant des retards à certains trains. Cette approche est utile dans une étude de robustesse (mise en place pour le SERM de Touraine notamment), car l'objectif n'est pas uniquement de tracer plus de circulations, mais de vérifier que l'offre reste exploitable dans des conditions perturbées (Annexe I).

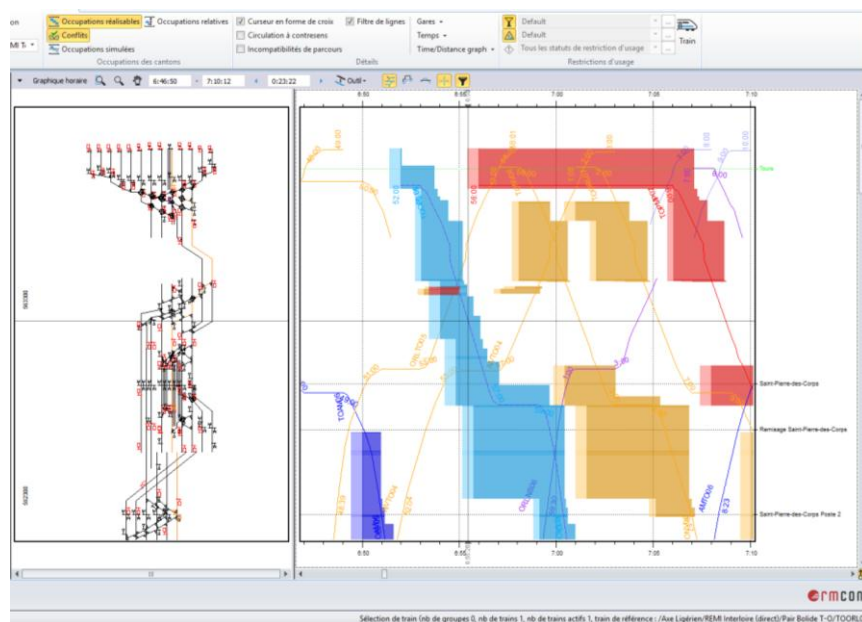


Figure 19 : GET avec bloc d'occupation sur la bifurcation Tours-Saint-Pierre-des-Corps

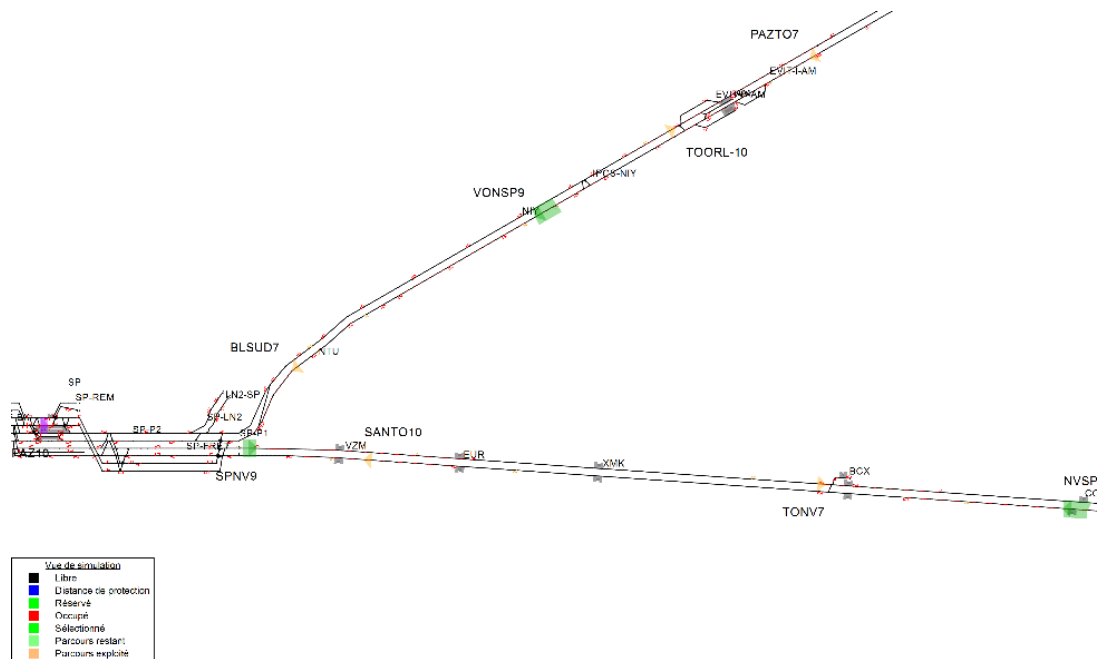


Figure 20 : Capture d'écran de l'animation de la simulation dynamique dans Denfert

6.2. Méthodologie de l'étude d'exploitation

La méthodologie de l'étude d'exploitation repose sur un travail progressif, qui avance par étapes et par échanges avec les autres acteurs du projet. L'étude ne consiste pas seulement à tracer des trains dans le logiciel : elle s'appuie aussi sur les hypothèses de service, les choix d'infrastructure, les contraintes de SNCF Réseau et les retours de la maîtrise d'ouvrage. Les choix dans le plan de transport ne sont donc pas totalement figés dès le départ. Ils sont discutés, ajustés puis stabilisés au fur et à mesure de l'étude, notamment lorsque certaines limites du réseau apparaissent.

Dans le cadre du SERM de Touraine, la partie à laquelle j'ai participé intervient après les premières étapes d'analyse et de choix des scénarios d'infrastructure. L'objectif est alors de confirmer et de fiabiliser la robustesse des scénarios retenus. Cela implique de vérifier que les nouvelles circulations envisagées peuvent réellement être insérées dans le réseau, en tenant compte des autres trains, des contraintes d'exploitation et des aménagements prévus. Tout au long de l'étude, des échanges réguliers avec la maîtrise d'ouvrage et SNCF Réseau permettent de préciser les hypothèses, de corriger certains points et d'assurer une cohérence entre le modèle, les besoins exprimés et les contraintes techniques.

6.2.1. Données d'entrées et hypothèses

La première étape consiste à recenser puis à collecter l'ensemble des données d'entrée nécessaires aux études d'exploitation. Ces données peuvent concerner l'infrastructure, les horaires existants, les hypothèses de desserte, les politiques d'arrêt, les temps de retournement, les mouvements techniques, ou encore les circulations hors SERM à conserver dans la grille. Une partie importante de ces informations provient de SNCF Réseau. Comme il s'agit souvent de données internes et sensibles leur obtention peut prendre du temps. Ces données sont également brutes et volumineuses, parfois peu directement exploitables, et leur traitement peuvent prendre du temps.

Cette étape demande donc un travail assez minutieux. Il faut vérifier la cohérence des données reçues, les traduire dans un format utilisable pour l'étude, puis formaliser les hypothèses retenues. Dans certains cas, des outils sous Excel sont utiles pour extraire les informations importantes ou comparer plusieurs fichiers (Figure 21). J'ai notamment participé à cette collecte et à cette mise en forme des données, ainsi qu'à la rédaction du cahier des hypothèses, qui constitue un livrable important pour le client.

6.2.2. Modélisation de l'infrastructure

Une fois les données d'entrée stabilisées, l'étude passe par la modélisation de l'infrastructure. Comme expliqué dans la partie 6.1.1, le modèle Denfert sert de support aux

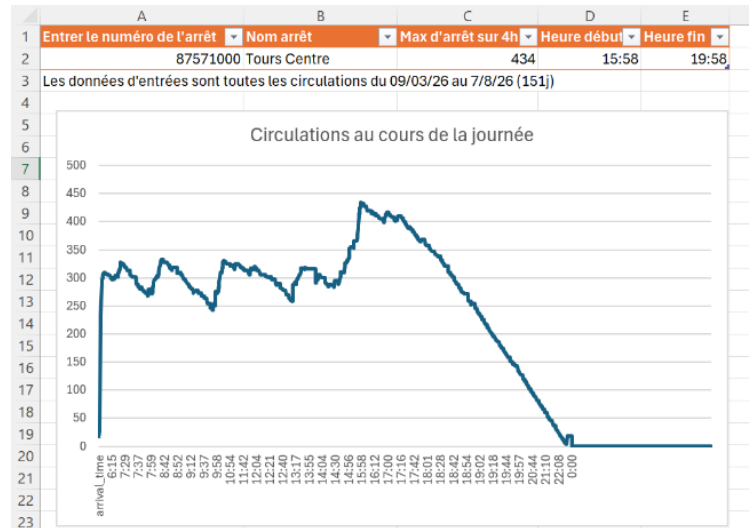


Figure 21 : Outil Excel développé afin de déterminer la période de 4h avec le plus grand nombre de circulation en gare de Tours à partir de données GTFS

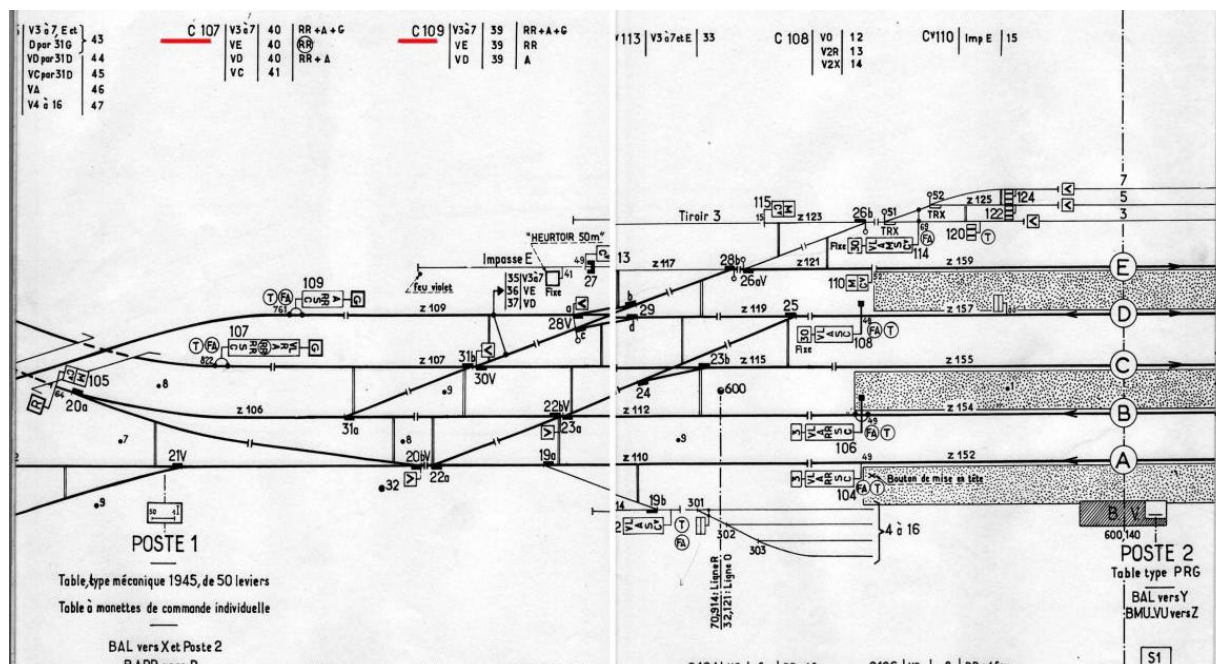


Figure 22 : Exemple d'extrait d'un schéma de signalisation d'une gare (cheminots.net)

calculs horaires : il doit donc représenter correctement les voies, les appareils de voie, les vitesses, les quais et la signalisation. Dans le cas étudié, le travail a consisté à adapter un modèle existant du nœud ferroviaire de Tours, issu d'une étude précédente, afin de produire deux modèles distincts correspondant aux aménagements d'infrastructure des horizons 2035 et 2040 du projet.

Ces modèles intègrent les scénarios de modification d'infrastructure envisagés à ces horizons. Plusieurs secteurs ont ainsi été repris ou complétés, notamment les plans de voies de Tours, Saint-Pierre-des-Corps, Château-du-Loir et Amboise. J'ai également participé à la modélisation d'axes complémentaires nécessaires à l'étude, comme Tours–Vierzon, Port-de-Piles–Poitiers ou Saumur–Thouars, ainsi qu'à l'ajout de certaines installations comme les IPCS. Ce travail demande une bonne compréhension de la signalisation ferroviaire, mais aussi de la lecture des SIF (Annexe V) et des schémas de signalisation en ligne ou en gare (Figure 22).

6.2.3. Trame 2h

PER POLT (partie nord)
Trame 2h applicable à partir du SA 2028

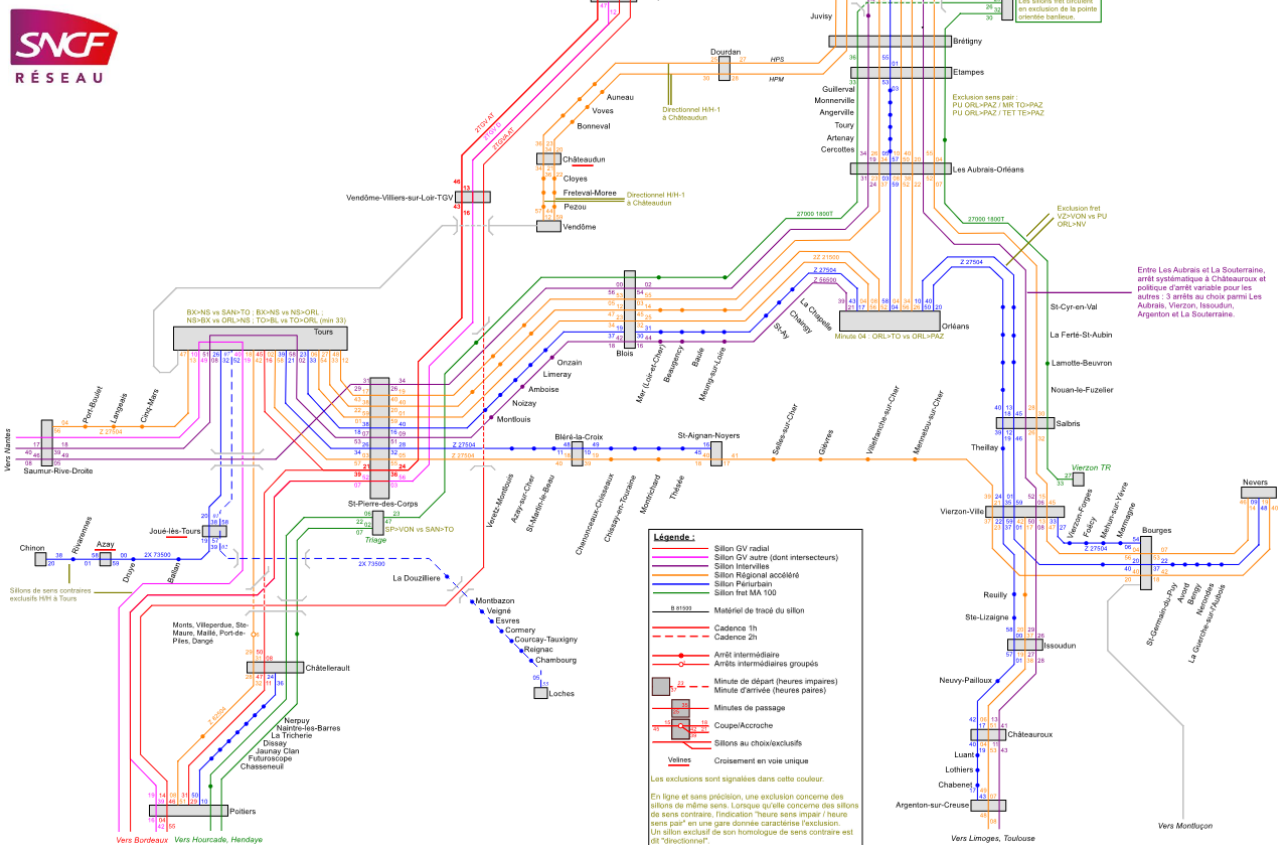


Figure 23 : Réticulaire de trame 2h SA2026 PER (sncf-reseau.com)

La construction de la trame deux heures constitue ensuite une étape centrale de l'étude. Elle s'appuie principalement sur les trames issues des PEE et des PER, selon l'horizon étudié (Figure 23). Cette trame correspond à une grille horaire de référence, généralement répétée tout au long de la journée. Elle permet de représenter le fonctionnement de base du futur plan de transport.

Dans Denfert, cette trame est saisie sous forme de groupes de trains, ce qui permet de gérer plus facilement les circulations répétitives. Une fois les trains créés, une vérification fine est menée sur les horaires, les croisements, les conflits, les voies de réception et les politiques

d'arrêt. Cette phase peut sembler assez simple à décrire, mais elle est en réalité longue et minutieuse. Le moindre décalage horaire ou mauvais choix d'itinéraire peut créer un conflit dans la grille et obliger à reprendre une partie du modèle. A l'issue de cette étape un réticulaire et des fiches horaires d'activations peuvent être présentés (Figure 23 et Tableau 2).

6.2.4. Trame 24h

À partir de la trame deux heures, l'étude construit ensuite une trame 24 heures, correspondant à une journée type d'exploitation. Cette étape nécessite de prendre en compte les hypothèses d'activation demandées par le client : nombre de trains par axe, origines-destinations, amplitudes horaires et niveaux de service attendus. Toutes les circulations de la trame deux heures ne sont donc pas forcément activées sur l'ensemble de la journée. Certaines missions peuvent être supprimées ou limitées à certains terminus intermédiaires.

Paris-Reims																			
Sillon commercial	840001		840003		840005				840010				840013			840015			
Paris Est	05:26	06:26	07:26	08:26	09:26	10:26	11:26	12:26	13:26	14:26	15:26	16:26	17:26	18:26	19:26	20:26	21:26	22:26	23:26
Chelles-Gournay	05:39	06:39	07:39	08:39	09:39	10:39	11:39	12:39	13:39	14:39	15:39	16:39	17:39	18:39	19:39	20:39	21:39	22:39	23:39
Meaux	05:59	06:59	07:59	08:59	09:59	10:59	11:59	12:59	13:59	14:59	15:59	16:59	17:59	18:59	19:59	20:59	21:59	22:59	23:59
La Ferté-Milon	06:28	07:28	08:28	09:28	10:28	11:28	12:28	13:28	14:28	15:28	16:28	17:28	18:28	19:28	20:28	21:28	22:28	23:28	00:28
Fère-en-Tardenois	07:04	08:04	09:04	10:04	11:04	12:04	13:04	14:04	15:04	16:04	17:04	18:04	19:04	20:04	21:04	22:04	23:04	00:04	01:04
Fismes	07:34	08:34	09:34	10:34	11:34	12:34	13:34	14:34	15:34	16:34	17:34	18:34	19:34	20:34	21:34	22:34	23:34	00:34	01:34
Muizon	07:52	08:52	09:52	10:52	11:52	12:52	13:52	14:52	15:52	16:52	17:52	18:52	19:52	20:52	21:52	22:52	23:52	00:52	01:52
Reims	08:02	09:02	10:02	11:02	12:02	13:02	14:02	15:02	16:02	17:02	18:02	19:02	20:02	21:02	22:02	23:02	00:02	01:02	02:02

Tableau 2 : Exemple fictif de fiche horaire des volontés d'activation

Légende	
	Nouvelle activation 2035
	Activation hors trame
	Activation SA2026 reconduite 2035
	Activation SA2026 non reconduite

La trame 24 heures doit aussi intégrer les circulations qui ne relèvent pas directement du SERM, mais qui occupent malgré tout de la capacité sur le réseau. Il peut s'agir de trains de fret, de TAGV, de TET, de SLO³¹ ou de mouvements techniques liés au remisage et au roulement du matériel. Ces trains sont parfois hors trame, avec seulement une ou deux circulations dans la journée, mais leur insertion peut avoir un effet important sur la robustesse de l'ensemble. Le travail consiste donc à ajuster progressivement la grille pour obtenir un plan de transport complet, cohérent et exploitable sur une journée entière.

6.2.5. Test de robustesse

Une fois la trame construite, les tests de robustesse permettent de vérifier si le plan de transport reste acceptable lorsque des aléas sont introduits. Ces tests consistent par exemple à appliquer des retards à certaines circulations, puis à observer leur propagation sur le reste du réseau. Ils permettent de repérer les zones fragiles de la grille, les conflits récurrents ou les marges insuffisantes.

Ces tests ne seront pas détaillés dans ce rapport, mais ils jouent un rôle important dans la validation finale des scénarios. Ils conduisent à des itérations sur la trame deux heures, sur la trame 24 heures, voire sur le modèle d'infrastructure si certains bugs sont détectés. Dans le cadre d'une étude SERM, cette étape est particulièrement utile, car elle permet de défendre plus solidement les choix d'aménagement et les investissements associés pour le client.

6.2.6. Livrables

L'ensemble de ces étapes donne lieu à plusieurs livrables. Ceux-ci regroupent les hypothèses retenues au long de l'étude, les modèles construits, les trames horaires, les résultats

³¹ Voir SERM de Touraine1.3

des tests, ainsi que les analyses de faisabilité et de robustesse. Ils peuvent aussi intégrer des éléments de chiffrage ou des analyses multicritères afin d'aider la maîtrise d'ouvrage à choisir entre plusieurs scénarios. Le rôle de ces livrables est donc de rendre les résultats de l'étude compréhensibles et exploitables pour la décision, au-delà du seul travail de modélisation réalisé dans Denfert.

6.3. Exemple d'étude sur le renfort de l'axe Tours-Chinon

Cette partie se focalise sur l'étude de la mise en place d'un schéma d'offre portant la desserte sur l'axe de Chinon à un train par demi-heure, au lieu de 1h actuellement. Une contrainte importante présente sur plusieurs axes du SERM est que l'axe est à voie unique, le plus gros de l'étude porte sur les évitements où les trains doivent se croiser.

Cette étude est un exemple de réflexion possible lors d'une démarche d'étude d'exploitation amont et ne reflète pas les décisions finales conclues dans l'étude ou choisies par la Région. Ces informations ne sont pas diffusées dans le rapport en vue d'une équité des candidats à l'appel à la concurrence à venir des exploitants ferroviaires du SERM.

Un renfort d'offre entre Tours et Chinon est étudié en premier lieu, puis l'étude détaille un renfort d'offre « partiel » entre Tours et Azay-le-Rideau ou Rivarennas afin de s'affranchir de contraintes liées à la voie unique et à d'important investissements.

6.3.1. Etude d'un renfort d'offre jusqu'à Chinon

Dans l'hypothèse d'un renfort d'offre à la demi-heure, l'exploitation des missions en voie unique nous impose de les faire se croiser aux minutes 00 et 30 en gare d'Azay-le-Rideau. L'introduction d'un renfort d'offre entre Tours et Chinon en période de pointe permet de faire ressortir les éléments suivants :

1. Plusieurs conflits sur les bifurcations entre Joué-lès-Tours et Tours ont été mis en avant et une solution proposée, mais le rapport de stage ne comprend pas cette partie de l'étude
2. La présence d'un conflit en voie unique entre Rivarennas et Chinon dont la résolution peut s'appuyer :
 - Soit sur la création d'un évitement dynamique entre Rivarennas et Chinon
 - Soit sur la création d'un évitement statique via la création d'un nouveau point d'arrêt desservi par toutes les missions
 - Soit sur un relèvement de vitesse en ligne permettant d'atteindre plus rapidement la gare de Chinon afin de s'y faire croiser les missions.
- (Ces trois possibilités sont détaillées par la suite).
3. La nécessité de l'utilisation de l'évitement statique à Ballan ;

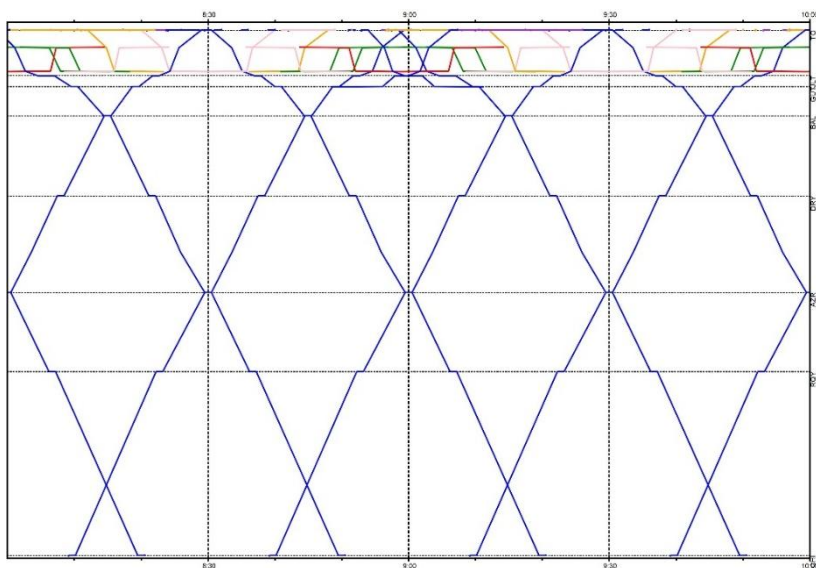


Figure 24 : GET de l'étude d'un renfort d'offre à la demi-heure sur la liaison Tours-Chinon, issu du modèle Denfert

Le détail des aménagements nécessaires, ainsi que leurs estimations est développé dans une autre partie du livrable remis au client.

6.3.1.1. Création d'un point d'évitement statique au nord de Chinon

En lieu et place de l'évitement dynamique, une autre possibilité est de créer un croisement statique. Le point de croisement statique serait alors situé légèrement plus en amont sur la ligne que le point de croisement dynamique, afin de prendre en compte le temps d'arrêt et les effets de décélération/accélération. Celui-ci se situerait au cœur de la forêt de Chinon (Figure 24 montrant le PK de croisement théorique entre les trains).

Raisonnant du point de vue de l'exploitation, la pertinence d'un tel évitement est avérée, cependant la création d'un point de desserte en plein cœur de la forêt pose également des problématiques environnementales (zone naturelle de type 2), ainsi que d'accessibilité pour les quelques habitants pouvant potentiellement être desservis.

Il est à noter que cette section la présence d'anciennes haltes : les haltes de Saint-Benoît-Rigny et d'Huismes dont une réouverture pourrait être questionnée au regard des besoins de croisement dans les alentours.

La Figure 26 montre la faisabilité de tels croisements du point de vue de l'exploitation. Ainsi, le croisement des missions à l'emplacement de l'ancienne halte de :

- Saint-Benoît-Rigny impliquerait un allongement des temps de parcours d'environ 5' par sens.

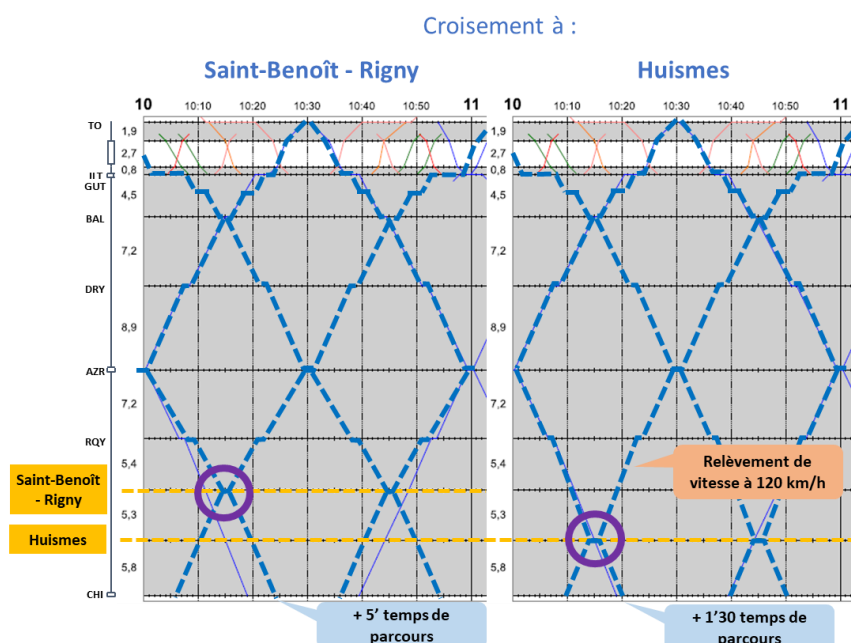


Figure 26 : Comparaison des GET des scénarios de croisement sur l'axe de Chinon

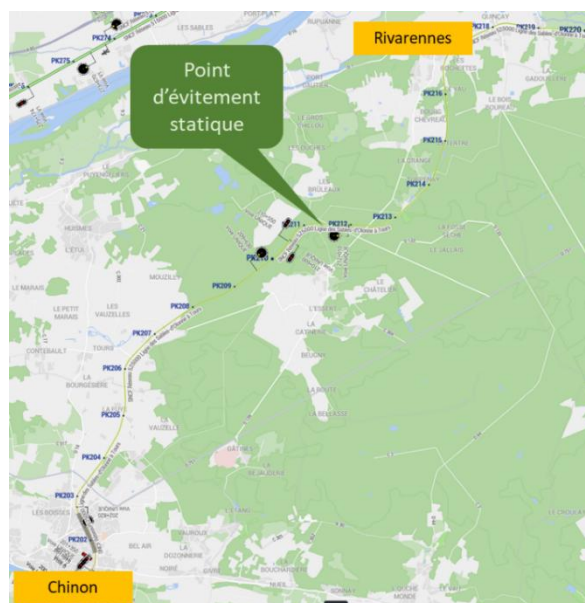


Figure 25 : Carte de contexte de l'étude d'évitement, extraite du livrable client

- Huismes demanderait un relèvement de vitesse à environ 120 km/h sur la section Azay-le-Rideau – Huismes, et impliquerait un allongement de temps de parcours d'environ 1'30 par sens.

En raison de son coût, de l'allongement du temps de parcours et du manque d'attractivité de la halte ainsi créée, ce scénario n'est pas retenu pour la suite des études.

6.3.1.2. Etude d'un relèvement de vitesse : possibilités de croisement en gare de Chinon

Pour aller plus loin, et dans l'optique de permettre un retournement en gare de Chinon

sans création d'un évitement quelconque, statique ou dynamique, il peut être proposé d'étudier un relèvement de vitesse entre Azay-le-Rideau et Chinon.

A ces fins, il est nécessaire d'obtenir un gain de temps de l'ordre de 5 minutes par sens. Un relèvement de vitesse entre Azay-le-Rideau et Chinon à 130 km/h doit alors être envisagé (Annexe VI). Cela suppose de lourdes et nombreuses reprises de courbes, dont le détail est donné dans une autre partie de l'étude hors rapport.

Ce relèvement de vitesse pourrait entraîner la reprise du tunnel de Chinon, ce qui est toutefois à justifier avec un approfondissement des études d'exploitation étant donné son positionnement en bout de ligne. La reprise de la plateforme au cœur de la forêt de Chinon fait également face à de nombreux enjeux environnementaux. Un tel aménagement pourrait se chiffrer entre 24 et 32 M€, hors reprise du tunnel.

Il est à noter le sujet des nombreux passages à niveaux sur la ligne, dont certains seraient amenés à être repris dans le cadre de ce relèvement de vitesse. Ce sujet est à approfondir dans une étape ultérieure. Par ailleurs, la gare de Chinon possède deux positions à quai. Le retournement des rames à Chinon ne demande donc pas d'investissement supplémentaire.

En raison de son coût, cette solution n'est pas retenue pour la suite des études.

6.3.2. Etude d'un renfort d'offre jusqu'à Azay-le-Rideau ou Rivarennnes

Une autre possibilité étudiée a été de limiter le renfort d'offre à Azay-le-Rideau ou à Rivarennnes, au lieu de le prolonger jusqu'à Chinon. L'objectif était d'éviter le conflit principal sur la section en voie unique entre Rivarennnes et Chinon. Plusieurs variantes ont été regardées, avec une desserte omnibus ou un schéma d'offre « à deux niveaux ». Ces résultats restent intéressants pour comparer les scénarios, mais ils ne seront pas détaillés davantage dans ce rapport.

6.3.3. Récapitulatif des différentes variantes

Une analyse multicritère (AMC) est enfin proposée pour synthétiser les avantages et inconvénients des scénarios étudiés pour l'aide à la décision.

Variantes				€
Renfort d'offre jusqu'à Chinon	Croisement en ligne			
	Croisement à Chinon			
Desserte à 2 niveaux	Desserte omnibus TO-AZY + TO-CHI			
	Desserte omnibus TO-AZY et semi-direct TO-CHI			

Figure 27 : AMC des variantes de l'étude de Tours-Chinon

Partie 3 : le stage et ses apports

7. Arcadis, l'entreprise d'accueil

7.1. Arcadis dans le monde

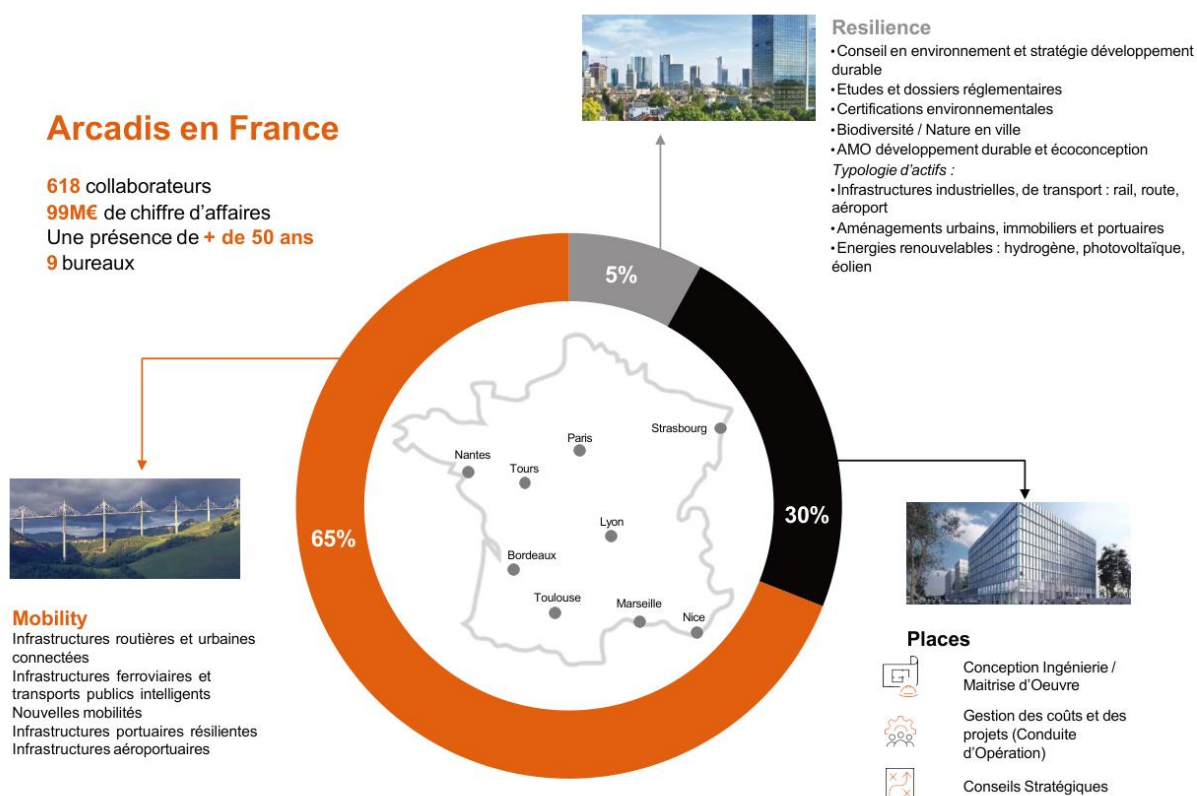
Arcadis est une société internationale qui propose des services de conception, de conseil, d'ingénierie, de gestion de projet et de management. Elle a été créée en 1888, elle compte désormais 28 000 collaborateurs. Son siège social se situe à Amsterdam, aux Pays-Bas. Elle intervient à travers 4 domaines d'activités : Infrastructure, Eau, Environnement et Bâtiment.



Figure 28 : Carte de répartition du nombre de collaborateurs dans le monde, ressource Arcadis

7.2. Arcadis en France

La branche d'Arcadis en France se nomme Arcadis ESG, elle compte 600 collaborateurs répartis dans 9 agences. Arcadis ESG agit sur trois des quatre domaines d'activités historiques : Infrastructure, Environnement et Bâtiment. Mon stage se déroule à l'agence de Paris au sein de la « Business Area » Mobility.



© Arcadis 2025

Figure 29 : Illustration présentant Arcadis en France (ressource Arcadis)

7.3. Equipe Émergence

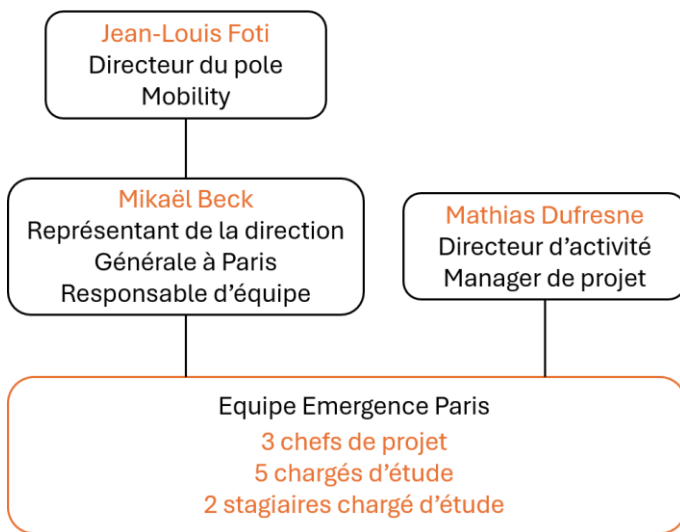


Figure 30 : Organigramme de l'équipe Émergence

Mon stage s'est déroulé au sein de l'équipe Émergence du pôle Mobility d'Arcadis, à l'agence de Paris située dans le XIVème arrondissement à la Porte de Vanves. L'équipe Émergence produit notamment des études amonts ferroviaire et en transport urbain.

Au sein de l'équipe j'ai eu le rôle de chargé d'étude amont ferroviaire, sous la supervision de plusieurs personnes dont le directeur d'activité, des chefs de projet ou des chargés d'étude.

En termes d'organisation, Arcadis a la particularité d'avoir une double hiérarchie : une équipe possède deux responsables directs (le responsable d'équipe et le responsable d'activités) (Figure 30).

8. Apports du stage

Faire un stage de fin d'étude est une expérience enrichissante dans son implication et sa durée. Bien que les expériences académiques et associatives apportent des premières expériences techniques et de projets, l'immersion dans le monde professionnel est en soit un élément formateur car elle donne un premier aperçu de la vie active, autant sur la vie professionnelle que personnelle.

8.1. Savoir travailler et intégrer une organisation

Lors de mon stage j'ai pu bénéficier d'une intégration au sein d'une équipe ferroviaire soudée. Tous les profils de l'équipe, assez diversifiés, mon permis de m'insérer rapidement dans le fonctionnement de l'entreprise, de l'équipe et des projets. Conformément aux pratiques des managers, mon rôle s'est rapidement apparenté à celui d'un véritable chargé d'étude ferroviaire, à qui on laisse certes plus de temps pour s'approprier et produire sur les projets abordés, mais à qui un objectif est à atteindre. Cette considération m'a permis de développer un engouement pour mes sujets de travail et donner du sens à mon stage.

L'environnement de travail, en plus de l'ambiance, est agréable et permet de s'épanouir pleinement ; du matériel et du mobilier confortables, une salle de repos et une cantine attractive sont autant d'aides à la réussite dans mon apprentissage du métier d'ingénieur. Le cadre des open-spaces est apaisant ce qui est un plus dans des moments de pic de tension dans un projet.

De plus la culture d'entreprise est plutôt présente dès l'arrivée et des formations de présentation de l'entreprise, des usages en termes de gestion RH et sur la sécurité au travail sont dispensées. J'ai également pu suivre la partie théorique d'une formation Sécufer, qui permet de comprendre et maîtriser les risques ferroviaires afin de pénétrer sur les emprises ferroviaires. Apprendre les process : comment sont rangés les documents numériques sur un SharePoint, comment échanger par Teams ou par mail et pleins d'autres détails sur l'organisation du travail est une expérience que l'on ne peut pas apprendre ailleurs.

La montée en compétences est centrale dans le cadre des missions confiées. Il y a toujours eu des temps dédiés au transfert du savoir ou des compétences afin de parfaire la mission correctement. C'est ainsi que j'ai été formé de manière poussée au logiciel RailSys et à la signalisation ferroviaire. J'ai également eu la possibilité de travailler ponctuellement sur d'autres projets comme sur de la CAO dans un projet de site de maintenance et de remisage des trains (SMR) ou sur de l'appui pour l'utilisation du logiciel RailSys.

8.2. Capacité d'adaptation et gestion de projet

D'autres compétences transverses sont abordées implicitement quand on prend part à des études pour un client : la capacité d'adaptation.

Le projet majeur sur lequel j'ai évolué a rencontré beaucoup d'embûches du fait de la complexité des jeux d'acteurs et les charges de travail importantes pour tous les acteurs. J'ai pu apprendre des premières approches en gestion de projet complexe : savoir relancer, gérer un calendrier de projet et des coûts ou suivre des demandes, rédiger des rapports et préparer des réunions vont au-delà de la production technique de l'ingénieur. Il a fallu s'adapter pour continuer à produire et surtout produire de manière pertinente, en gérant les données en attente et savoir sur quoi repose le travail pour ne pas avancer alors qu'une hypothèse n'est pas encore fiabilisée.

Tous ces critères ont apporté des difficultés qui ne s'apprennent également pas par des cours, et même si l'organisation de l'école ou le travail en groupe des projets donnent des premiers avant-goûts, les pratiquer dans un environnement différent et professionnel et un apport non négligeable pour un début dans la carrière.

8.3. Limites des études

Un aspect important du travail d'étude est la prise en compte des limites du fonctionnement. Bien que le résultat des simulations soit toujours à vérifier, comparer et fiabiliser avant de le considérer pour valider des hypothèses il est un point important que l'on rencontre dans la préparation de ces simulations : la récolte des données d'entrée et hypothèses de départ.

Une part importante du travail de l'étude, surtout dans un projet de SERM avec beaucoup d'acteurs, est la récolte des données d'entrée de l'étude les plus à jour, à convertir dans un format utilisable et cohérentes entre elles. Beaucoup de difficultés lors de mon stage ont été rencontrées sur ce point, avec des données qui ont mis plusieurs mois à arriver, des formats inutilisables et un travail de formatage important ainsi que des valeurs contradictoires.

De nombreux échanges et réunions ont également été nécessaires afin de stabiliser les hypothèses d'étude. De nombreux choix sont à faire au cours de l'avancement des recherches et de la modélisation et en fonction des résultats ces choix ne sont pas du ressort d'Arcadis, mais de SNCF Réseau, la Région Centre-Val de Loire voire du comité technique. Prendre en compte les retours et faire des relances est un vrai travail organisationnel que l'on ne peut pas apprendre à l'école.

9. Perspectives personnelles

Mon stage de fin d'étude s'est terminé en période de « Plan de Sauvegarde de l'Emploi » à Arcadis, ainsi que des propositions de rachat de l'entreprise par des concurrents. Un effectif important de l'entreprise est amené à la quitter et évoluer dans cet environnement a été plutôt anxieux dans la position de stagiaire. Ainsi il ne m'a pas été fait de proposition d'embauche comme il était originellement envisagé si mon stage se déroulait bien.

Mon expérience se rajoute à celle de nombre de mes connaissances cadres récemment diplômés qui dans tous les domaines accèdent difficilement à l'emploi ou peine à trouver du sens à leurs missions. Bien que le contexte des élections municipales et présidentielles soit souvent avancée, il en reste que la période dans laquelle nous débutons notre carrière semble peu fructueuse et commencer ainsi est peu agréable par rapport aux arguments avancés pour nous attirer dans le cursus d'ingénieur.

En parallèle, et de manière opportune, j'ai songé à poursuivre mes études universitaires dans le domaine plus précis des transports et mobilités et c'est ainsi que grâce aux Parcours Talents ingénieur à l'école des Ponts je vais pouvoir étendre mes perspectives en étudiant une année de plus ce domaine et tenter le concours du corps des ingénieurs des ponts, des eaux et des forêts. Cette opportunité est extraordinaire, à la fois dans le contexte précédemment cité et dans mon parcours, tant cette formation est originellement très élitiste et que mon niveau en classes préparatoires ne m'a pas permis d'y accéder il y a quelques années.

Conclusion

Nous avons vu au travers de la première partie les acteurs gravitant autour du projet du SERM de Touraine et leur fonctionnement en comité de pilotage et comité technique. Ces organes ont pour rôle d'arbitrer respectivement les questions politiques et techniques du projet afin de garantir la concertation à tous les niveaux et la réussite du projet. Avec les parties 1 et 2 nous avons également abordé les investissements engagés et nécessaires dans un projet de SERM et les conséquences sur les arbitrages à prendre avec notamment l'effet de seuil.

Dans la partie 2, il est mis en avant que les études d'exploitation ferroviaires sont le liant entre les volontés politiques de performance d'un plan de transport et la faisabilité technique concrète, en les traduisant en investissement d'infrastructure faisables et chiffrés. En participant de manière réursive aux travaux des comité de pilotage et groupes de travail du SERM, ces études d'exploitation mènent les étapes du projet jusqu'à la décision finale de début des travaux et permettent la justesse et la justification de ceux-ci, à des fins de transparence et d'équité.

Comme développé dans l'exemple de l'étude technique précise de l'axe de Chinon, nous avons montré que grâce à la modélisation numérique des situations ferroviaires existantes et projetées de nombreux scénarios peuvent être envisagés et chiffrés et que tout un travail d'arbitrage entre performances et investissements est nécessaire pendant et après les études, afin de garantir la faisabilité financière du projet. Un autre rôle crucial de l'étude est l'approfondissement des méthodes d'exploitation de la ligne afin d'optimiser les performances à réseau équivalent ou à moindre coût, avec une vision en dernier recours des aménagements lourds et coûteux. Ce rôle permet notamment de nourrir les échanges entre les autorités organisatrices des transports et le gestionnaire d'infrastructure en offrant un contrepoids au monopole du savoir-faire de SNCF Réseau.

Enfin, dans la partie 3, j'ai pu mettre en exergue des apprentissages et des connaissances que seul un stage de fin d'étude permet de saisir : apprentissage du monde de l'entreprise et de son organisation et des process. Connaître les limites d'un exercice classique d'étudiant est très formateur dans un cursus où l'on a souvent été dans un contexte simplifié et sans conséquences d'un échec. La gestion de projet, les échanges avec les clients et acteurs du projet, la préparation des réunions et leur suivi, la flexibilité et la capacité d'adaptation sont autant d'expériences valorisantes pour mon avenir dans un monde qui change.

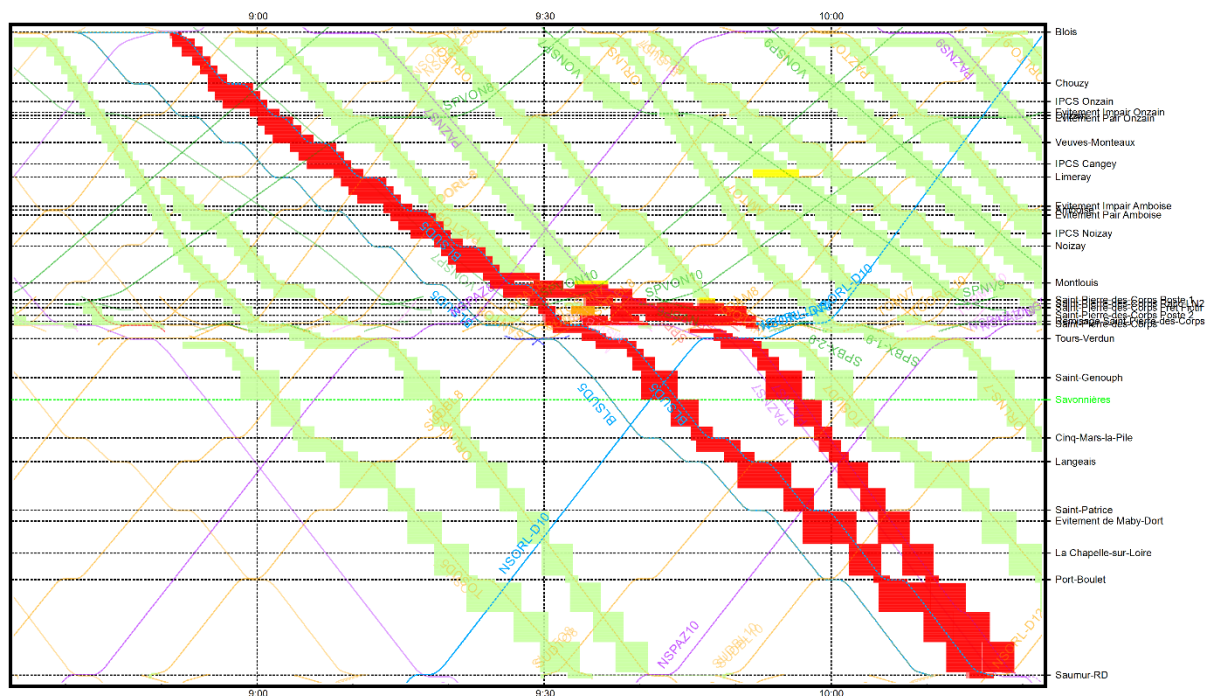
Ce monde changeant, des mœurs à l'environnement, des décisions politiques à la définition du bonheur, je, et nous, allons devoir s'y adapter afin de réussir à construire notre chemin, sans garder les erreurs du passé et sans en créer pour l'avenir. A ce point je l'espère, les projets de SERM et mon ambition de carrière seront entre les bornes fragiles du développement durable.

Bibliographie

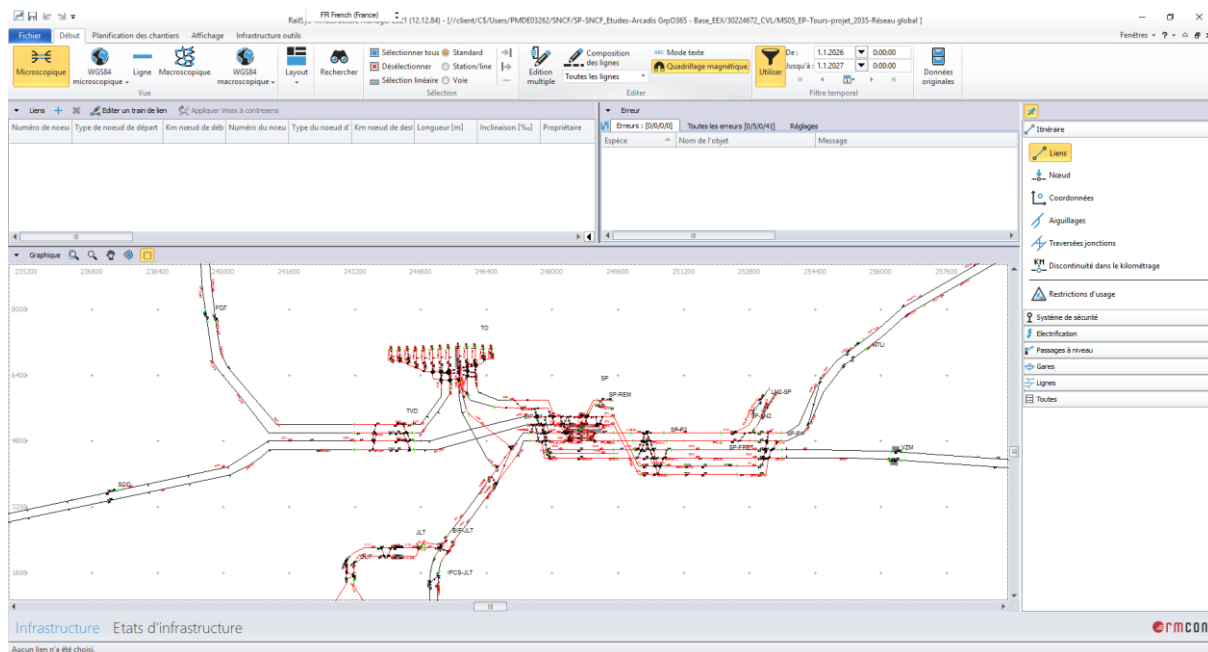
- AFIT France. (2026). *Rapport d'activité 2025*. Récupéré sur <https://www.afit-france.fr/sites/default/files/2026-07/Rapport%20d%27activit%C3%A9%202025.pdf>
- COI. (2026). *Grands projets : le temps des choix*. Récupéré sur https://www.ecologiegouv.fr/sites/default/files/documents/260403_Rapport_COI_2026-Grands_projets-le_temps_des_choix-2_0.pdf
- Concertation SERM Touraine. (2026). Récupéré sur <https://www.concertation-serm-touraine.fr/fr/le-serm-de-touraine>
- Janssoone, D. (2024). *Manuel d'Exploitation Ferroviaire* (éd. 3e). Dunod.
- L. 1215-8 du Code des Transports. (2023, 12 27). Récupéré sur Legifrance: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000048686453
- Légifrance Loi SERM. (2023, 12 27). Récupéré sur <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048678343>
- Ministère de la Transition Ecologique. (2018, 07 19). *Nouveau pacte ferroviaire*. Récupéré sur Ecologie.gouv.fr: <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/nouveau-pacte-ferroviaire>
- Nova 14. (2024). Récupéré sur Site internet de Nova 14: <https://nova-14.com/>
- Perennes, P. (2021, 09). *Le rôle des Régions françaises dans la gestion des « petites lignes » ferroviaires*. Récupéré sur HAL: <https://hal.science/hal-03882189/document>
- Région Centre Val-de-Loire. (2025). *Dossier de statut SERM de Touraine*. Tours.
- Rétiveau, R. (1987). *La signalisation ferroviaire* (éd. 2e). Paris: Presses des Ponts et Chaussées.
- SGP. (s.d.). *SERM*. Récupéré sur SGP: <https://www.societedesgrandsprojets.fr/services-express-regionaux-metropolitains>
- SMT Touraine. (2025). *Compte Administratif 2024*. Récupéré sur https://smt-touraine.fr/fileadmin/dossiers_documentaires/comites_syndicaux_2025_03_26/comite_syndical_26.03.2025_07_02_rapport_presentation_ca_2024_smt_vf.pdf
- SNCF Numérique. (2020, Octobre 27). *Article sur Denfert*. Récupéré sur SNCF Numérique: <https://numerique.sncf.com/actualites/denfert-un-outil-de-simulation-au-service-de-la-ponctualite/>
- SNCF Réseau. (2023, 12 5). *SERM*. Récupéré sur SNCF Réseau: <https://www.sncf-reseau.com/fr/le-reseau-de-demain/les-services-express-regionaux-metropolitains>
- SNCF Réseau. (2026, 02 23). *PER*. Récupéré sur SNCF Réseau: <https://www.sncf-reseau.com/fr/drr/per-plan-exploitation-reference>
- SNCF Réseau. (2026, 07). *Site internet de SNCF Réseau*. Récupéré sur <https://www.sncf-reseau.com/fr>
- Vie Publique SERM. (2026, 07). Récupéré sur <https://www.vie-publique.fr/loi/290687-loi-serm-rer-services-express-regionaux-metropolitains>
- Wikipédia. (2026, 07). *Page Wikipédia de SNCF Réseau*. Récupéré sur https://fr.wikipedia.org/wiki/SNCF_R%C3%A9seau

Annexes

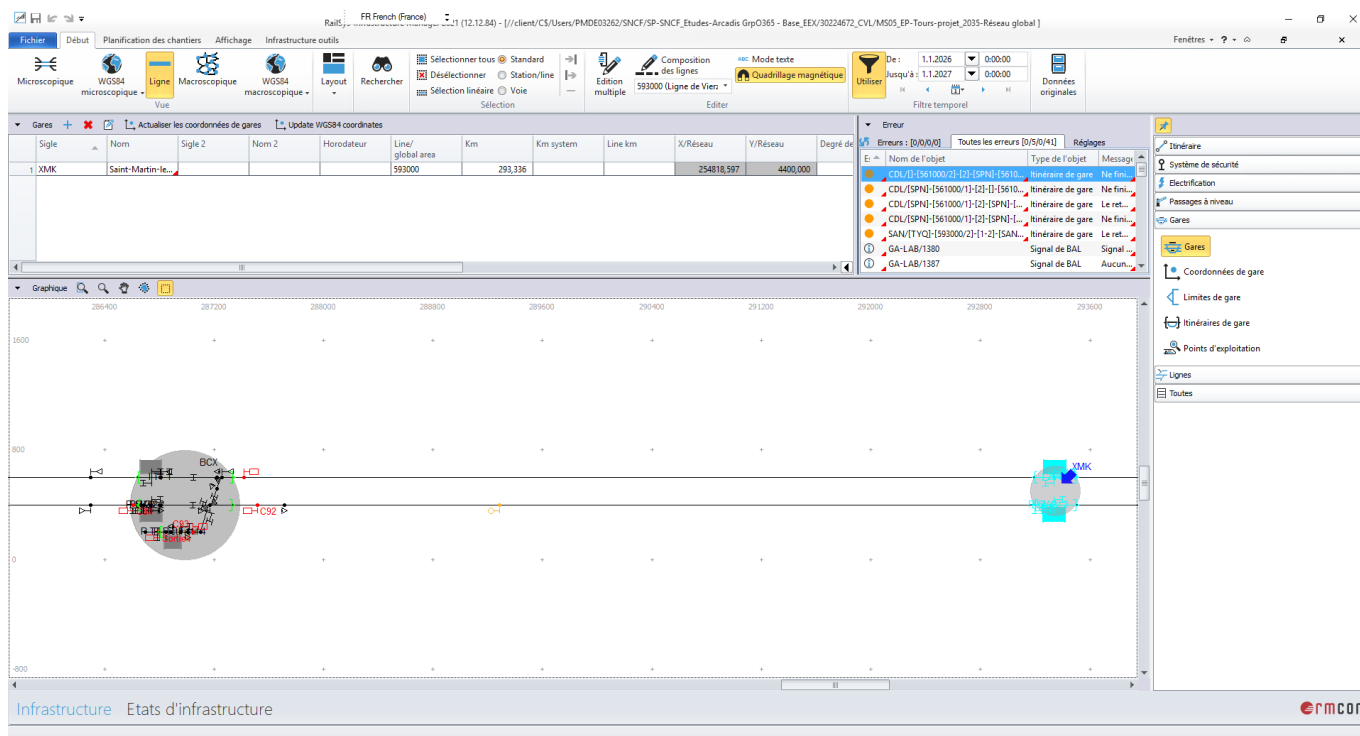
Annexe I : Exemple d'un GET d'une simulation avec perturbation dans Denfert



Annexe II : Vue microscopique du nœud de Tours dans la modélisation Denfert



Annexe III : Vue ligne des gares de Saint-Martin-le-Beau et Bléré-La Croix dans la modélisation Denfert



Annexe IV : Paramètres de créations des circulations dans le module Timetable de Denfert

Créer un train

Plusieurs trains

Gare de référence pour les horaires : **Bléré - La Croix**

Horaire de départ à la station de référence 1. Train [hh:mm:ss] : **8:00:00**

Horaire de départ à la station de référence dernier train [hh:mm:ss] : **22:00:00**

Décalage de temps [hh:mm:ss] : **1:00:00**

Nombre de trains : **15**

Numéros de train

Número/variante du 1e train : **800701** **0**

Le pas de progression pour les numéros de train : **2** **0**

< Précédent Continuer > Quitter

Créer un train

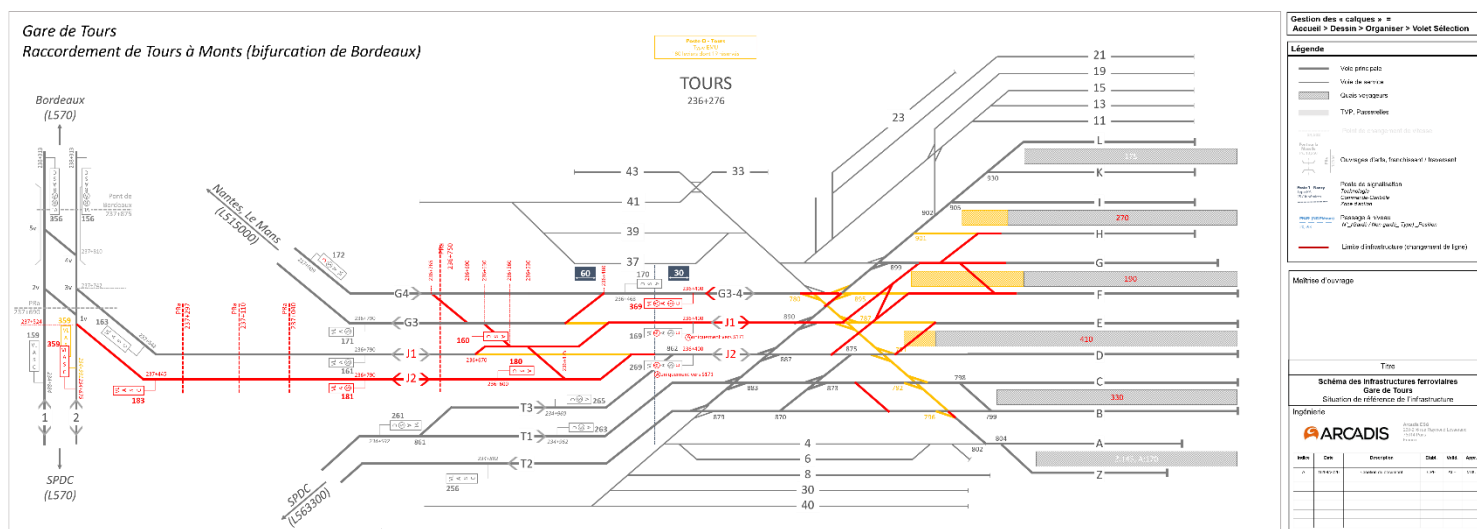
Trains à créer

Número	Entrée	Nom	Caractéristique de train	Actif	Créer
800701	8:00:00	800701	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800703	9:00:00	800703	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800705	10:00:00	800705	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800707	11:00:00	800707	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800709	12:00:00	800709	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800711	13:00:00	800711	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800713	14:00:00	800713	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800715	15:00:00	800715	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800717	16:00:00	800717	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800719	17:00:00	800719	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800721	18:00:00	800721	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800723	19:00:00	800723	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800725	20:00:00	800725	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800727	21:00:00	800727	1X82504B/1X82504B	☒	☒
800729	22:00:00	800729	1X82504B/1X82504B	☒	☒

Définir les numéros de train

< Précédent Terminer Quitter

Annexe V : SIF projeté de la gare de Tours



Annexe VI : GET théorique de croisement à Chinon

