Groupe de travail

Quelles solutions pour les lignes de desserte fine du territoire ?

Rapport final

fédération des industries ferroviaires

Remerciements

Le ministre délégué aux Transports, Jean-Baptiste DJEBBARI, a souhaité confier à la Fédération des Industries Ferroviaires, lors de la réunion de Mobilisation des acteurs ferroviaires autour du train léger le 9 Mars 2020 à l'Hôtel de Roquelaure, l'animation d'un groupe de travail sur les solutions proposées par l'industrie pour l'exploitation des lignes de desserte fine du territoire (LDFT), notamment autour du concept de « train léger ».

La Fédération le remercie à nouveau pour sa confiance.

« La technique est moins importante que les hommes ou que la société, l'important, c'est le projet humain qui est derrière. »

Dominique WOLTON

Préface

Les petites lignes ferroviaires, désormais « lignes de desserte fine du territoire » (LDFT), constituent un enjeu majeur d'aménagement du territoire pour notre pays. En effet, elles peuvent efficacement contribuer au désenclavement des territoires et des villes moyennes en facilitant la circulation des biens et des personnes, tout en préservant l'environnement.

Mais, dans le passé, la stratégie ferroviaire nationale ne leur a malheureusement pas toujours été favorable et si la France peut, à juste titre, s'enorgueillir de son réseau à très grande vitesse, nous pouvons collectivement constater aussi les résultats d'un manque d'investissement chronique pour les LDFT : de nombreuses réductions de vitesse, combinées à des dessertes trop faibles ont trop souvent éloigné nos concitoyens du rail, voire ont conduit à une fermeture de ces lignes.

La FIF et les industriels et entreprises qu'elle représente se réjouissent donc vivement du regain d'attention et de moyens que les pouvoirs publics au sens large, Etat comme Régions, entendent désormais accorder à cette partie importante du réseau ferré national.

Mieux, la FIF, au travers du présent rapport qui lui a été commandé par monsieur le Ministre délégué aux Transports, souhaite contribuer directement à l'élaboration des solutions permettant de redynamiser ces petites lignes, dans l'intérêt général et afin d'offrir à l'ensemble des territoires desservis et à nos concitoyens des solutions qui s'inscrivent dans notre combat commun en faveur de la transition écologique et de la lutte contre le changement climatique.

Louis NÈGRE
Président de la Fédération des Industries Ferroviaires

Composition du groupe de travail

Régions de France

- David HERRGOTT, Conseiller Transport Ferroviaire

Syndicat des Entreprises de Travaux de Voies Ferrées - SETVF

- Mathilde BOMMIER, Secrétaire Générale
  (animatrice de la commission « Infrastructure »)

MECATEAM Cluster

- Didier STAINMESSE, Président
- Frédéric DEBLEDS, Directeur Général

ALSTOM France

- Sophie ESPIE, Directrice des Affaires Juridiques
  (animatrice de la commission « Matériel Roulant »)
- Benoit GACHET, Directeur Produits Marketing
- Olivier DELECROIX, Directeur Business Development Régions Marketing
- Yannick LEGAY, Directeur Technico-Commercial

Aquitaine Rail

- Jérémy BROSSET, Directeur Général

CAF France

- Antoine MUGUET, Bid Manager
- Laurent CASEAU, Directeur Commercial

COLAS Rail

- Jean-Marc KUNTZ, Directeur Activité Maintenance
- Pierre-Gilles DOURIEZ, Directeur Régional France

ESIRAIL

- Thierry TORTI, Président

ETF

- Xavier GAUVRIT, Directeur Technique
- Pascal DE LAURENS, Directeur Général

HITACHI Rail France

- Frédéric BERNAUDIN, VP French Innovative Project

LOHR Industries

- Laurent VERDIER, R&D Manager

MERMEC France

- Sébastien CARRÉ, Directeur filiale France,
  Directeur Commercial France - Bénélux - Afrique francophone

SEF

- Emmanuel GEORGEN, Président

Siemens Mobility France

- Bertrand PICARD, Directeur Commercial Mobility

STRADAL

- Patrice MONIN, Directeur Commercial

STRAIL France

- Grégory CROUZET, Chef de produits et Responsable commercial

SYSTRA

- Thierry RAYMOND, Directeur commercial et développement

THALES

- Amaury JOURDAN, VP, Chief Technical Officer

UNIFER France

- Philippe ROCHER, Président

Fédération des Industries Ferroviaires - FIF

- Jacques GARGOWITSCH (Vice-Président - Président du groupement Infrastructure)
- Daniel BOULANGER (Délégué Général du groupement Infrastructure)
- Gilles PASCAULT (Vice-Président - Président du groupement Signalisation ;
  animateur de la commission « Exploitation/Signalisation »)
- Luc ALIADIERE (Conseiller technique, Secrétaire du groupe de travail)
- Eric TASSILLY (Vice-Président - Président du groupement Équipementiers Matériel Roulant, Rapporteur du groupe de travail)

Synthèse pour le lecteur pressé

Que notre donneur d'ordre ministériel veuille bien, tout d'abord, accepter notre démarche : la commande initiale portait en effet sur les solutions technologiques que les industriels de la filière ferroviaire étaient en mesure d'apporter à la problématique de la redynamisation des « petites lignes » ferroviaires, appelées désormais « Lignes de Desserte Fine du Territoire » (LDFT), en particulier au travers de l'approche du « Train léger ».

Assez rapidement, cependant, le groupe de travail a dû se rendre compte que le matériel roulant ne pouvait à lui seul apporter une réponse à la redynamisation des petites lignes, dans toute leur diversité, mais qu'il fallait élargir le champ au « système », c'est-à-dire y inclure ses autres composantes que sont l'infrastructure et la signalisation.

Afin de baisser le plus possible le point d'équilibre de la ligne, la combinaison des solutions techniques mises en œuvre devra minimiser les coûts tout en répondant au projet de transport, en recourant, si besoin, à des solutions dites « frugales ».

Mais cela n'est même pas encore suffisant, puisqu'il apparaît également qu'une approche technique ou technologique, quand bien même est-elle étendue à l'ensemble des composantes du système, ne peut apporter à elle seule les solutions à la multiplicité des situations rencontrées : l'exploitation et, par conséquent, l'organisation du travail des cheminots, quelle que soit leur appartenance, y joue aussi un rôle fondamental. C'est donc d'un véritable « écosystème » dont il conviendrait de parler.

Enfin, comme cela a été très bien documenté dans de nombreux rapports dans lesquels le groupe de travail a abondamment puisé pour nourrir ses discussions et réflexions, une autre dimension, plus économique, s'invite également au débat : quel est le juste coût, pour une région, de la mise en œuvre d'un train supplémentaire dans la journée sur une ligne donnée ?

En effet, il est particulièrement bien démontré, notamment dans [1], que, dès lors que la ligne est entretenue pour quelques circulations par jour, les coûts correspondants à la mise en circulation d'un train supplémentaire restaient faibles (énergie, personnel). Ils peuvent même être très faibles dans certains cas particuliers où personnels et matériels sont d'ores et déjà suffisants, si l'organisation du travail est adaptée.

Il y aurait donc lieu que le coût de mise en œuvre d'un train sur une ligne donnée, tel que facturé à l'autorité organisatrice, reflète cette réalité économique, ce qui ne semble pas être totalement le cas actuellement où ce coût facturé est aussi impacté par des charges fixes…Il est en effet capital de casser une spirale de déclin du trafic sur ces lignes où l'autorité organisatrice est dissuadée d'augmenter l'offre à cause des coûts affichés : l'offre baisse, et donc de facto la fréquentation menant immanquablement à une perte de recettes et donc, à plus ou moins brève échéance, à la fermeture de la ligne.

Nous pensons qu'au contraire, la tarification doit être incitative à un usage maximal des investissements, en développant l'offre au maximum pour une infrastructure ferroviaire donnée, dès lors que celle-ci bénéficie naturellement d'une « zone de chalandise » pertinente (cf. [2]).

Enfin, une dimension supplémentaire doit être prise en compte : celle des réglementations de sécurité applicables sur ces lignes. À l'occasion du groupe de réflexion « TTL » initié par la DGITM, une réflexion est en cours ente l'EPSF et le STRMTG afin d'élaborer un nouveau référentiel pour certaines LDFT, permettant à la fois d'assurer la sécurité en toutes circonstances - ce qui reste naturellement une priorité absolue - tout en introduisant la dose de souplesse nécessaire pour l'exploitation de ce type de ligne.

Le présent rapport contribue pleinement à cette réflexion sur la redynamisation des LDFT, enjeu capital d'aménagement du territoire et de cohésion territoriale. Ces lignes appartenant aux catégories SNCF dites « UIC 7 à 9 » représentent en effet environ 12 000 km, soit environ 42 % du linéaire du Réseau Ferré National (RFN), mais seulement 10 % des trains-km produits.

On y trouvera donc un éventail de solutions techniques pour les différentes composantes du système (infrastructure, signalisation/exploitation et matériel roulant), segmentées en fonction de leur disponibilité (solutions déjà disponibles, disponibles dans les 5 ans, au-delà de 5 ans). Afin d'en éprouver la pertinence, ce catalogue de solutions a été testé sur quelques cas typiques de lignes, issus d'une liste représentative de LDFT élaborée par le groupe de travail.

La Fédération des Industries Ferroviaires se tient naturellement prête à accompagner, autant que nécessaire, Régions de France dans sa mission d'assistance et d'information auprès des différents exécutifs régionaux.

Avertissement

- Les références bibliographiques sont numérotées entre crochets et dans leur ordre d'apparition dans le texte. Elles sont détaillées dans la partie « Bibliographie ».
- Les annexes sont numérotées dans leur ordre d'apparition dans le texte et sont contenues en fin de rapport dans la partie « Annexes ».

Sommaire

1. Méthodologie 12
2. Commission « Matériel Roulant » 13
3. Commission « Infrastructure » 17
4. Commission « Exploitation/Signalisation » 25
5. Segmentation des LDFT 33
6. Cas d'application à quelques cas typiques 36
7. Considérations économiques 38
8. Conclusions et recommandations 39
9. Bibliographie 40
Annexes 41

1. Méthodologie

Le groupe de travail s'est organisé en 3 sous-commissions pour chaque composant du système global :

- *Commission « Matériel roulant », animée par Sophie ESPIE*
- *Commission « Infrastructure », animée par Mathilde BOMMIER / Jacques GARGOWITSCH*
- *Commission « Exploitation/Signalisation », animée par Gilles PASCAULT*

Les sujets généraux, notamment les aspects plus économiques, ont été traités en séances plénières. Notre approche a consisté, pour chaque composant du système, à identifier :

- *Les solutions technologiques immédiatement disponibles,*
- *Les solutions technologiques qui pourraient devenir disponibles à un horizon de 5 ans,*
- *Enfin, les solutions technologiques qui pourraient devenir disponibles à un horizon au-delà des 5 ans.*

Les deux dernières catégories relèvent de l'innovation et peuvent, par exemple, faire l'objet de réponse à l'appel à projets dans la cadre du « PiA4 » (4e Plan d'Investissements d'Avenir).

Le résultat de ce travail d'identification des solutions peut donc se résumer par un « catalogue » de solutions, avec trois horizons temporels différents, en fonction du niveau de maturité des solutions.

Il nous a semblé utile de confronter au « terrain » cet éventail de solutions afin d'en éprouver la pertinence et la robustesse face à la grande variété des situations rencontrées dans les différentes régions.

Le contexte politique, avec la tenue prochaine des élections régionales et la négociation en cours des Contrats de Plan État/Région (CPER), n'a malheureusement pas permis de recueillir les ambitions des différentes régions en matière ferroviaire et, plus particulièrement sur les quelques LDFT typiques permettant de tester la validité du catalogue de solutions, élaboré par les trois commissions « Exploitation/Signalisation », « Infrastructure » et « Matériel Roulant ».

Aussi, afin de définir cet échantillon de lignes, nous avons défini quelques critères permettant de les caractériser ce qui nous a permis d'aboutir à une liste de lignes que nous espérons suffisamment représentatives des différents types de situation que l'on peut rencontrer sur le terrain. Cette liste ainsi que les données de profil et de vitesse sont en annexe 1.

Cet éclairage purement technologique est complété, en fin de rapport, par quelques considérations plus générales ou économiques, comme par exemple les aspects liés au développement de l'offre ou à l'organisation du travail sur les lignes.

Il ne s'agit là naturellement que d'une première approche. En effet, le groupe de travail, pour respecter le délai imparti pour rendre ce rapport, n'a eu ni le temps ni les moyens d'effectuer des études détaillées de chaque cas. Celles-ci restent donc à mener afin de bâtir un projet de relance propre à chaque ligne, en fonction des souhaits de l'exécutif régional concerné.

2. Commission « Matériel Roulant »

2.1 Introduction

Le matériel roulant, nous l'avons dit, ne peut résoudre à lui seul les difficultés qui se présentent pour redynamiser des LDFT en perte de vitesse.

Pour autant, cette composante du « système ligne », qui est une interface majeure avec les voyageurs, a son rôle à jouer dans l'équation économique (coûts d'exploitation et de maintenance) comme pour l'attractivité du mode. L'expérience du renouvellement massif des matériels TER dans les années 2000 a montré l'effet important que celui-ci pouvait avoir sur l'attractivité et la fréquentation, combiné à une offre adaptée et suffisante.

Corrélativement, il résulte des investissements massifs des années 2000 un parc de matériel TER très conséquent, avec une durée de vie résiduelle encore significative : l'approche de type modernisation pour l'adapter aux exigences actuelles, notamment en matière de contraintes environnementales, peut donc s'avérer comme la plus pertinente à court terme.

2.2 Le « train très léger » : une vieille histoire…et parfois aussi des déboires

L'idée de mettre sur les rails du matériel léger afin d'économiser les coûts d'exploitation ne date pas d'hier. De nombreux exemples, en France comme à l'étranger, jalonnent l'histoire ferroviaire (voir quelques exemples, des années 30 jusqu'aux années 90 en annexe 2). On trouvera également une mise en perspective sur la genèse de ces matériels dans le monde dans [3].

Malheureusement, ces matériels ont souvent connu une existence brève, parfois émaillée de difficultés. Leur légèreté s'est accompagnée d'une certaine fragilité dans les conditions d'exploitation ferroviaire. Cette recherche de la masse minimale a conduit également à des capacités très limitées en voyageurs, créant des contraintes en cas d'augmentation de trafic ou de pointes dans la journée. Enfin, le recours fréquent à la formule d'un véhicule sur deux essieux ne permettait pas d'assurer un confort optimal, particulièrement pour des matériels destinés à circuler sur des voies de qualité médiocre à moyenne.

Et l'avantage des trains légers en matière de gains de maintenance de la voie ?

C'est un argument fréquemment avancé pour justifier le recours à des matériels légers. Il est en effet bien établi par les gestionnaires d'infrastructures ferroviaires que la dégradation et le vieillissement des composants de la voie dépendent fortement du tonnage circulant sur cette voie ainsi que de la vitesse des circulations.

Ainsi, le recours à un matériel de faible tonnage pourrait théoriquement permettre d'espacer les opérations de maintenance, et donc de diminuer les coûts d'entretien de la ligne. Cependant, il convient de pondérer cette corrélation en fonction des caractéristiques de la ligne concernée, ce qui rejoint l'importance d'une segmentation des LDFT : la ligne est-elle également parcourue par d'autres types de matériels plus lourds, comme des trains de fret par exemple ? La ligne est-elle dotée d'un grand nombre d'ouvrages d'art (tunnels par exemple) dont le coût de maintenance sera beaucoup moins directement lié au tonnage circulé que pour une portion de voie courante ?

Il faut intégrer, cependant, un autre argument à verser cette fois au crédit d'un matériel roulant très léger : la possibilité de rénover une voie à moindre frais si celle-ci ne voit circuler que des matériels roulants de ce type. Cela peut contribuer à réduire l'investissement pour remettre en service une ligne arrêtée depuis longtemps par exemple.

Nous considérons donc que le train léger, ou plutôt désormais « très léger » (TTL), peut constituer une solution adaptée à quelques cas particuliers, mais restera, très vraisemblablement, un matériel « de niche » (30 à 50 lignes potentiellement éligibles, sur les 200 LDFT représentant un total d'environ 12 000 km ; une flotte estimée pour l'ensemble du territoire à environ 150 unités (source : CEREMA ; réunion DGITM TTL du 9 avril 2021)).

Au-delà de la pertinence du recours à ce type de matériel sur les LDFT concernées, cette approche est intéressante dans la mesure où cette recherche d'un véhicule léger frugal, électrique et autonome peut faire émerger de nouvelles solutions qui seraient également profitables aux véhicules ferroviaires plus classiques.

La DGITM a d'ailleurs lancé un groupe de travail dédié « trains très légers » (TTL) dont la réunion de lancement s'est tenue le 9 avril 2021. Notre groupe de travail a été associé à ses travaux afin d'assurer un partage d'information et une coordination entre les réflexions des deux groupes de travail.

2.3 Les matériels disponibles

2.3.1 Immédiatement

les « matériels légers » classiques

Les matériels légers actuels sont principalement constitués par les « tram-trains », qui permettent de circuler à la fois sur un réseau aux normes urbaines (dont l'organisme de sécurité est le STRMTG) et sur le Réseau Ferré National (RFN, dont l'autorité de sécurité est l'EPSF). Pour rappel :

- *Le tram-train dit « Dualis » d'ALSTOM (U 52500, U 52600, U 52700 et U 52800) en service en régions Ile de France, AURA et Pays de la Loire*
- *Le tram-train dit « Avento » de Siemens (U 25500) en service en régions Ile de France et Grand Est (Mulhouse)*

On peut y ajouter des matériels également « légers » (mais qui ne sont toutefois pas à écartement standard, mais métrique) comme les AMG 800 de CAF, en service sur les Chemins de Fer Corses (CFC) et de Provence (CP).

les matériels classiques

Le renouveau des matériels TER engagé à la suite de la régionalisation des transports a suscité le développement d'une vaste gamme de matériel adapté aux besoins des régions. On ne prendra pas en compte ici les matériels à traction purement électrique dans la mesure où les LDFT sont majoritairement non électrifiées et, on se limitera aux matériels actuellement homologués sur le RFN. Pour rappel :

- *X 72 500 (« XTER ») : 117 unités*
- *X 73 500 (« ATER ») : 318 unités*
- *Famille AGC, dont X 76 500 (« XGC ») et B 81 500 et 82 500 (bi-mode diesel/caténaire 1500 V tension continue et bi-mode diesel/caténaire mais bi-tension 1500 V/25 kV 50 Hz) : 700 unités au total*
- *B 83 500 & 84 500 (« Régiolis » bimode bi tension) : 330 unités*

2.3.2 À horizon des 5 ans (voir en Annexe 3 les propositions complètes des constructeurs)

Dans les 5 ans qui viennent, la tendance chez tous les constructeurs est à la décarbonation des matériels existants, voire à la conception de nouveaux matériels « verts ». On identifie ainsi d'ores et déjà les solutions ou évolutions suivantes :

- *X 73 500 (« ATER ») version décarbonée* (voir [4])
- *X 76 500 (« XGC ») à batterie ou à pile à combustible H2*
- *B 81 500 et 82 500 qui deviendraient bi-mode « caténaire/batteries »*
- *Régiolis à pile à combustible à hydrogène*
- *Produits « MIREO » à batterie (« MIREO Plus B ») ou à pile à combustible H2 (« MIREO Plus H »)*
- *i-LINT*

2.3.3 Au-delà des 5 ans

les « matériels légers » innovants

Rappelons ici une définition possible pour encadrer les principaux paramètres de ce type de véhicules (définition proposée par le CEREMA lors de la réunion de lancement du groupe de travail DGITM « TTL » : « 100-100-10-10 ») :

- *Environ 100 places,*
- *Environ 100 km/h,*
- *Environ 10 tonnes à l'essieu,*
- *Environ 10 €/km de coût complet d'exploitation (y compris infrastructure et exploitation).*

Dans cette catégorie, on pourrait trouver des trams-trains qui deviendraient « bi-mode », capables donc de prolonger un trajet de type tramway sous caténaire en zone urbaine par un parcours sur une LDFT non électrifiée : par exemple une version bi-mode du DUALIS d'ALSTOM.

les « matériels très légers » (TTL) innovants (voir en annexe 4)

Nous avons réuni en annexe 4 quelques-uns des projets en cours de « matériels très légers », sans prétendre à l'exhaustivité, car d'autres apparaîtront sans doute encore dans les prochains mois.

Naturellement, les différents projets en cours reposent sur une motorisation « propre » (batterie ou pile à combustible H2) et sur un certain niveau d'autonomie pouvant aller jusqu'à l'autonomie complète « GO4 » (c'est-à-dire sans personnel à bord).

Le domaine de pertinence de ces véhicules semble plutôt s'établir autour des caractéristiques de lignes suivantes :

- *Ligne séparée du RFN ou en « faible adhérence » avec celui-ci,*
- *Circulation non mixée avec des trains au format standard, notamment fret : à la fois pour des questions de sécurité des circulations (même si une exploitation totalement alternée est imaginable), mais aussi parce que la maintenance de la voie sera alors conditionnée par les trains les plus lourds.*

Ce type d'exploitation pourra relever d'une réglementation potentiellement différente (voir sur ce sujet [5]), et issue des réflexions communes entre l'EPSF et le STRMTG.

3. Commission « Infrastructure »

3.1 Introduction

Malgré une apparente stabilité, l'infrastructure ferroviaire n'a cessé de connaître des progrès constants ces dernières décennies que ce soit au niveau des composants de la voie, de la caténaire et de leur processus d'entretien et de maintenance.

S'agissant du cas plus particulier des LDFT, les industriels et entreprises du secteur ont développé des solutions innovantes, permettant à la filière ferroviaire française d'enregistrer de nombreux succès à l'étranger et de contribuer à l'efficacité de maintenance du réseau français. Certaines de ces solutions sont d'ailleurs reprises dans la référence [6].

L'infrastructure a été abordée par le groupe de travail dans sa définition la plus large, au-delà donc du seul objet technique. Il s'agit donc d'un ensemble regroupant les composants, mais aussi la conception et la réalisation des travaux ainsi que son exploitation et sa maintenance.

Les critères identifiés comme dimensionnants pour le coût de l'infrastructure dans sa définition élargie ci-dessus sont les suivants, qui sont également autant de questions pour les autorités organisatrices : quel trafic (fret/voyageur), à quelle vitesse et à quelle fréquence ?

La vitesse des circulations

Une élévation de la vitesse, donc une diminution du temps de parcours, même minime, peut générer des coûts d'investissement très importants sur l'infrastructure. En effet, pour augmenter la vitesse des trains, il faut rectifier le tracé (lisser les courbes), faire des acquisitions foncières, construire de nouveaux ouvrages, supprimer des passages à niveau. Cela implique de nombreux coûts d'entrée qui augmentent très sensiblement les investissements initiaux et d'exploitation (entretien des nouveaux ouvrages).

La fréquence des circulations

Plus la fréquence des trains est élevée, plus le système de signalisation est sophistiqué. Pour viser une infrastructure frugale, il est jugé plus utile de maintenir un système de voie unique et de permettre des croisements.

La mixité du trafic fret et voyageurs

Le tonnage est un paramètre important qui impacte les coûts d'infrastructure tant pour l'investissement initial (CAPEX) que pour les dépenses d'exploitation (OPEX). Ainsi, la circulation de trains lourds de type fret peut nécessiter un armement plus important de la voie, une consolidation et surveillance accrue des ouvrages d'art de la ligne. Le choix technologique initial peut s'avérer déterminant pour la possibilité à terme de mixer du trafic : un armement défini pour une circulation de train léger pourrait ne pas pouvoir évoluer vers une infrastructure supportant un trafic mixte voyageur-fret.

Ainsi, pour assurer l'attractivité de la ligne et maintenir une offre ferroviaire à un coût raisonnable pour l'infrastructure, les objectifs de performance de la ligne doivent être strictement adaptés au besoin.

Une analyse bénéfices/coût devra être engagée à chaque fois que la solution technique s'avère coûteuse pour un gain de performance relativement faible. Les solutions évoquées ci-après sont abordées selon trois aspects :

- *Un aspect technique et technologique*[1] (3-2),
- *Un aspect contractuel* (3-3),
- *Un aspect organisation des travaux* (3-4).

Ces solutions sont accompagnées de fiches techniques reportées en annexe 5 :

- *Processus et engins de travaux,*
- *Régime d'exploitation des travaux simplifié,*
- *Platelage de passage à niveau « Strail »,*
- *Traverse ou support composite.*

Globalement, mis à part la conception d'engins de travaux très spécifiques nécessitant un temps d'innovation et de déverminage, toutes les solutions présentées ci-après sont immédiatement disponibles.

3.2 Les solutions techniques disponibles

Vers une infrastructure frugale : Autoriser de la flexibilité par rapport aux standards actuels de conception et de maintenance.

3.2.1 Immédiatement

- *Matériel de voie « à maintenance réduite » : joints de rails, éclisses renforcées, performance du ballast adaptée (utilisation des classes de ballast en fonction des besoins techniques),*
- *Réutilisation de composants (matériel de voie de réemploi) : rails, ballast, traverses, confortement des ouvrages en terre,*
- *Amélioration des caractéristiques de portance de la plateforme avec les matériaux en place, assainissement,*
- *Optimisation des composants de l'armement : épaisseur et qualité du ballast, espacement des traverses,*
- *Pose sur géotextile : réduction des coûts d'élimination des végétaux,*
- *Confortement des ouvrages en terre par cloutage,*
- *Choix du type de pose sur les tabliers de pont à renouveler, incluant l'installation de solutions permettant l'atténuation des vibrations liées la circulation des trains,*
- *Superstructure : voie ballast versus voie béton (ou grave bitume). Le choix de la voie béton est un choix à fort CAPEX mais faible OPEX. Il est également important de se poser la question du vieillissement de la voie ballastée sans utilisation de produits phytosanitaires.*

[1] *On renvoie alors le lecteur pour plus de détails sur les solutions évoquées à la référence [6]*

3.2.2 À horizon des 5 ans

- *Conception de nouveaux engins de travaux et de maintenance rail-route ou déraillables,*
- *Optimisation du confortement des ouvrages de drainage.*

3.3 Les solutions contractuelles disponibles

Actuellement, la plupart des opérations de modernisation et d'entretien de l'infrastructure suivent le schéma classique des travaux réalisés selon les standards contractuels de la Loi dite "MOP" (Maîtrise d'Ouvrage 'MOA' - Maîtrise d'Oeuvre 'MOE' - Travaux Entreprises) avec des fournitures essentiellement à la charge de la Maîtrise d'Ouvrage (SNCF Réseau).

Vers une infrastructure frugale : Le type de contrat doit permettre aux acteurs de démontrer leur capacité d'innovation et leurs idées pour organiser différemment le service ou simplifier certaines méthodes.

3.3.1 Immédiatement

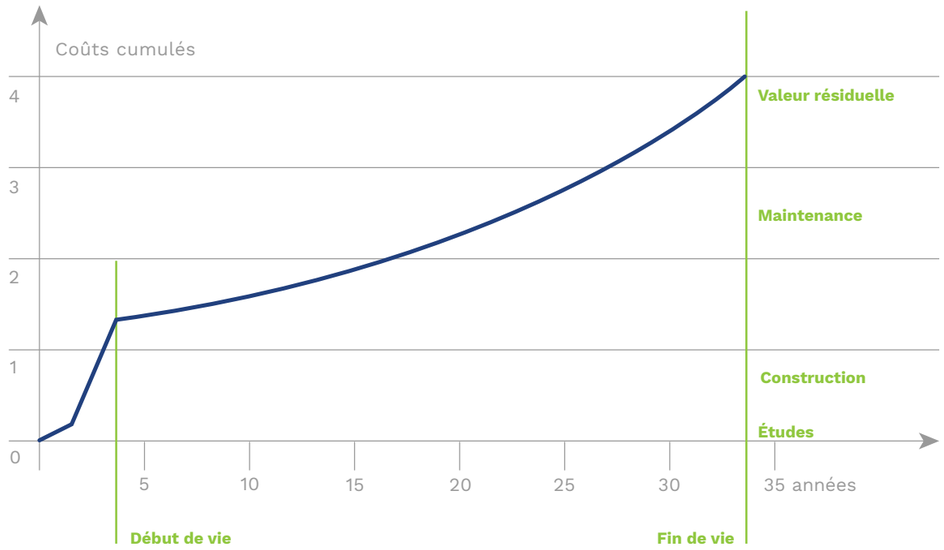
Les marchés que permet la commande publique sont de deux ordres :

Les marchés classiques « tels qu'issus de la loi MOP »

- ***Inconvénients** : ils limitent l'approche globale et notamment vis-à-vis de la responsabilisation des intervenants sur les performances et coûts d'exploitation/maintenance.*
- ***Avantages** : ces contrats, s'ils remplissent les conditions suivantes, peuvent permettre d'aligner les intérêts des parties aux enjeux des autorités organisatrices :*
  - *bien administrés par l'ingénierie qui doit être le trait d'union entre un constructeur et un exploitant/mainteneur,*
  - *avec de « justes besoins », pensés pour une infrastructure durable luttant contre le vieillissement prématuré ou l'obsolescence technologique,*
  - *suffisamment ouverts techniquement pour stimuler les variantes tout en satisfaisant aux objectifs fonctionnels.*

Les marchés de performance ou globaux

Le besoin des AOM de lier conception et exploitation/maintenance est parfaitement compréhensible et très prégnant d'autant plus que les coûts de maintenance de l'infrastructure sur la totalité de son cycle de vie dépassent d'un facteur de 2 à 3 l'investissement de construction (voir graphique page suivante).



Évolution du coût de l'infrastructure le long de son cycle de vie
source: thèse n°3852 de 2007; EPFL

Dès lors, comment penser la performance globale de l'infrastructure sur la durée de vie ? Les marchés globaux nécessitant un regroupement d'acteurs aux intérêts parfois divergents peuvent-ils être la bonne (et unique) réponse ?

On peut raisonnablement s'interroger : la gestion des risques et leur intégration dans l'offre financière des contractants sont parfois antagonistes à l'optimisation économique des projets, que ce soit à la construction ou en phase exploitation/maintenance.

On peut également s'interroger sur l'adéquation de ces contrats « globaux » vis-à-vis de l'innovation que tous appellent de leurs voeux pour un renouveau ferroviaire.

L'un des enjeux est le partage des risques. Pour limiter un chiffrage élevé, les risques sur l'infrastructure doivent être limités. Cela nécessite une connaissance fine de l'état de l'infrastructure et des ouvrages. Le chiffrage sera déterminé en fonction de la responsabilité sur les ouvrages existants par l'un ou l'autre des co-contractants.

Néanmoins, et malgré ces écueils, les marchés globaux ou de performance représentent une des solutions pour engager les constructeurs vis-à-vis des enjeux d'exploitation et de maintenance. Les rédacteurs en ont fait l'expérience à l'international et sur des projets urbains français. Il apparaît qu'une solution adaptée pour ces projets d'infrastructure "à coûts frugaux" serait de les ouvrir à des marchés globaux avec intégration des fournitures dans le contrat et également une période de 10 à 15 ans de maintenance.

Marchés globaux ou de performance : grands principes

Marchés globaux Les marchés globaux sont passés par dérogation au principe d'allotissement. Lorsqu'un marché global comporte des prestations de conception, une équipe de maîtrise d'œuvre chargée de la conception de l'ouvrage et du suivi de sa réalisation doit être identifiée. L'objectif est de développer des modèles de contrat qui apportent de la fluidité, et qui font remonter dans la chaîne de la conception les solutions innovantes de travaux.

Marchés de conception-réalisation Ces marchés portent à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux. Ils dérogent au principe (loi MOP du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée) selon lequel les études et l'exécution doivent être réalisées par deux entités différentes. À noter que ce type de marché n'est possible que pour des motifs d'ordre technique et pour améliorer l'efficacité énergétique. Ces motifs d'ordre techniques sont liés à leur destination ou leur mise en œuvre technique. Ces ouvrages concernés sont ceux dont l'utilisation conditionne la conception, la réalisation et la mise en œuvre ou dont les caractéristiques (difficultés techniques particulières par exemple) exigent de faire appel aux moyens et à la technicité propres des entreprises. Ces circonstances rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études d'ouvrage.

Marchés globaux de performance Le marché global de performance permet d'associer la réalisation, éventuellement la conception-réalisation, de travaux à des prestations de maintenance ou d'exploitation afin de remplir des objectifs chiffrés de performance. Ces objectifs chiffrés (qualité de service, efficacité énergétique ou incidence écologique) doivent être mesurables en cours d'exécution pour être pris en compte pour la rémunération du titulaire du contrat. Pour attribuer le marché, l'acheteur se fonde sur une pluralité de critères dont le critère du coût global.

Illustration
Projet de modernisation du réseau ferroviaire de la Corse

Le projet de modernisation et d'augmentation capacitaire sur le réseau ferroviaire de la Corse est un bon exemple de pilotage réussi pour optimiser les coûts de réalisation et de possession :

1. **Un contrat de type loi MOP (en conception et réalisation) avec une ingénierie qui réalise un état de l'art et stimule l'innovation sans faire l'impasse sur les garanties sécuritaires et techniques pour respecter les dates de mise en exploitation.**
2. **Des marchés de travaux (en système en particulier) avec une expression exhaustive du besoin traduit sous format d'exigences fonctionnelles et avec des prescriptions techniques uniquement lorsque nécessaire.**
3. **Une intégration forte des besoins et des attentes de l'exploitant/mainteneur dès les prémices de la phase conception et un dialogue constant en phase réalisation pour faciliter l'entrée en périmètre maintenance.**
4. **Un coût d'opération attendu très en deçà des standards constatés, car l'opération est pensée pour utiliser des solutions sur étagère et expérimentées en dehors des usages ferroviaires lourds classiques sur le réseau structurant.**

3.4 Les solutions organisationnelles disponibles

Vers une infrastructure frugale : fixer des objectifs de performance pour laisser aux industriels et aux entreprises la responsabilité des moyens.

3.4.1 Immédiatement

- *Méthodes optimisées d'acquisition de données d'entrée : drones, sondages, essais de plateforme, etc.* Une condition de la frugalité est la capacité à accéder à une exhaustivité de la connaissance des petits ouvrages sous voie qui peuvent créer des affaissements, si non surveillés. Ce risque sera chiffré dans l'offre de l'exploitant et augmentera le coût du projet s'il n'est pas aisé de procéder à une analyse approfondie (disponibilité des données de construction et de surveillance des ouvrages, issus de l'ancien exploitant, capacité à accéder à ces ouvrages pour réaliser des analyses).
- *Travaux de pose : méthodes traditionnelles, adaptées et innovantes* (cf. l'encadré ci-dessous « de l'usage des engins de travaux »).
- *Pose avec utilisation de moyens routiers* (voir également fiche « Engins Travaux », en annexe 5)
- *Logistique : recherche de solutions locales et prise en compte des contraintes environnementales.* L'acheminement du ballast a souvent un impact carbone élevé.
- *Fermetures de ligne longue durée permettant une optimisation du dimensionnement des travaux (Capex réduit).*
- *Si la ligne est exploitée, les travaux peuvent être organisés sous régime d'exploitation adapté.* Le "S9A3" est le régime d'exploitation défini par la SNCF pour réaliser les travaux lorsque la ligne est fermée aux circulations commerciales des trains. Ce régime impacte la fluidité des chantiers. Les mesures de sécurité associées actuelles pourraient être adaptées pendant les travaux (cf. en annexe 5 "Fiche Régime d'exploitation travaux"). En fonction de la méthodologie des travaux, les entreprises sont en mesure de proposer leur propre régime d'exploitation sous leur responsabilité.
- *Utilisation de fournitures, engins et outillages de travaux homologués sur des réseaux étrangers sous la responsabilité des entreprises ou de l'exploitant* (cf. En annexe 5 "Fiche STRAIL"), *Platelages pour PN de type STRAIL, traverses composites, ...*

De l'usage des engins de travaux

Il n'a pas été jugé pertinent dans cette réflexion de détailler les différentes manières de réaliser les travaux. En effet, l'utilisation d'une emblématique « suite rapide », train-usine connu pour réaliser de forts rendements de production lors des opérations de renouvellement des voies ferrées, n'est pas forcément le moyen le plus adapté aux régénérations. L'utilisation de ces moyens matériels industriels dits « lourds » sera au choix de l'entreprise ou du groupement qui étudiera la pertinence de l'utilisation de ces moyens en fonction des exigences des donneurs d'ordre.

Aussi, ce qui va déterminer le choix de la méthode c'est : la durée de fermeture de la ligne pour réaliser des travaux (périodes d'intervention courtes avec nécessité de "rendre la voie" en cours de chantier, ou fermeture des voies pendant plusieurs semaines, voire mois), la configuration de la ligne (ligne en antenne, simple voie ou double voie, possibilité de retournement des trains), les objectifs de vitesse de restitution, les accès travaux…

En fonction des besoins, les moyens engagés seront ajustés, et la méthodologie de travaux sera adaptée : mobilisation d'engins, dimensionnement des équipes d'intervention, organisation et enchaînement des opérations sur le linéaire, choix des matériaux…

4. Commission « Exploitation/Signalisation »

4.1 Introduction

La signalisation est dès l'origine traitée au sol. Il faut avoir une vue de tous les trains. Il faut savoir dans quelle position sont les aiguilles. Au niveau du train, il y a nécessité de s'assurer que le conducteur a bien assimilé l'information transmise.

Pour répondre à ces besoins, et en fonction de l'évolution de la technique, nous avons développé des systèmes de plus en plus élaborés permettant aux trains de rouler avec un niveau de sécurité acceptable par la communauté.

On a tout d'abord développé des systèmes de vigilance pour s'assurer que le conducteur avait bien compris les signaux latéraux. Ensuite, des systèmes de contrôle de franchissement et de contrôle ponctuel de vitesse ont été mis en oeuvre.

Enfin, la technologie évoluant, il a été possible de réaliser des systèmes de contrôle continu de vitesse et aujourd'hui de standardiser ces comportements, du plus basique au plus complexe, au travers du standard ERTMS (European Rail Traffic Management System).

Au travers de son adoption comme standard au plan mondial, le système ERTMS a dû faire face à une réalité terrain assez variée. Cette diversité d'instanciation ouvre des perspectives intéressantes vis-à-vis des LDFT.

A minima, l'exploitation d'une ligne ferroviaire (la gestion de l'espacement), quelle qu'elle soit, impose de maîtriser au moins deux éléments qui sont indispensables pour garantir un niveau de sécurité requis pour obtenir l'autorisation de mise en circulation.

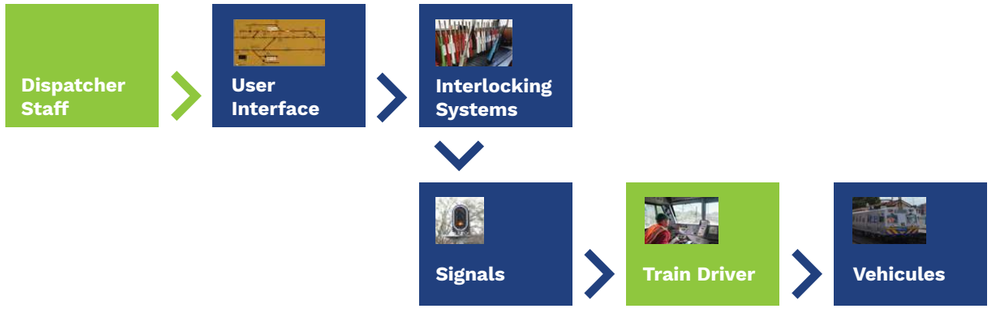
a **La garantie de l'intégrité du train :** vérifier que le train est resté entier et qu'aucun élément abandonné ne peut se trouver sur la voie et occasionner un accident.

b **La localisation du train :** où se trouve le train ? et, dès lors, quels mouvements de ce train ou d'autres trains sont possibles ?

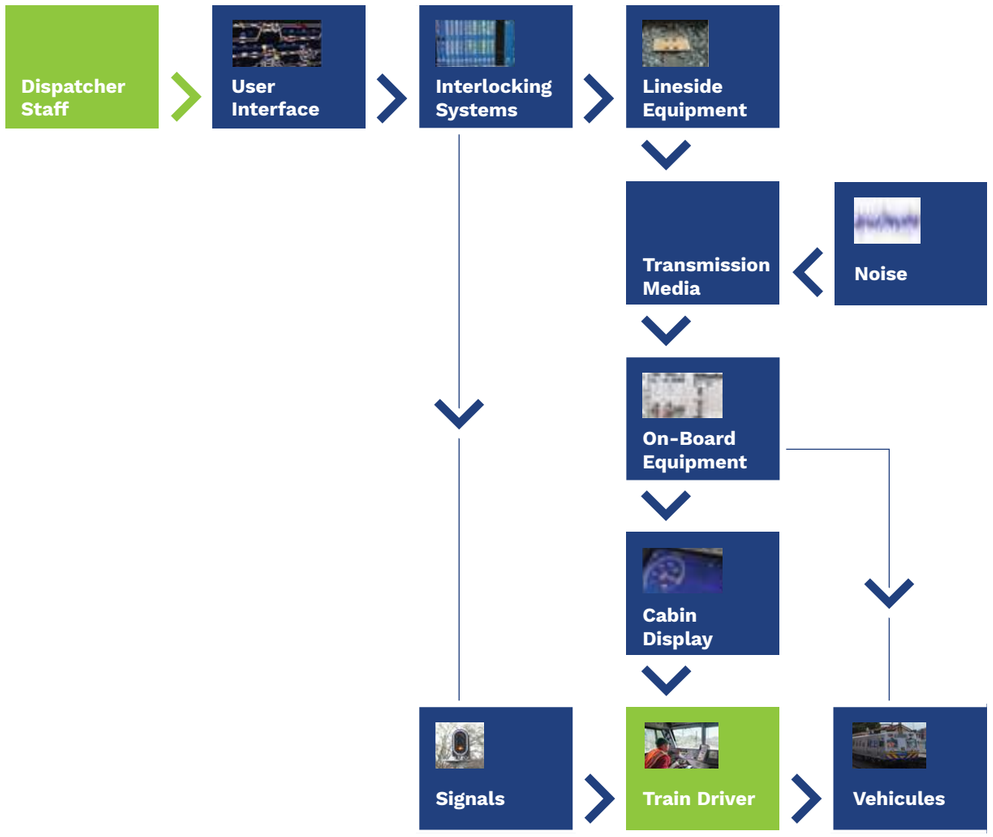
Traditionnellement, ces fonctions sont assurées de la façon suivante sur les « petites lignes » :

- *La garantie de l'intégrité par une observation humaine de la présence du dispositif de queue de train dans les gares en particulier de croisement. Aujourd'hui, une présence humaine est donc requise avec le risque d'erreur.*
- *La localisation des trains est actuellement très rustique. Elle ne donne qu'une indication de présence entre deux points surveillés, points qui peuvent être éloignés l'un de l'autre. Cette fonction est donc imprécise et statique. Elle impose également une présence humaine.*

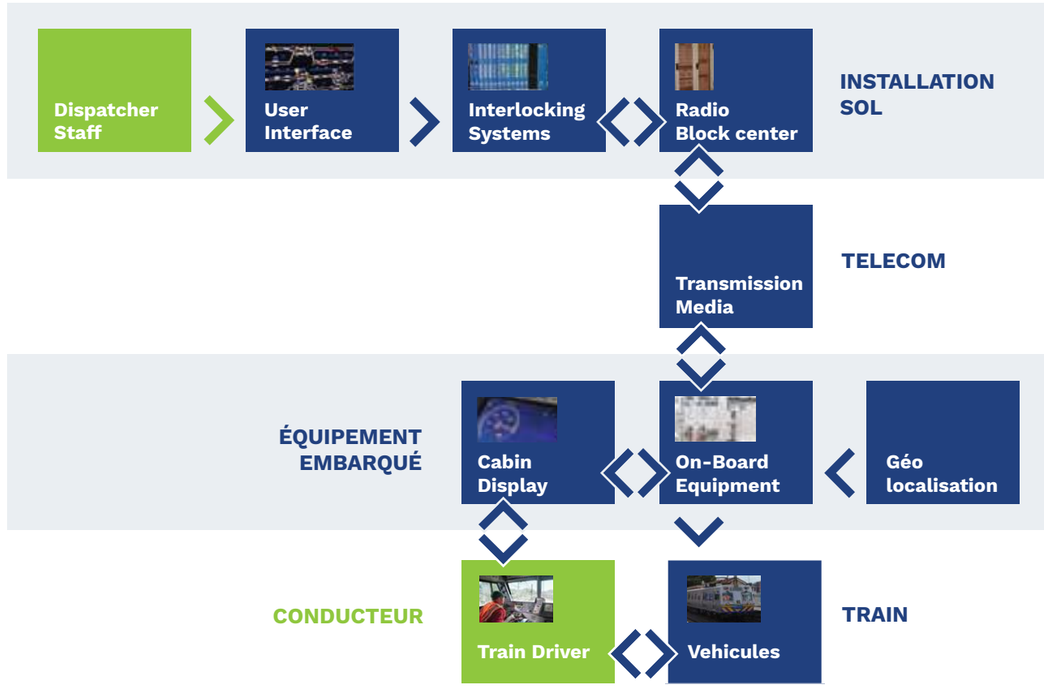
Historiquement la chaîne de transmission standard entre le personnel du centre de contrôle et les véhicules ferroviaires peut être schématisée de la façon suivante :



Cette chaine de transmission a été renforcée en installant des systèmes embarqués quand cela s'avérait indispensable. Cela peut être schématisé de la façon suivante :



Notre proposition consiste à simplifier au maximum ce schéma qui n'est aujourd'hui pas viable économiquement. Les solutions et produits envisagés s'appuient sur des retours d'expériences réalisées sur des projets en dehors de l'Europe, sur des développements réalisés avec des opérateurs européens ainsi qu'au travers de l'initiative "Shift2Rail".



Cela nous ouvre des perspectives de solutions "frugales" sur la base du noyau ERTMS, qui peuvent être structurées pour les différents cas de lignes types retenues dans ce rapport.

D'une façon générale, l'approche préconisée est donc une approche par "compatibilité ascendante", avec des solutions dont le niveau de sophistication et de complexité pourra évoluer au cours du temps, en fonction de l'évolution des besoins et/ou du trafic sur la ligne.

4.2 Les solutions disponibles

4.2.1 Immédiatement

Le choix d'un mode d'exploitation et donc d'une technologie associée ne peut être que la résultante d'une analyse de la conception du système complet incluant la fréquentation envisagée en fonction du service offert de l'infrastructure (son état, les performances qu'elle permet) et du matériel roulant utilisé.

Dans ce cadre, sur les lignes dont l'utilisation a été suspendue, la sagesse est de fonctionner en première étape avec les technologies existantes, même si celles-ci sont simples et aux performances limitées. Parmi ces technologies, il est également intéressant de s'appuyer sur les solutions mises en oeuvre par les industriels en dehors de l'Europe.

La migration vers des technologies plus modernes en fonction de l'objectif visé pour le service peut être différée de quelques années et être déployée en fonction des résultats obtenus pour la fréquentation.

En revanche, sur les lignes en activité, il est utile de se projeter vers un avenir où de nouvelles technologies seront disponibles.

4.2.2 À horizon de 3 à 5 ans

Tirer parti des solutions déployées en dehors de l'Europe pour préparer cet horizon

Aujourd'hui, au travers de différents contrats de signalisation ferroviaire notamment réalisés en dehors de l'Europe, il a été possible de valider en exploitation commerciale un certain nombre d'options.

Telecom

En Asie ou en Australie, des systèmes ERTMS ont été mis en service avec des réseaux Tétra satellitaires.

Plus près de nous, en Sardaigne, la possibilité de s'appuyer sur le réseau public a été validée. Il a également été testé la possibilité de basculer du réseau public vers des communications satellitaires selon des critères de coût et de qualité de service.

Des tests de couverture 4G ont également été réalisés en France.

Geo-localisation

Nous avons vu précédemment qu'il est nécessaire d'avoir une vue de tous les trains. Pour cela, nous avons besoin de deux informations par convoi : la localisation du convoi et le fait qu'il est intègre (c'est à dire qu'il n'a pas perdu de wagon/voiture). Cette notion d'intégrité est l'un des éléments critiques de l'ERTMS niveau 3 et justifie le fait de supprimer les circuits de voies au sol.

Intégrité du train : Ce sujet est en cours de spécification dans le programme de recherche Shift2Rail. Des prototypes sont à l'étude. Il existe également une solution déjà disponible sur les trains. En effet, pour garantir l'intégrité d'un train, il « suffit » d'avoir un équipement central ERTMS. Le bon fonctionnement des lecteurs de balise ERTMS à chaque extrémité du train garantit à lui seul l'intégrité du train.

Géo-localisation : Des systèmes de géolocalisation s'appuyant sur la technologie satellitaire ont été mis en service tout d'abord en Australie, puis en Chine. Ces technologies sont toujours à l'étude en Europe. Les dernières études mettent en évidence le fait que s'appuyer sur un ensemble de capteurs permet d'obtenir le bon niveau de performance vis-à-vis du service attendu.

Utiliser ces retours d'expérience pour répondre aux besoins d'exploitation et de cohérence industrielle de l'offre LDFT

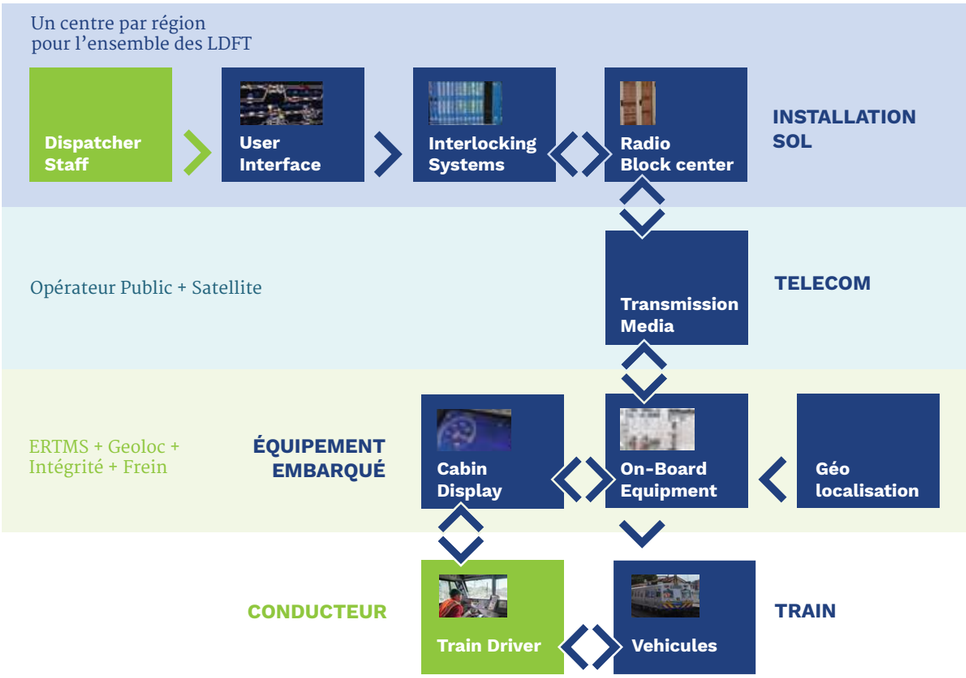
Les briques technologiques (Telecom, Ecran, Localisation, ...) utilisées sur nos systèmes de signalisation sont partagées avec d'autres secteurs industriels. Ces technologies évoluent vite. À horizon de 3 à 5 ans, des progrès vont permettre d'imaginer des technologies d'exploitation des lignes ferroviaires en rupture avec les systèmes existants :

- **a** Une évolution à venir dans le domaine de la signalisation est un basculement de la gestion des circulations du sol vers le bord des mobiles. C'est une évolution majeure, car elle permet de s'affranchir des difficultés traditionnelles rencontrées dans le bon fonctionnement des circuits de voie. L'utilisation de télécommunications efficaces est dès lors indispensable.
- **b** La géolocalisation des trains par satellite supportée par d'autres types de capteurs, qui est une réalité dans de nombreux pays, deviendra une réalité en Europe grâce, entre autres, à l'utilisation de la constellation Galileo.
- **c** Les trains auront connaissance de l'intégrité de leurs convois.
- **d** Le recours aux réseaux publics de télécommunication 3G/4G/5G aura un déploiement de plus en plus étendu et les « zones blanches » seront de plus en plus limitées. Dans les cas limites, il est également possible d'échanger des autorisations de mouvement de train de gare en gare, chaque gare ayant son nœud de couverture radio. Ce mode se rapproche d'un cantonnement téléphonique. Le fait de ne pas déployer un réseau spécialisé GSM-R sur les « petites lignes » est donc envisageable sereinement.
- **e** Des compléments sont aisément envisageables, soit dans le cas où des zones blanches subsistent (grâce à des antennes), soit en cas de saturation des réseaux (grâce à des communications satellites).

f **Le système ERTMS, déployé dans de très nombreux pays du monde, est disponible et capable de traiter quasiment toutes les problématiques rencontrées.**

g **Le développement actuellement en cours de la génération de nouveaux postes informatisés baptisés ARGOS sera achevé et cette nouvelle technologie pourra gérer 300 contrôleurs d'objets (PAI – Poste d'Aiguillage Informatique) et ARGOS RBC (Radio Bloc Center) pourra gérer simultanément 125 trains. Un poste ARGOS pourra donc gérer à lui seul la circulation sur une ligne de longueur significative. Cela va offrir la possibilité de gérer plusieurs « petites lignes », voir une région, avec un seul poste ARGOS.**

L'ensemble de ces avancées permettent d'explorer un scénario qui peut être illustré de la manière suivante :



h **Compléter l'ensemble des avancées précédentes pour les LDFT par un sol ARGOS intégré localement et en communication directe avec le train permet de s'affranchir du déploiement d'un réseau sol. La gestion des circulations en mode dégradé peut alors se faire grâce au personnel à bord, l'objectif étant de contribuer par l'innovation à une plus forte réduction des coûts de déploiement et d'opération.**

Dans ce schéma, la région est maîtresse de ses investissements et de son planning de déploiement. La jonction avec le réseau structurant (RFN), notamment pour rentrer en gare, peut être envisagée de diverses manières :

- *Par une continuation en mode ERTMS si le RFN est également équipé,*
- *En maintenant les systèmes de classe B, en plus de l'ERTMS, sur les trains parcourant les LDFT,*
- *En appliquant les principes LDFT (Classe B like) pour la jonction avec le RFN.*

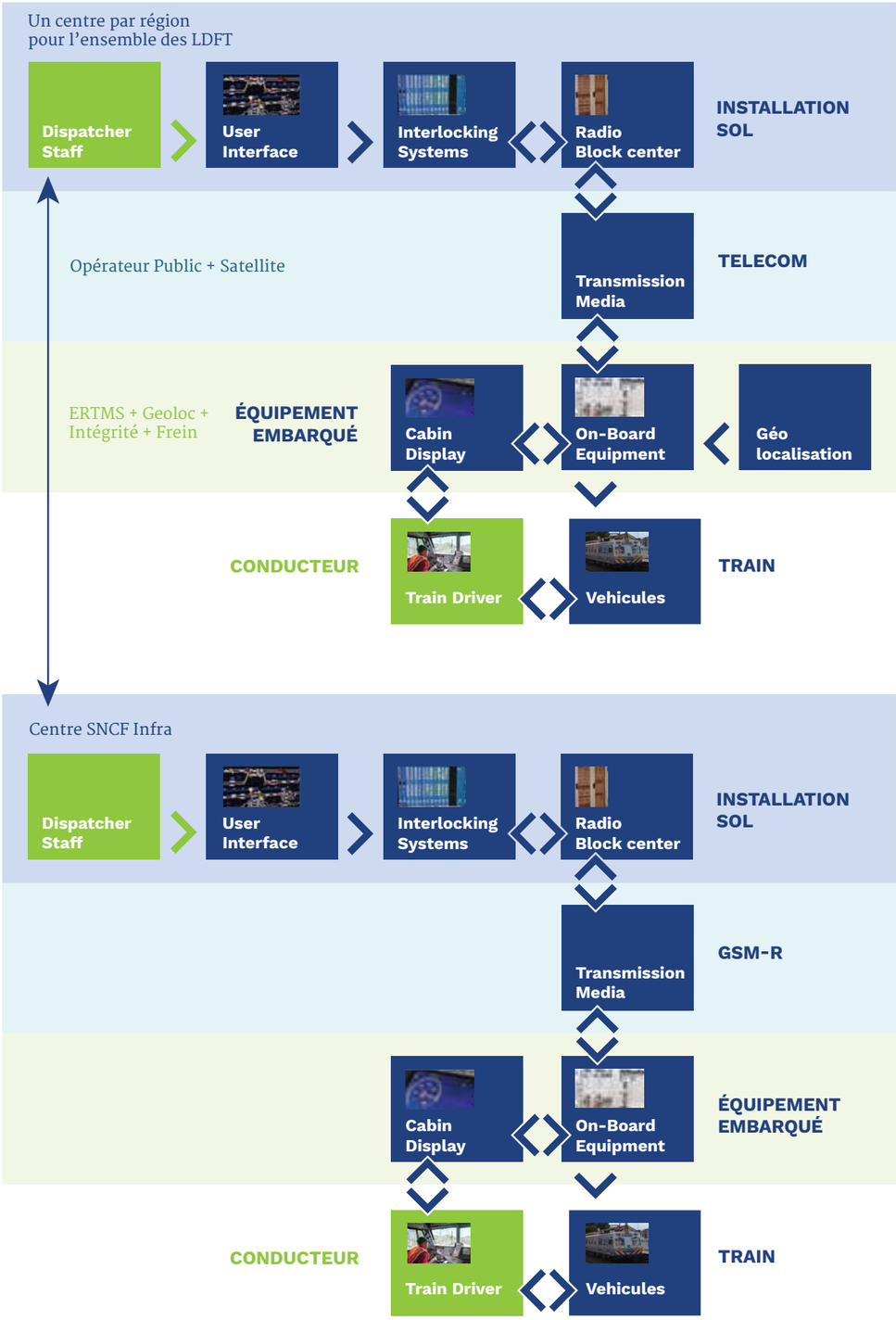
4.2.3 À horizon de 10 ans

À horizon de 10 ans, il est raisonnable d'imaginer la gestion de l'exploitation des LDFT grâce à quelques centres névralgiques en nombre limité (pas plus de 8) équipés chacun :

- *d'un poste de commandement,*
- *d'un poste ARGOS doté d'un contrôleur d'objet PAI (Poste d'Aiguillage Informatique) et d'un RBC (Radio Bloc Center) pour gérer les trains,*
- *d'un équipement de Maintenance Asset Management,*
- *d'un SOC (Security Operation Center).*

Quelques schémas annexés permettent d'illustrer cette nouvelle approche des technologies utilisables pour exploiter les lignes.

Cette approche permet de décorréler les contraintes d'investissement du réseau structurant de la SNCF des contraintes d'investissement des Régions vis-à-vis des LDFT. On aurait donc le schéma (cf. page suivante) :



5. Segmentation des LFDT

Comme indiqué dans la synthèse en début de rapport, la période électorale actuelle est peu propice à la communication des Régions sur leur ambitions ferroviaires sur telle ou telle ligne, donnée d'entrée pourtant essentielle à la « calibration » des solutions « juste nécessaires » à mettre en œuvre pour le service attendu.

Pour autant, il nous a paru indispensable, malgré cette difficulté, de confronter le catalogue de solutions élaboré par les différentes sous-commissions (Exploitation/Signalisation, Infrastructure et Matériel Roulant) à quelques situations réelles et représentatives de la grande diversité de situations rencontrées par les régions.

Nous avons donc défini un certain nombre de critères qui, d'après nous, caractérisent une ligne et sont donc susceptibles d'influer sur les solutions pertinentes à retenir. En dehors des informations standards de type « carte d'identité de la ligne » (par exemple n° RFN, région d'appartenance…) nous avons retenu les critères suivants :

- **Longueur** : paramètre important, notamment pour le type de motorisation « propre »,
- **Profil en long, vitesse** : idem,
- **Électrification** : peut justifier de matériel hybride caténaire /batterie ou hybride caténaire/pile à combustible si le kilométrage sous caténaire le justifie,
- **Trafic mixte avec des trains non TER** : la coexistence avec d'autres trains (notamment de fret) est un facteur important pour apprécier l'impact des circulations sur la maintenance de la voie (dimensionnée par les trains les plus lourds) ainsi que pour les risques de collision éventuels (cas des TTL),
- **Itinéraire de détournement du réseau principal** : si la ligne est utilisée pour des itinéraires de détournement ou de secours du réseau principal, ce point doit être intégré dans la réflexion,
- **Ligne « en antenne »** : une antenne peut permettre des circulations qui pourraient s'affranchir des contraintes d'interopérabilité, le contact avec le RFN pouvant être très limité, voire inexistant (cas possible d'application des TTL) ; voir à ce sujet [5],
- **Fréquences des ouvrages d'art, des passages à niveau (PN)** : conditionnent le coût de maintenance de la ligne (la maintenance indispensable des tunnels par exemple n'étant pas influencée par la masse du matériel en circulation sur la ligne), mais aussi le coût de construction ou de reconstruction suivant que le trafic sera mixte ou pas,
- **Saisonnalité ou caractère touristique** : trafic irrégulier avec une grande flexibilité de capacité à prévoir (voir quelques exemples dans [7]),
- **Bassin de chalandise** : en l'absence d'information plus précise sur les souhaits des régions, le nombre d'habitants donne une idée du potentiel de la ligne (cf. [2]),
- **État de l'infrastructure au sens large (y compris Signalisation)** : conditionne le coût de remise en état préalable à une remise en service de la ligne ou nécessaire à son développement.

Les lignes retenues sont rassemblées dans le tableau ci-dessous, le détail des profils étant reporté en Annexe 1. Naturellement, la catégorisation du rapport selon les différents critères retenus n'engage que ses auteurs et est basée sur les données disponibles au moment de sa rédaction :

Critères / ligne	Commentaires	Ligne 1	Ligne 2
Nom et n° SNCF Réseau		**Auray - Quiberon ligne RFN n°473**	**Saumur - Les Sables d'Olonne ligne RFN n°500/4 et 525/1 et 2**
Régions		Bretagne	Centre Val de Loire / Pays de Loire
Priorité	Priorité	**1**	2
Longueur	en km	27 VU	192 VU
Profil	de 1 à 5 - faible déclivité à profil très sévère	1	2
V max pratiquée	en km/h	60	100/110
Électrification	oui ou non ou partiel (sur une partie de la ligne seulement)	en gare d'Auray	partiel SAU-TH et LRY-LSO
Trafic Fret	oui ou non ou partiel (sur une partie de la ligne seulement)	possible	partiel SAU-TH et Ryon Les Sables
Trafic voyageurs TET ou TGV	oui ou non	non	oui sur LRY-LSO
Itinéraire de détournement du RFN (oui/non)	oui ou non	non	non
Ligne en antenne	oui ou non ou partiel (sur une partie de la ligne seulement)	oui	partiel, à partir de LRY
Région volontaire pour l'ouverture à la concurrence (exploitation et/ou infra)		non	oui
Nombreux ouvrages d'art (oui/non)	fréquence au km ?	non	non
Nombreux PN (oui/non)	fréquence au km ?	oui	oui
Trafic saisonnier et/ou touristique	oui ou non	oui	oui
Bassin de chalandise de la ligne	de 1 (très médiocre) à 5 (excellent)	3	3
État actuel Voie (de 1 à 5)	de 1 (très médiocre) à 5 (excellent)	3	?
État actuel Sig (de 1 à 5)	de 1 (très médiocre) à 5 (excellent)	?	?
Commentaires/bibliographie	carte des lignes UiC 7-9 AV (2016)	Ligne touristique	Etude [7]

Ligne 3	Ligne 4	Ligne 5	Ligne 6	Ligne 7	Ligne 8	Ligne 9	Ligne 10
Arras - Etaples Le Touquet ligne RFN n°307/308	**Charleville Mezières - Givet ligne RFN n°205/3**	**Clermont Ferrand - Le Mont Dore ligne RFN n°710/711**	**Bayonne - Saint Jean Pied de Port ligne RFN n°660**	**Bordeaux - Pointe de Grave / Le Verdon ligne RFN n°584**	**Besançon - Le Locle ligne RFN n°872**	**Figeac - Rodez ligne RFN n°718/2 et 701**	**Grenoble - Veynes ligne RFN n°905/3 et 4**
Hauts de France	Grand Est	AURA	Nouvelle Aquitaine	Nouvelle Aquitaine	Bourgogne Franche Comté	Occitanie	AURA / Sud
1	**1**	2	**1**	**1**		**1**	**1**
100 VU	63 DV	78 DV /VU	52 VU	102 VU	78 VU	72 VU	109 VU
1	2	5	2	1	4	3	5
100	80	70	50/70	100	60/70	80	70
en gare d'Arras et Etaples	en gare de Charleville	en gare de Clermont	non, ligne désélectri-fiée en 2010	oui	en gare de besancon	non	en gare de Grenoble
possible	oui	oui (eaux minérales)	possible	possible	possible	possible	oui sur Grenoble-Vizille (chimie)
non	non	non	non	non	non	non, possible	oui (train de nuit possible)
non	non	non	non	non	non	non	oui
non	oui	oui	oui	oui	oui pour la france	non	non
oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
non	non	oui	oui	non	oui	oui	oui
oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
oui	non	oui	oui	non	non	non	oui
3	2	2	2	3		3	3
5	?	?	?	?	?	?	1 à 3
5	?	?	?	?	?	?	?
5	?	Ligne de montagne	?	?	Ligne de montagne	Etude [2]	Ligne de montagne

6. Cas d'application à quelques cas typiques

Lignes	Rappel longueur (km)	SOLUTIONS SIGNALISATION			
		disponible	< 5 ans	> 5 ans	Commentaires
Auray - Quiberon ligne RFN n°473	27	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	navette possible sans signalisation ?
Arras - Etaples Le Touquet ligne RFN n°307/308	100	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	
Charleville Mezières - Givet ligne RFN n°205/3	63	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	BAL reconduit à l'identique ?
Bayonne - Saint Jean Pied de Port ligne RFN n°660	52	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	
Bordeaux - Pointe de Grave / Le Verdon ligne RFN n°584	102	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	
Besançon - Le Locle ligne RFN n°872	78	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	
Figeac - Rodez ligne RFN n°718/2 et 701	72	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	
Grenoble - Veynes ligne RFN n°905/3 et 4	109	voir chapitre 4.2.1	voir chapitre 4.2.2	voir chapitre 4.2.3	opportunité NextRégio ?

NB : l'approche proposée en matière de signalisation est celle d'une « compatibilité ascendante » des solutions, évolutive en sophistication en fonction de l'évolution du trafic sur la ligne

SOLUTIONS INFRASTRUCTURE				SOLUTIONS MATÉRIEL ROULANT			
disponible	< 5 ans	> 5 ans	Commentaires	disponible	< 5 ans	> 5 ans	Commentaires
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA		X 73500/ATER (ALSTOM)	ATER décarboné (SNCF/ALSTOM); BGC Batterie; MIREO Plus B (SIEMENS)	Possibilité ALSTOM Dualis bi mode caténaire/ batterie	Projets en cours de navettes autonomes : ECOTRAIN, TAXIRAIL, DRAISY, MOBILEYE
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA		X 73500/ATER (ALSTOM); B 81500/ BGC bi mode (ALSTOM)	BGC bi mode caténaire/ batterie (ALSTOM); MIREO Plus B (SIEMENS)		
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA	Intérêt d'une mise à voie unique pour baisser les coûts ?	X 73500/ATER (ALSTOM); B 81500/ BGC bi mode (ALSTOM)	BGC bi mode caténaire/ batterie (ALSTOM); ATER décarboné (SNCF/ALSTOM); MIREO Plus B (SIEMENS)		
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA		X 73500/ATER (ALSTOM); B 81500/ BGC bi mode (ALSTOM)	ATER décarboné (SNCF/ALSTOM); BGC Batterie;	MIREO Plus B (SIEMENS)	
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA	Possibilité d'une élec-trification frugale	B 81500/ BGC bi mode (ALSTOM)	BGC bi mode caténaire/ batterie (ALSTOM); MIREO Plus B (SIEMENS)	Possibilité ALSTOM Dualis bi mode caténaire/ batterie relié au réseau de Bordeaux ?	
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA		X 73500/ATER (ALSTOM); B 81500/ BGC bi mode (ALSTOM)	ATER décarboné (SNCF/ALSTOM); Alstom iLint; Regiolis H2;	MIREO Plus B (SIEMENS)	
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA		X 73500/ATER (ALSTOM); B 81500/ BGC bi mode (ALSTOM)	Alstom ILint; Regiolis H2; MIREO Plus B (SIEMENS) ???		
voir chapitre 3.2.1, 3.3.1 et 3.4.1	voir chapitre 3.2.2	NA		X 76500/XGC (ALSTOM) X 72500/XTER (ALSTOM)	Alstom ILint, Regiolis H2 (ALSTOM); MIREO Plus H (SIEMENS)		

7. Considérations économiques

L'équation économique d'une LDFT sort clairement de l'objet de ce rapport, mais nous souhaitons cependant l'aborder de façon succincte, sous forme de réflexions et de questions, tant elle conditionne l'avenir de ces lignes (réflexions grandement éclairées par [1] et [8] notamment).

Une analyse de benchmark menée par la FIF sur différents cas de figure européens (voir [9]) a montré en effet, au-delà de la grande diversité des situations déjà évoquée, que le déclin de ces lignes n'était pas une fatalité : certaines lignes allemandes notamment promises à la fermeture ont pu être efficacement redynamisées grâce à une organisation du travail plus efficace et à une optimisation des coûts.

Utiliser au maximum l'investissement : le chemin de fer est une activité industrielle avec un fort niveau d'investissement tant dans les infrastructures que dans le matériel roulant. Dans les deux cas, on cherchera donc à en maximiser l'usage afin d'améliorer l'économie du système.

L'importance de la densité de desserte : il se trouve que l'utilisation maximum de l'investissement va également dans le sens de ce qu'attendent les voyageurs : « plus de trains au cours de la journée ».

Inverser le cercle (vicieux) qui conduit à la fermeture : aujourd'hui, c'est souvent l'inverse que l'on peut malheureusement constater : une desserte inadaptée détourne les voyageurs du train, ce qui incite à alléger encore plus la desserte jusqu'au moment où la ligne n'est plus viable…On ferme !

Combien coûte vraiment un train supplémentaire ? si l'on veut au contraire enclencher un cercle vertueux « plus de dessertes/ plus de voyageurs/ meilleure rotation des actifs/ amélioration de l'équilibre financier de la ligne », les autorités organisatrices doivent être incitées à mettre en route des trains supplémentaires. Le coût de ce train supplémentaire est-il correctement répercuté dans les modèles actuels de facturation aux Régions ?

« Petites causes, grands effets » : il ne faut pas négliger des mesures simples, qui peuvent être mises en œuvre sans aucune innovation et amener, à moyens constants (ou quasi constants), à étoffer significativement les dessertes. L'exemple le plus caractéristique est sans doute un relèvement de vitesse, même léger et ponctuel, mais qui peut permettre à un autorail de tourner « à la demi-heure » et assurer ainsi un aller/retour par heure avec un seul véhicule et…sans aucun besoin de signalisation !

Du bon usage - non intuitif ?- du bus : prenant en compte les considérations ci-dessus en matière d'utilisation de l'investissement « à saturation », le raisonnement inverse s'applique également… plutôt que d'investir lourdement en matériel et système d'exploitation pour gérer des pointes très ponctuelles de trafic, il vaut mieux saturer la ligne toute la journée, puis gérer l'excédent de trafic des pointes avec un bus d'appoint…alors que le bus est plutôt vu aujourd'hui comme la solution pour se substituer au rail lorsque le trafic est trop faible…

8. Conclusions et recommandations

Les LDFT constituent un ensemble très hétérogène où l'approche système s'impose puisqu'aucune composante d'une ligne (infrastructure, exploitation/signalisation, matériel roulant) ne peut prétendre à elle seule être l'unique levier de redynamisation.

Cette diversité des situations est d'ailleurs reflétée dans la segmentation décidée par l'État entre les lignes destinées à demeurer dans le RFN, les lignes appelées à relever d'une approche conjointe État/Région dans le cadre des CPER (Contrat de Plan Etat-Région) et, enfin, les lignes pouvant relever d'un transfert de responsabilité aux Régions.

Le présent rapport tente de rassembler les solutions innovantes que peuvent proposer les industriels et entreprises de la FIF afin de les partager avec l'État et les autorités organisatrices pour répondre aux cas de figure très différents rencontrés.

Ce catalogue a été confronté à un échantillon de lignes, certes défini de façon arbitraire, mais que nous espérons cependant assez représentatif des types de situation rencontrés dans les régions.

Même si les aspects organisationnels et économiques sortaient de la mission confiée au groupe de travail, ce dernier point a été abordé en fin de rapport, tant il est en « surplomb » de tout le reste : choisir un modèle économique qui incite les autorités organisatrices à maximiser l'usage de l'infrastructure est un facteur majeur du redressement financier de ces lignes, permettant de sortir enfin du cercle mortifère « desserte médiocre / moins de voyageurs / encore moins de dessertes et… fermeture ».

Ce rapport n'est naturellement qu'une première approche dont nous espérons qu'elle sera cependant utile aux décideurs « Transport » des autorités organisatrices. Mais la définition du *besoin* de chaque région, pour chaque ligne (auquel nous n'avons malheureusement pas eu accès pour les raisons déjà évoquées) est une donnée d'entrée évidemment clef pour rénover ou moderniser « au juste besoin » l'infrastructure et la signalisation, pour choisir le matériel roulant le mieux adapté, pour adapter l'organisation du travail afin de minimiser les coûts tout en maximisant la desserte.

C'est donc une véritable « monographie » de chaque ligne que chaque autorité organisatrice devra mener, seule ou avec le soutien d'ingénieries spécialisées, afin de tirer le meilleur parti de ce patrimoine ferroviaire, dans l'intérêt général.

9. Bibliographie

(1) Rapport du CEREMA : « Quel avenir pour les petites lignes ? » ; 2020

(2) Thèse professionnelle « Lignes de dessertes fines du Massif Central » ; Ecole des Ponts ParisTech ; 2019

(3) La Vie du Rail : « À la recherche d'un matériel adapté aux 'petites' lignes » ; octobre 2020

(4) Gamme de solutions innovantes pour les lignes de desserte fine du territoire ; SNCF Innovation & Recherche ; présentation au groupement Infrastructures de la FIF du 9 mars 2021

(5) « De nouveaux référentiels pour les petites lignes ferroviaires » ; rapport n°012582-01 rédigé par Denis Huneau ; décembre 2019 ; Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable

(6) Rapport SNCF Réseau : « Lignes de desserte fine du territoire ; une nouvelle méthode pour les projets de modernisation » ; novembre 2019

(7) Rapport de Fer de France/ promotion 2019 Moisson Desroches : "Études de lignes"

(8) Ville, rail & Transport : « Les petites lignes ferroviaires : survie ou agonie ? » ; février 2021

(9) Rapport de la FIF : « Petites lignes » et « Trains légers » Benchmark européen sur ce thème; 2020

Annexes

1. Proposition d'un échantillon représentatif de LDFT 43

2. La longue histoire des « trains très légers » 70

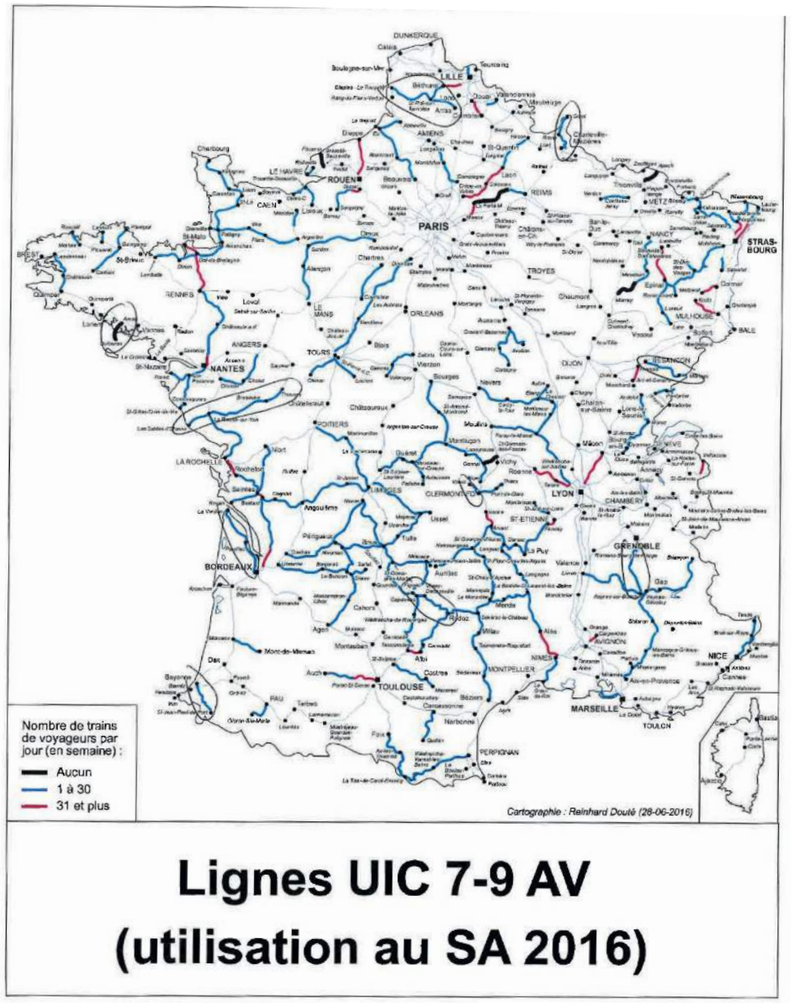
3. Les propositions actuelles des constructeurs 72

4. Les projets de trains « très légers » innovants 80

5. Fiches de la commission « Infrastructure » 82

ANNEXE 1

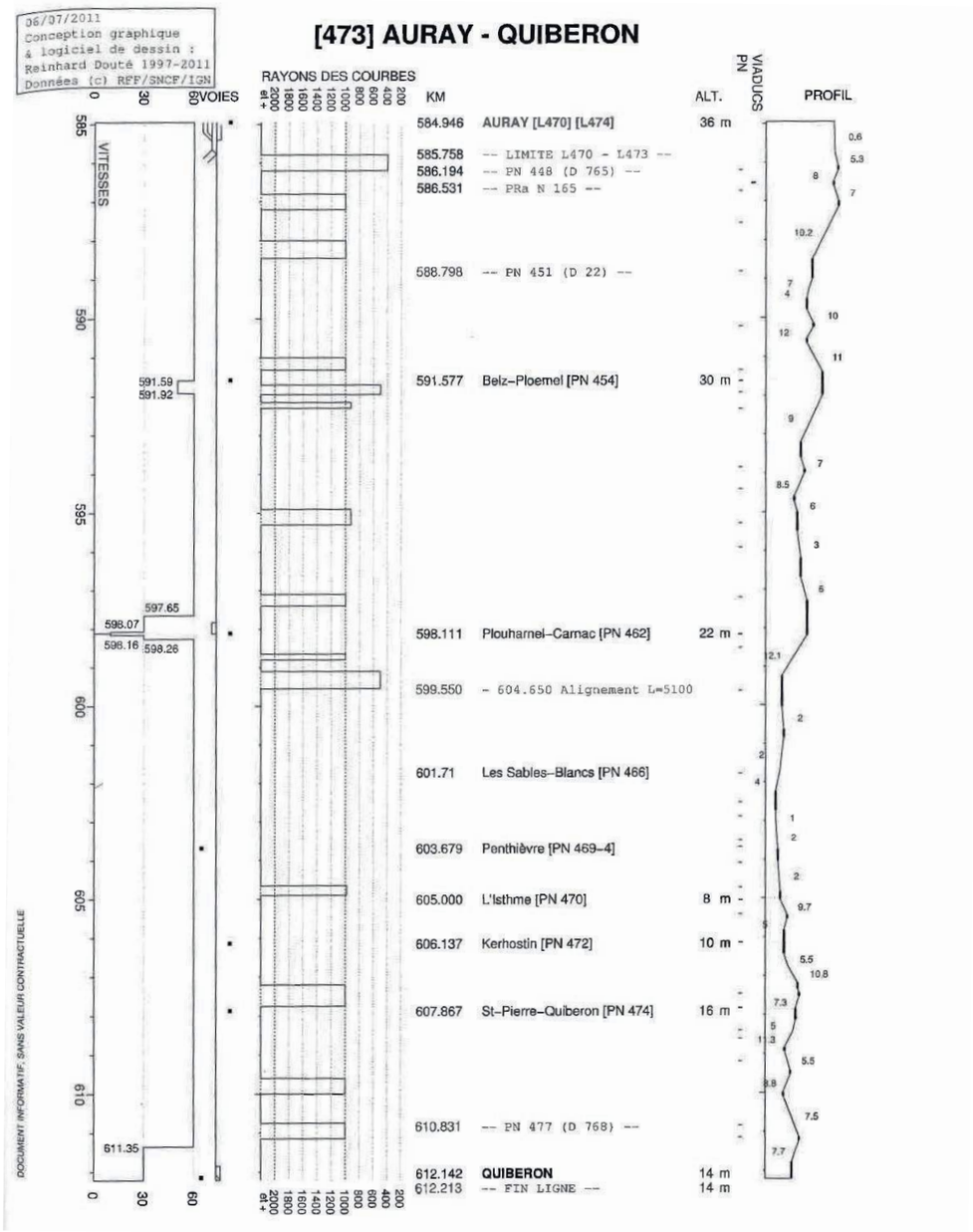
Proposition d'un échantillon représentatif de LDFT



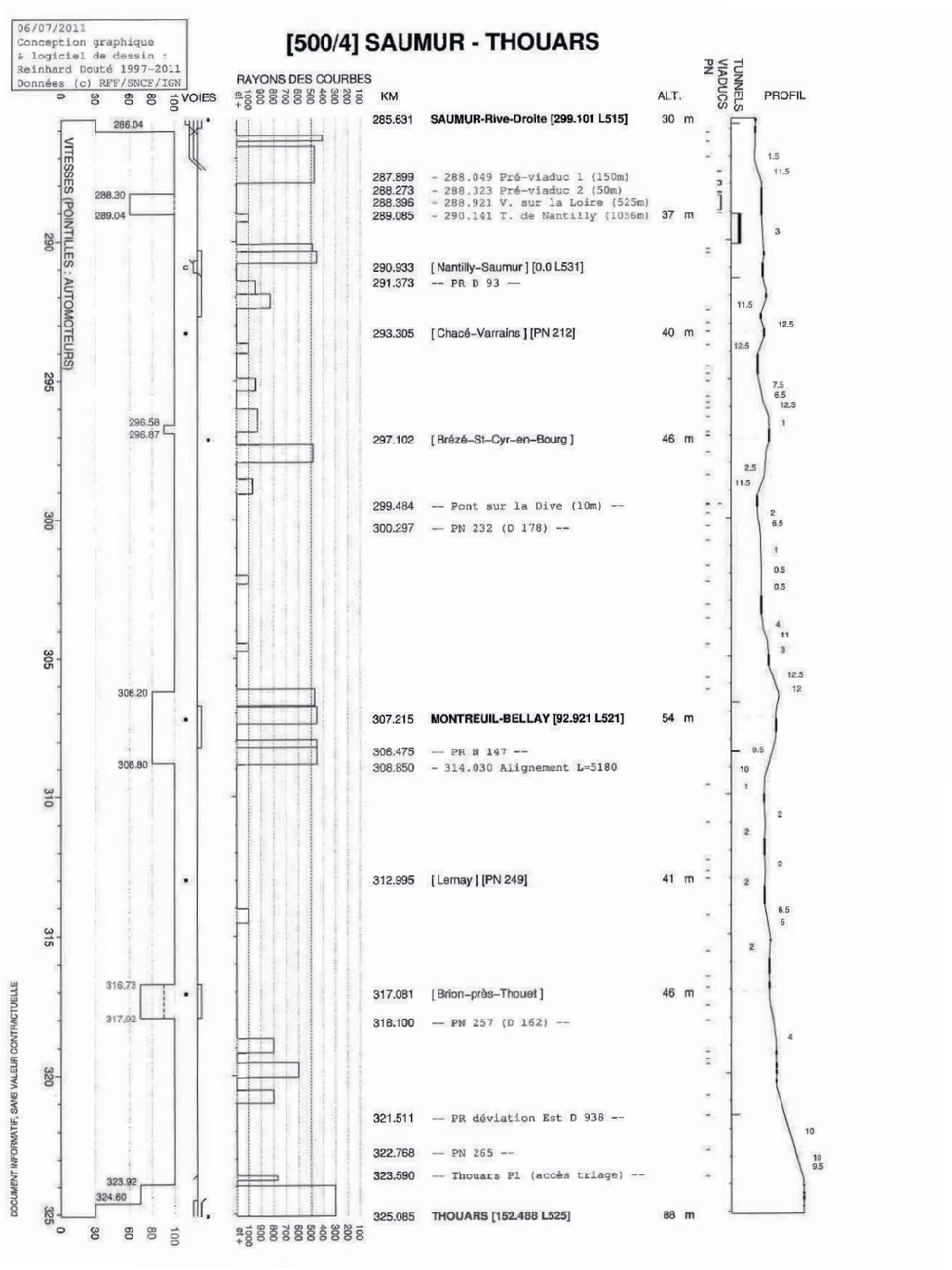
Pour rappel (voir [6]), les catégories dites « UIC 7 à 9 » (en réalité une classification élaborée par la SNCF) correspondent à 12 047 km sur un total du RFN de 28 364. Un quart de ces lignes ne voient circuler que des trains de fret, tandis qu'environ 2000 km sont circulés soit par des TGV, soit par des trains Intercités. Plus de 60 % de ces lignes sont à voie unique et seulement 15 % d'entre elles sont électrifiées.

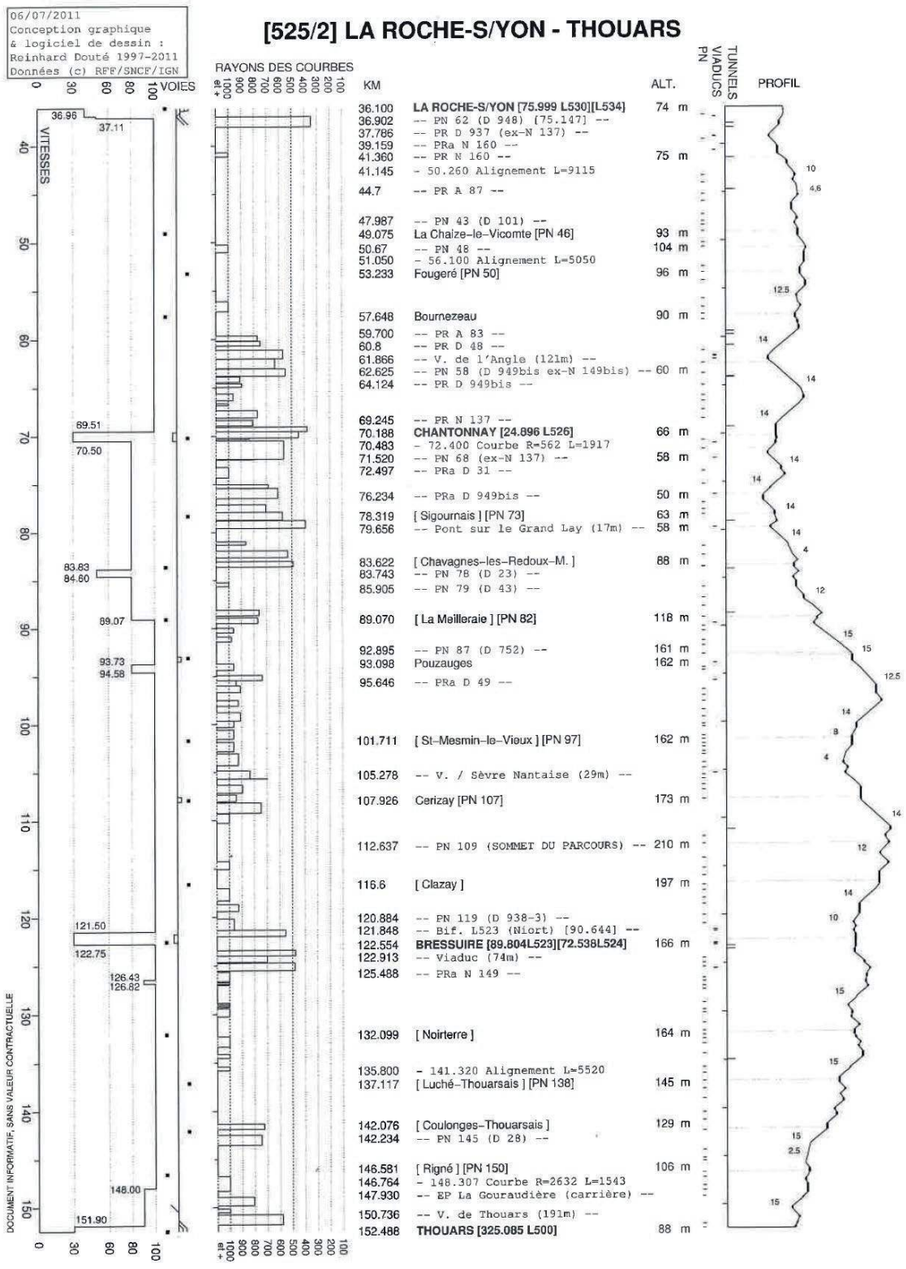
Ligne 1	**AURAY - QUIBERON**
Ligne n°	**473**
Longueur	27,3 km Bif 0,8 km de la gare d’Auray VU
Profil	Facile 1
V max	60 km/h
Électrification	sur les 800 premiers mètres
Trafic Fret	non, possible
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d’hab.)	▪ Auray : 13700 ▪ Quiberon : 4600 ▪ Fort trafic touristique/saisonnier TOTAL : 18300
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	oui
Ouvrages d’art fréquents	non
Remarques	

Annexe 1 : proposition d’un échantillon représentatif de LDFT

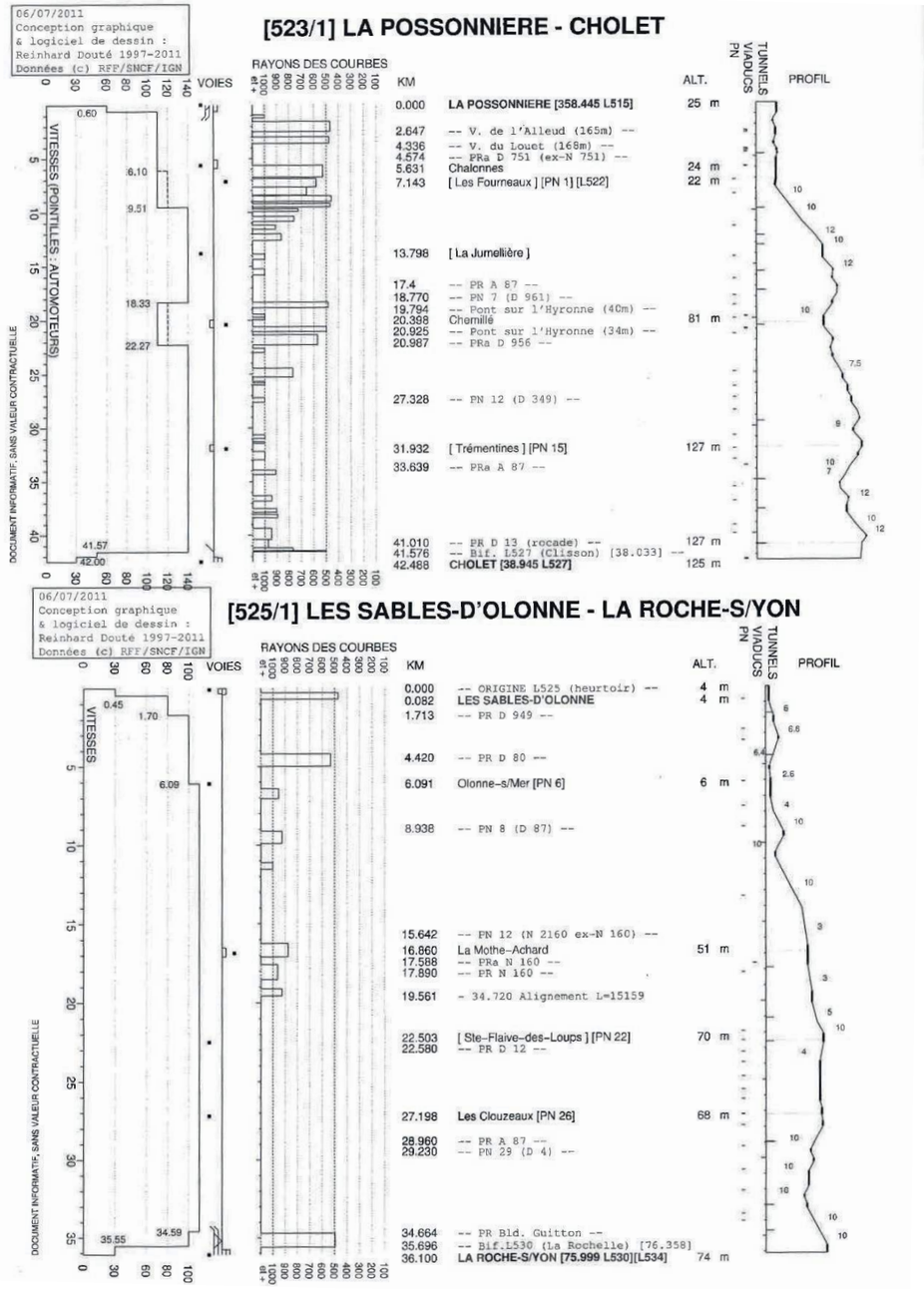


Ligne 2	**SAUMUR - LES SABLES-D'OLONNE**
Ligne n°	**500/4 + 525/1 et 2**
Longueur	▪ Saumur - Thouars : 39,4 km ▪ Thouars - La Roche/Yon - Les Sables d'Olonne : 152,5 km TOTAL : 191,9 km VU
Profil	Facile 2 À noter cependant, des sections en rampe de 12°/°°
V max	100/110 km/h
Électrification	Oui (Saumur - Thouars & La Roche/Yon - Les Sables-d'Olonne)
Trafic Fret	oui
Trafic voyageurs	TER TGV
Chalandise (en nb d'hab.)	▪ Saumur : 27500 ▪ Montreuil : 4000 ▪ Thouars : 9200 ▪ Bressuire : 19400 ▪ Chantonnay : 8300 ▪ La Roche/Yon : 53600 ▪ Les Sables-d'Olonne : 44300 TOTAL : 166 300
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui de Thouars à La Roche-sur-Yon
Antenne	oui (La Roche-sur-Yon - Les Sables-d'Olonne)
Ouvrages d'art fréquents	non
Remarques	

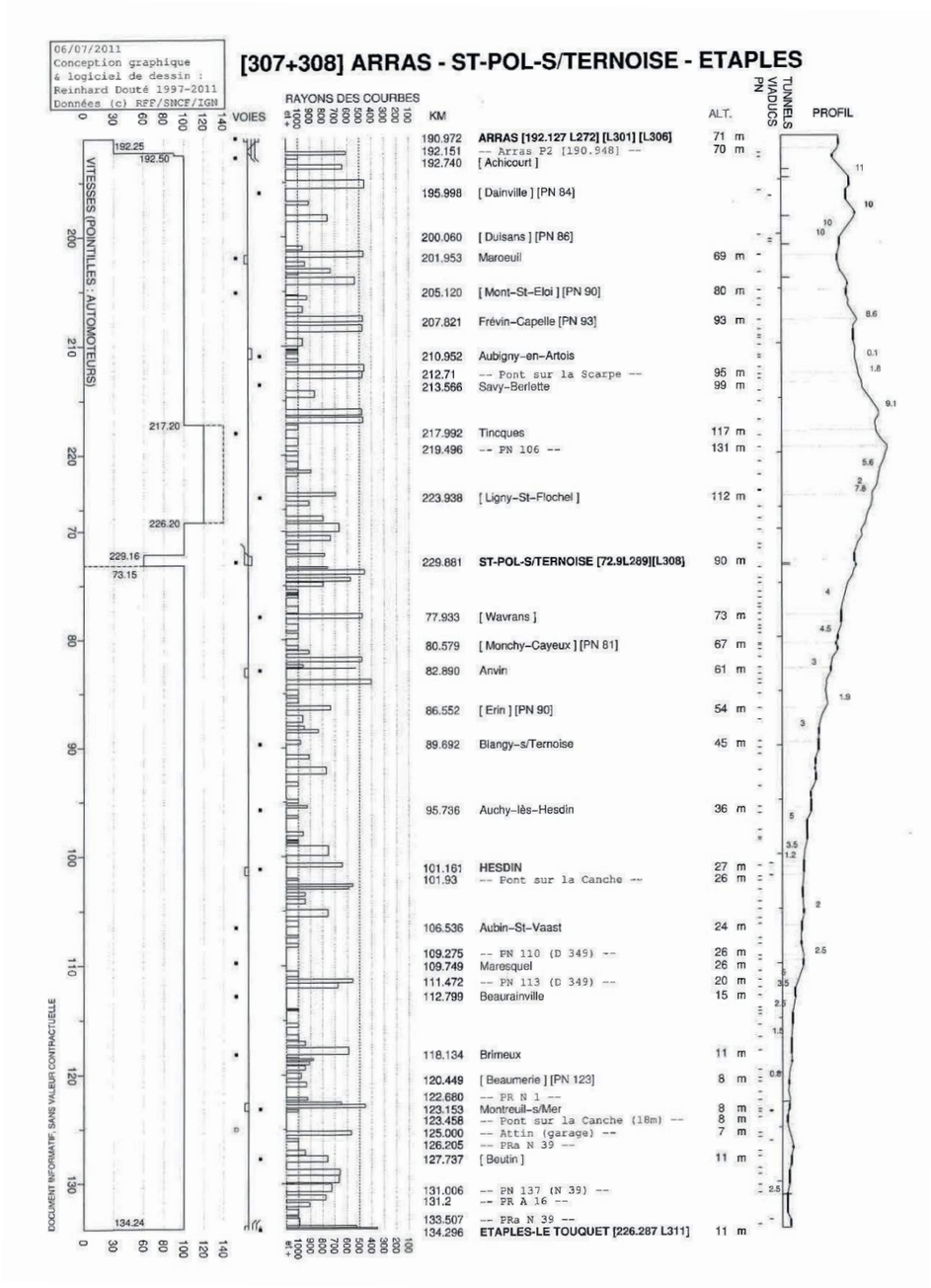




Annexe 1 : proposition d'un échantillon représentatif de LDFT

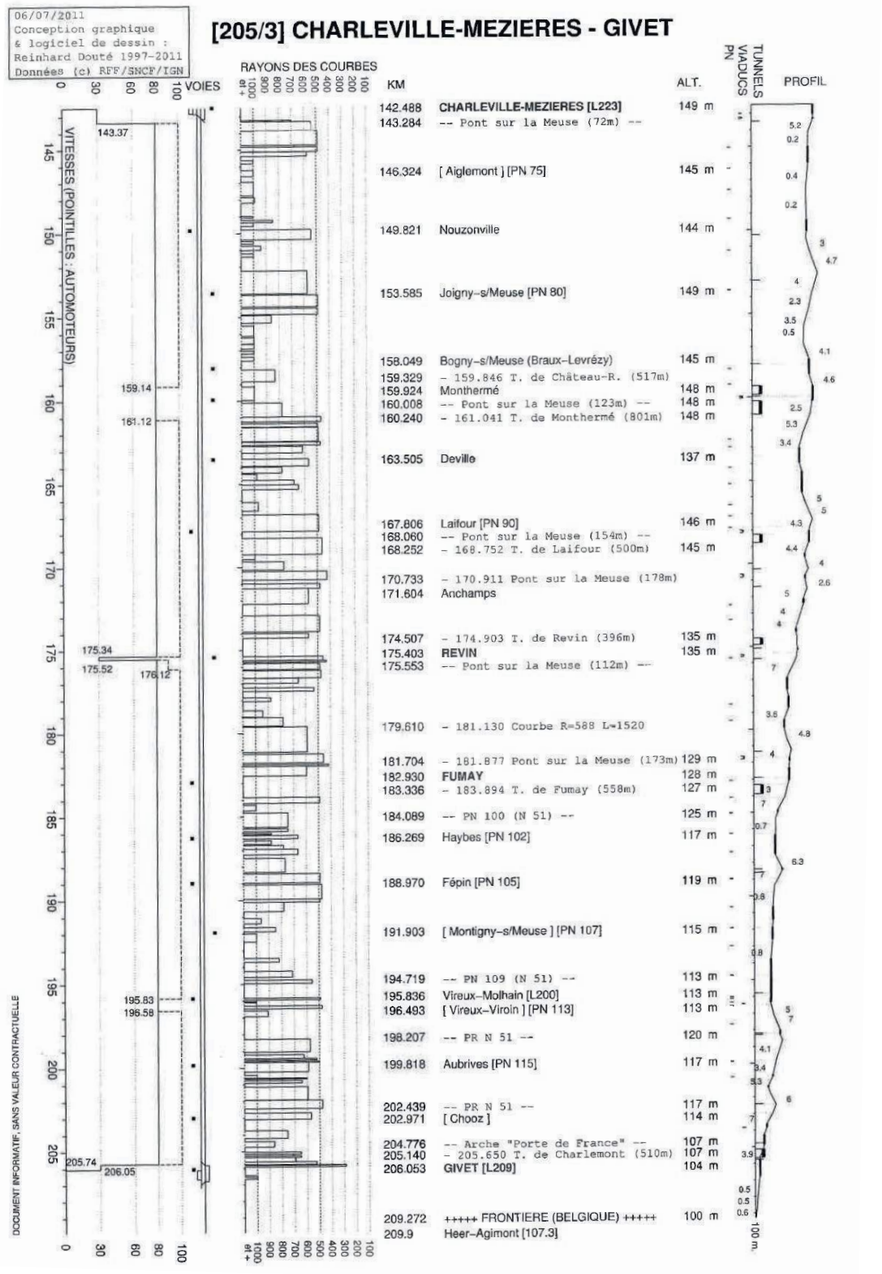


Ligne 3	**ARRAS - SAINT POL SUR TERNOISE - ÉTAPLES**
Ligne n°	**307/308**
Longueur	▪ Arras - St Pol : 38,9 km ▪ St Pol - Étaples : 61,4 km TOTAL : 100,3 km VU
Profil	Facile 1/2 Un peu de rampe en 11 °/°° après Arras
V max	100 km/h
Électrification	oui, à Arras et Étaples - Le Touquet
Trafic Fret	possible
Trafic voyageurs	TER Arras - St Pol sur Ternoise
Chalandise (en nb d'hab.)	▪ Arras : 40700 ▪ St Pol : 5000 ▪ Hesdin : 2200 ▪ Étaples/Le Touquet : 11200/4300 TOTAL : 63100
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	non
Ouvrages d'art fréquents	non
Remarques	

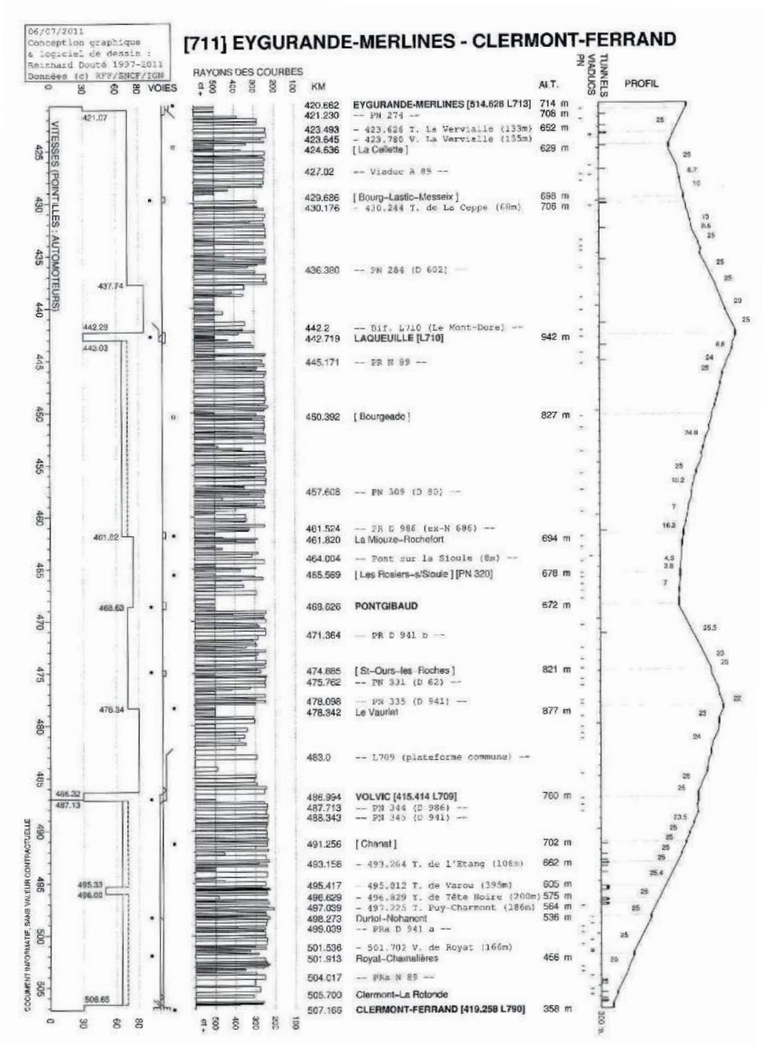


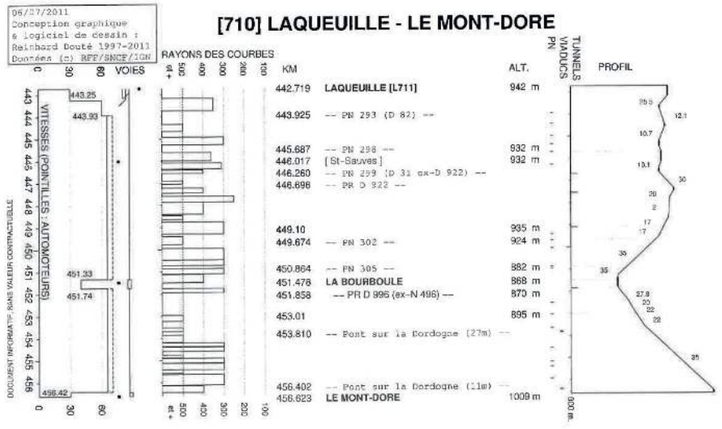
Ligne 4	**CHARLEVILLE-MÉZIÈRES - GIVET**
Ligne n°	**205/3**
Longueur	63,5 km Double voie
Profil	Facile 1/2 Quelques zones en rampe de 7 °/°°
V max	80 km/h
Électrification	oui, à Charleville
Trafic Fret	oui
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d’hab.)	▪ Charleville : 57900 ▪ Revin : 6500 ▪ Fumay : 3500 ▪ Givet : 6700 TOTAL : 74600
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	oui
Ouvrages d’art fréquents	non
Remarques	

Annexe 1 : proposition d’un échantillon représentatif de LDFT

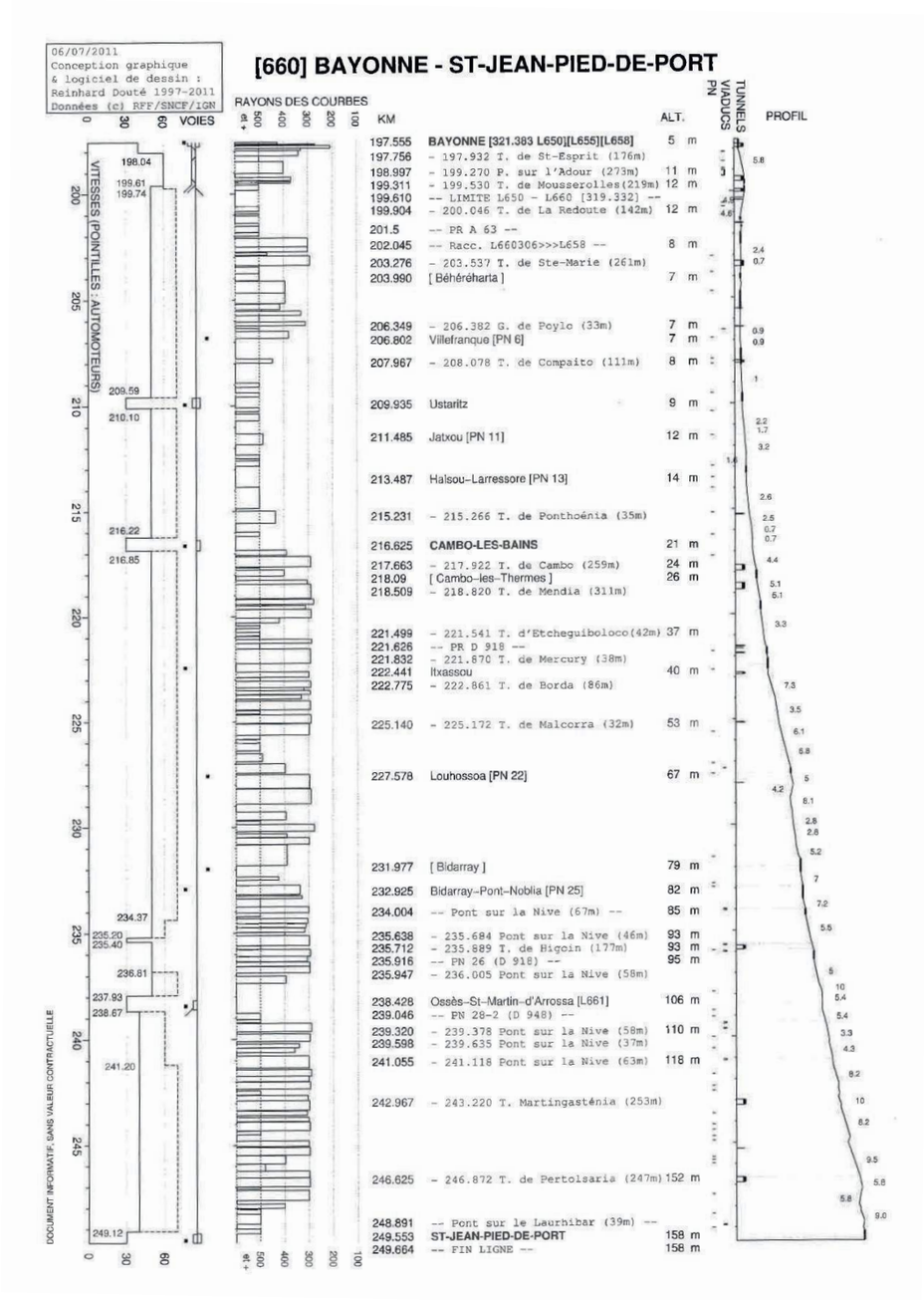


Ligne 5	**CLERMONT FERRAND - LE MONT DORE**
Ligne n°	**710 + 711**
Longueur	▪ Clermont - Laqueuille : 64,5 km ▪ Laqueuille - Le Mont-Dore : 13,9 km TOTAL : 78,4 km VU sauf Clermont - Volvic en double voie
Profil	Difficile 4/5 25 °/°° sur Clermont-Ferrand - Laqueuille 35 °/°° Laqueuille - Le Mont-Dore
V max	70 km/h
Électrification	oui, à Clermont-Ferrand
Trafic Fret	oui (eaux minérales)
Trafic voyageurs	TER Cle - Vol
Chalandise (en nb d'hab.)	▪ Clermont : 141 000 ▪ Volvic : 4400 ▪ La Bourboule : 1800 ▪ Le Mont-Dore : 1300 TOTAL : 148 500
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	oui Laq - LMD
Ouvrages d'art fréquents	oui
Remarques	ligne de montagne, avec conditions climatiques rigoureuses (déneigement)



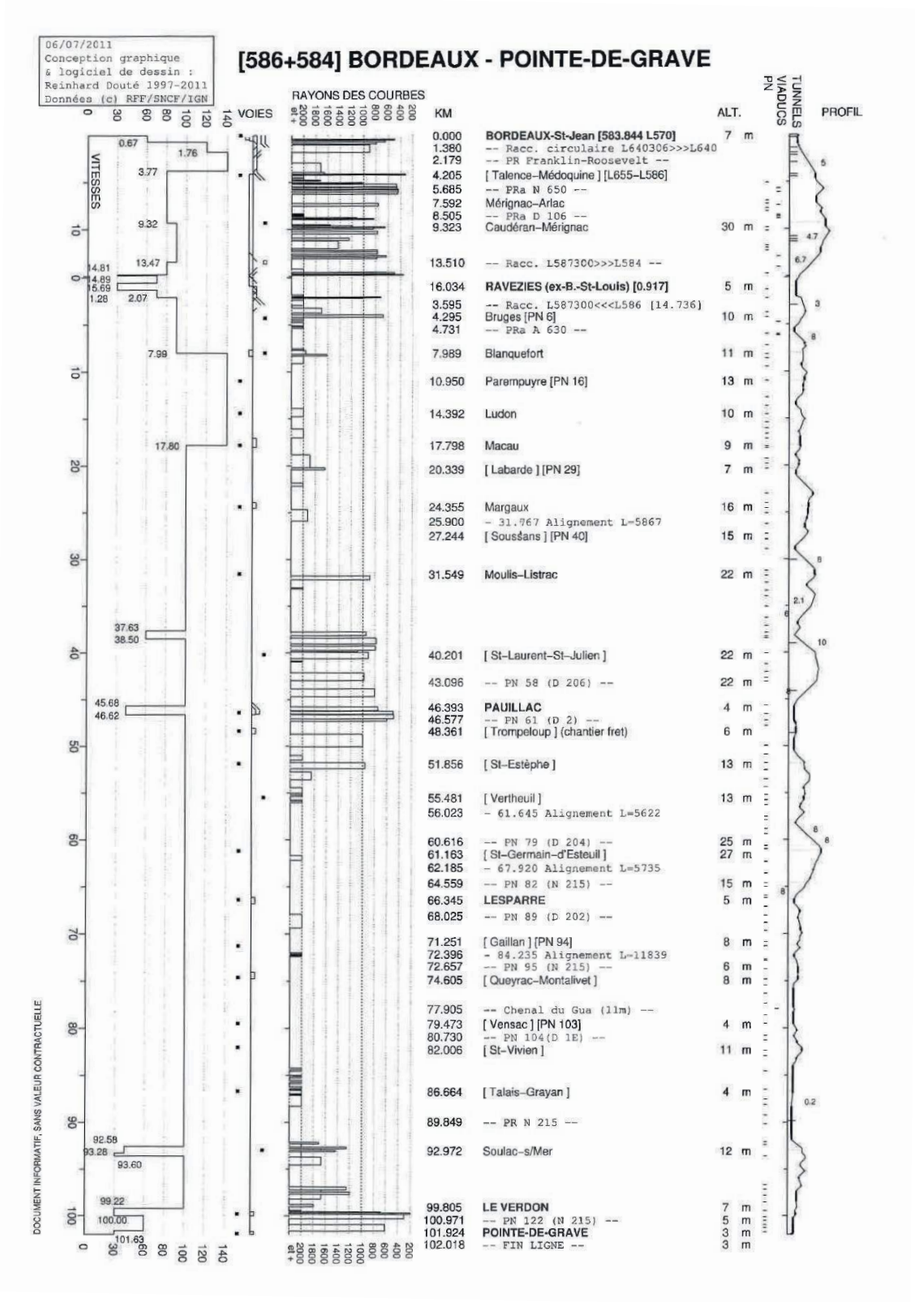


Ligne 6	**BAYONNE - SAINT-JEAN PIED DE PORT**
Ligne n°	**660**
Longueur	52 km VU
Profil	Facile 1/2 Un peu de rampe de 9 °/°° en fin de ligne
V max	50/70 km/h
Électrification	Ligne desélectrifiée il y a une dizaine d’années
Trafic Fret	possible
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d’hab.)	▪ Bayonne : 49200 ▪ Cambo : 6700 ▪ Saint-Jean PP : 1600 TOTAL : 57 500 Ligne à trafic touristique et saisonnier
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	oui
Ouvrages d’art fréquents	non
Remarques	



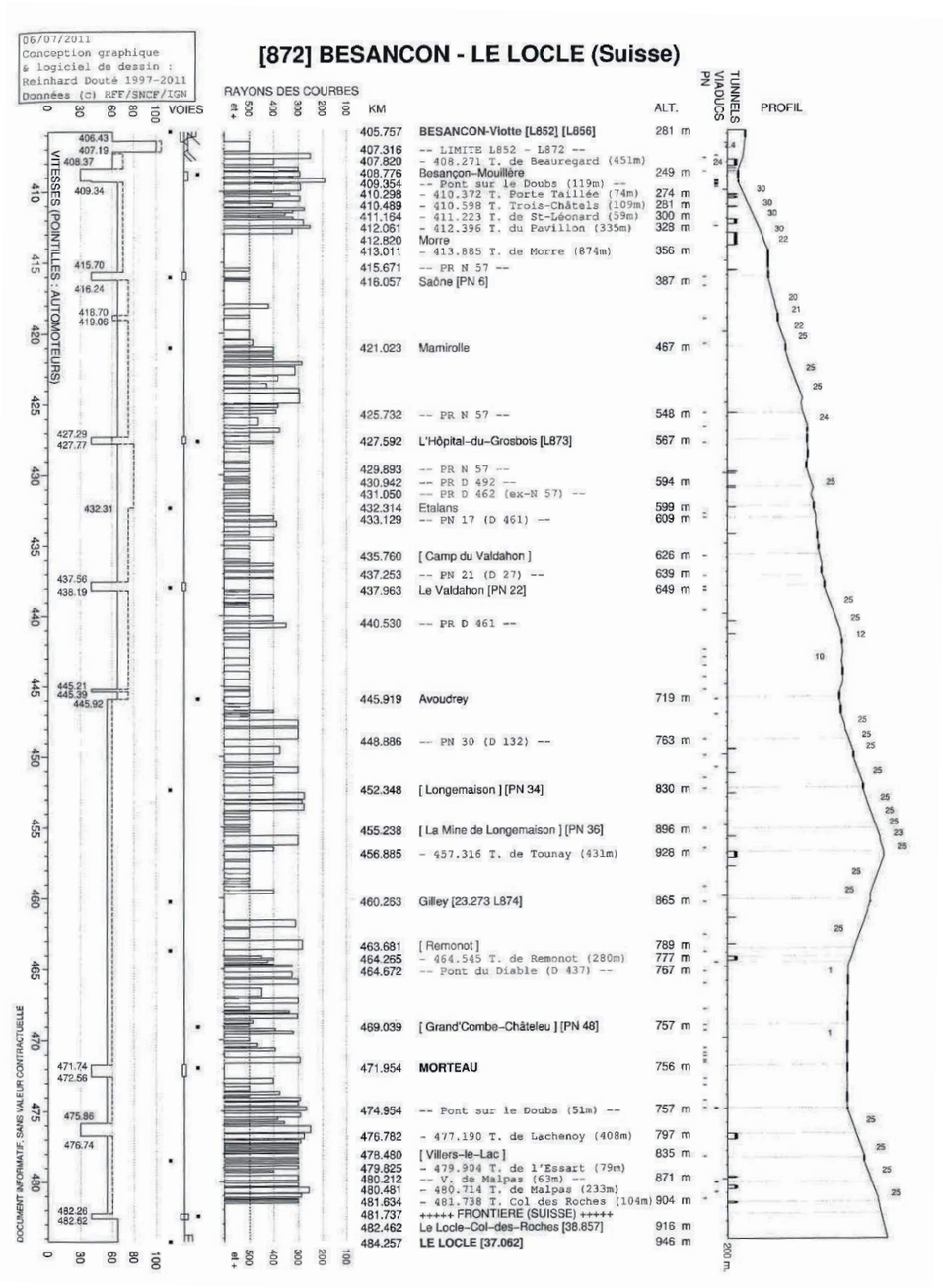
Ligne 7	**BORDEAUX - POINTE DE GRAVE**
Ligne n°	**584**
Longueur	102 km VU
Profil	Facile 1/2 Un peu de 8 °/°°
V max	100 km/h
Électrification	oui
Trafic Fret	possible
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d'hab.)	▪ Bordeaux : 257 000 ▪ Agglo : 970 000 ▪ Pauillac : 4900 ▪ Le Verdon : 1300 TOTAL : 976 200
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	oui
Ouvrages d'art fréquents	non
Remarques	

Annexe 1 : proposition d'un échantillon représentatif de LDFT

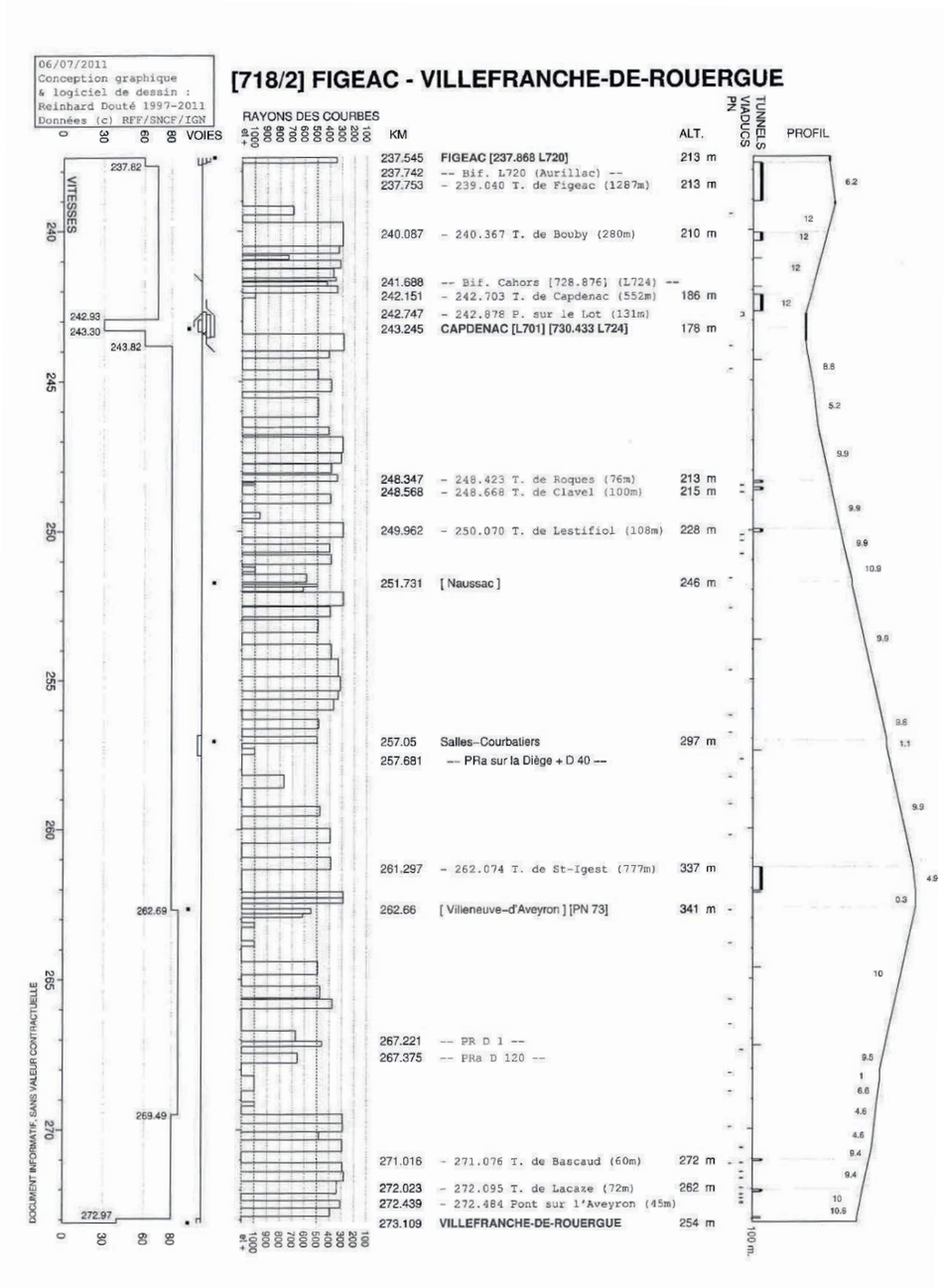


Ligne 8	**BESANÇON - LE LOCLE**
Ligne n°	**872**
Longueur	78,5 km VU
Profil	Difficile 4 Beaucoup de rampes à 25 °/°°
V max	60/70 km/h
Électrification	oui, à Besançon
Trafic Fret	possible
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d’hab.)	▪ Besançon : 117 000 ▪ L’Hôpital du Grosbois : 600 ▪ Valdahon : 5500 ▪ Morteau : 6800 ▪ Le Locle (Suisse) : 10 200 TOTAL : 140 100
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	oui
Ouvrages d’art fréquents	oui
Remarques	Ligne de montagne

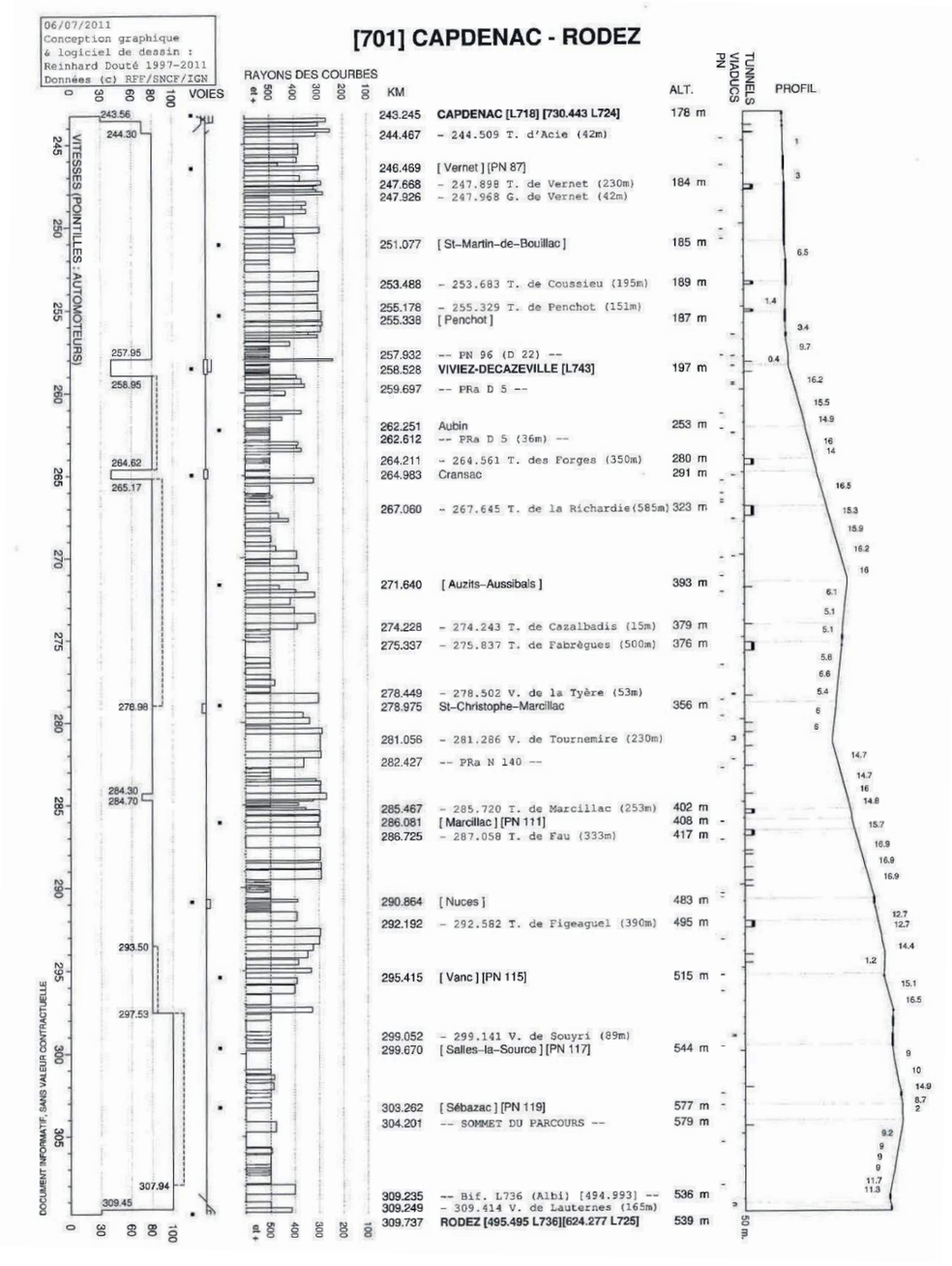
Annexe 1 : proposition d’un échantillon représentatif de LDFT



Ligne 9	**FIGEAC - RODEZ**
Ligne n°	**718/2 + 701**
Longueur	▪ Figeac - Capdenac : 5,7 km ▪ Capdenac - Rodez : 66,5 km TOTAL : 72,2 km VU
Profil	Moyen 3 Pas mal de 16 pm
V max	80 km/h
Électrification	non
Trafic Fret	possible
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d’hab.)	▪ Figeac : 9800 ▪ Capdenac : 1100 ▪ Viviez-Decazeville : 1300/5500 ▪ Rodez : 24 000 TOTAL : 41 700
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	non
Ouvrages d’art fréquents	oui
Remarques	

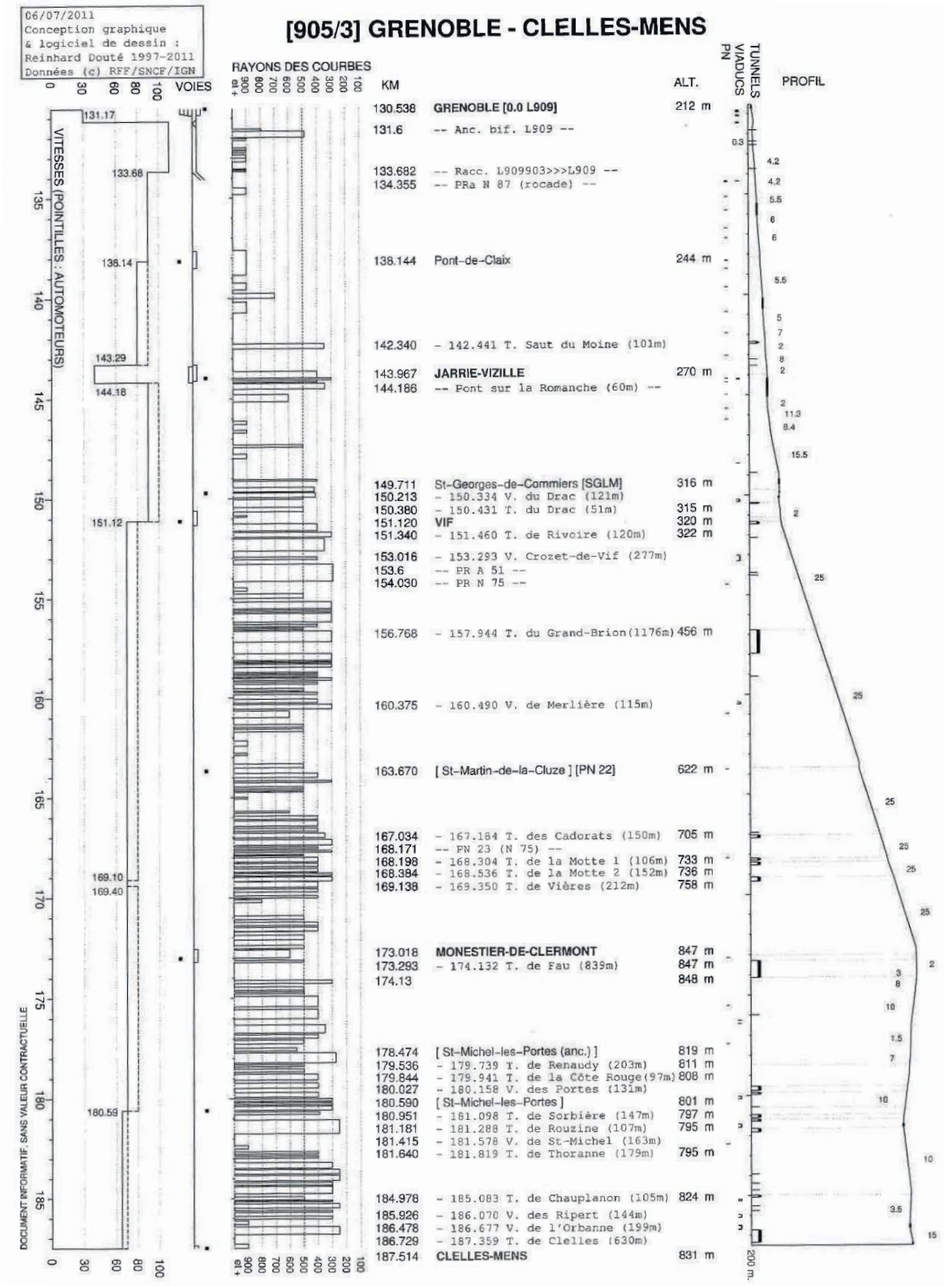


Annexe 1 : proposition d'un échantillon représentatif de LDFT

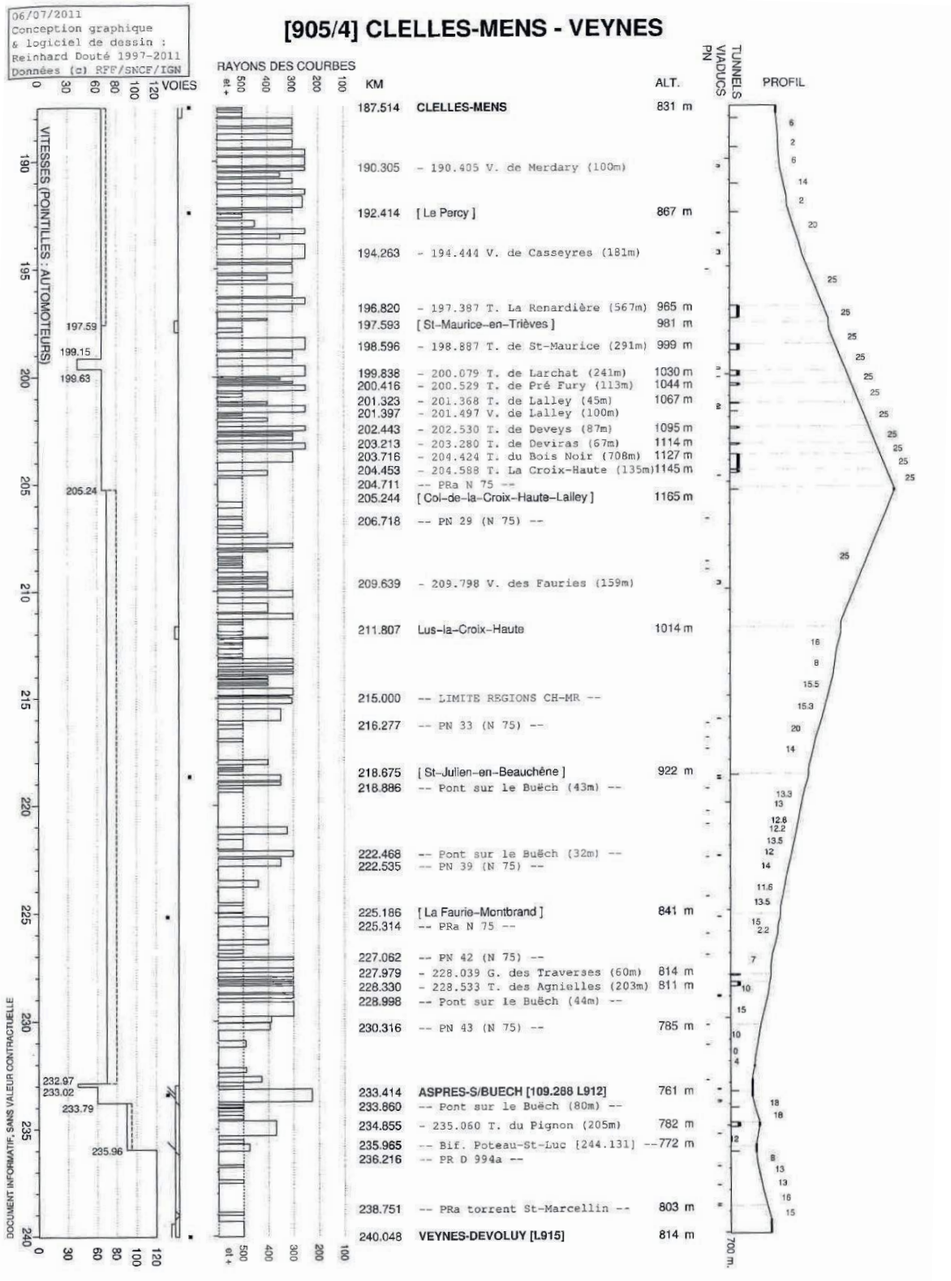


Ligne 10	**GRENOBLE - VEYNES**
Ligne n°	**905/3 et 4**
Longueur	109,5 km VU
Profil	Difficile 4 Beaucoup de longues zones en 25 pm
V max	70 km/h sur de grandes longueurs
Électrification	Gare de Grenoble → Bif (3 km)
Trafic Fret	Oui entre Grenoble et Vizille (chimie)
Trafic voyageurs	TER
Chalandise (en nb d’hab.)	▪ Grenoble : 160 000 ▪ Total Agglo Grenoble : 450 000 ▪ Aspres/Veynes : 800/3200 TOTAL : 454 000
Ligne UIC 7 à 9 en 2016	oui
Antenne	non
Ouvrages d’art fréquents	oui, nombreux viaducs et tunnels
Remarques	ligne de montagne, avec conditions climatiques rigoureuses (déneigement)

Annexe 1 : proposition d’un échantillon représentatif de LDFT



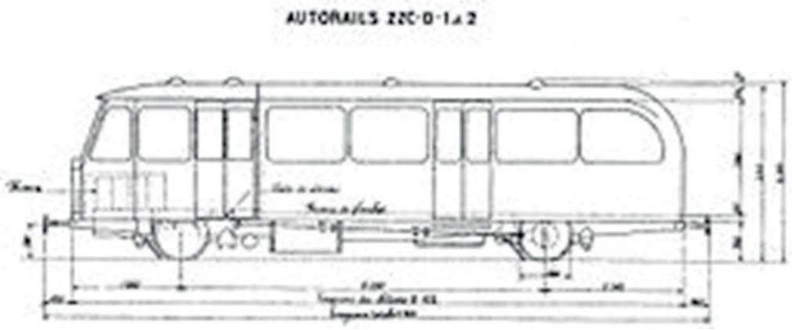
Annexe 1 : proposition d'un échantillon représentatif de LDFT



ANNEXE 2

La longue histoire des « trains très légers »

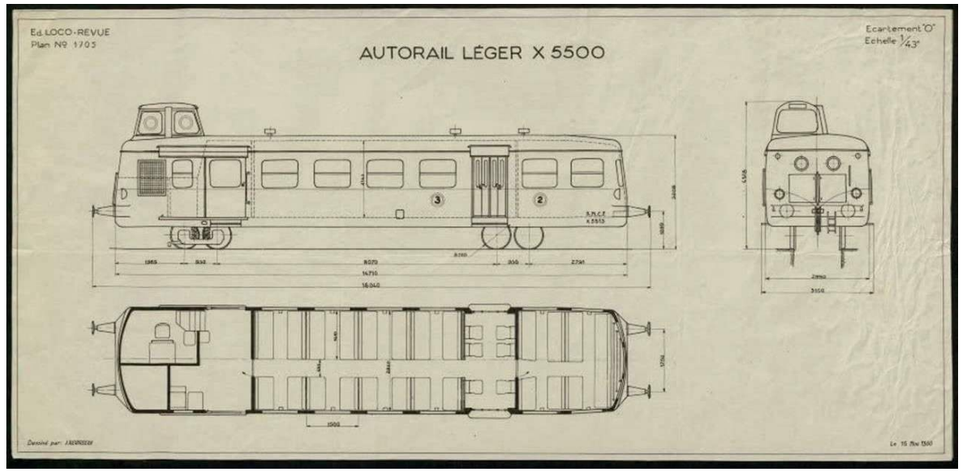
SOMUA ZZ D1 et D2 :
autorail léger développé pour le réseau PLM dérivé de la technologie autobus ;
40 places ; 90 km/h ; livrés en 1932-33 ; à essieux



Floirat :
dérivé de la technologie autocar; 34 places ;
70 km/h; livrés après-guerre ; à essieux

FNC/ Billard :
pour relancer les petites lignes SNCF après-guerre (initiative de la CGT) ; 83 places ;
65 à 70 km/h ; livrés de 1946 à 1953 ; à essieux

X 5500/5800 Renault :
autorail léger développé par la SNCF ; 63 places ; 90 km/h ;
livrés de 1948 à 1951 ; à « chariot » à deux essieux et petites roues



A2E/ Soulé :
autorail « semi-léger » développé pour la SNCF… ; 38 places ; 90 km/h ;
livrés en 1990 ; à essieux…le dernier autorail « léger » (25,5 tonnes quand même…) de l'histoire ferroviaire française

ANNEXE 3

Les propositions actuelles des constructeurs

ALSTOM

ALSTOM
• mobility by nature •

Recommandations / lignes directrices

- Les lignes de desserte fine du territoire ne constituent pas un tout homogène: il existe différentes typologies de lignes qui appellent différentes solutions. Il est illusoire de vouloir agréger les besoins autour d'une seule solution.
- Le principal enjeu des LDFT est la fiabilité, l'attractivité de l'offre, le service. Le matériel roulant n'est qu'un outil au service de la ligne.
- La correspondance avec un centre urbain ou une gare importante est un pré-requis pour l'attractivité d'une LDFT. Cela implique une interface avec le RFN et donc la compatibilité du matériel.
- La zone de pertinence du ferroviaire doit être clairement définie. Compte tenu des coûts d'exploitation, de maintenance et des enjeux de sécurité, le ferroviaire est pertinent s'il correspond à un volume que la route ne peut absorber ou à un gain de temps substantiel ou à la garantie d'une fiabilité de son trajet.
- Une solution n'a de sens que si elle correspond à un volume industrielle minimal. En outre, il faut éviter les mini-flottes qui limitent les synergies en entretien et en exploitation.
- L'enjeu de décarbonation des matériels diesel s'est imposé comme un impératif.
- Le parc de matériel roulant ferroviaire est assez important et relativement peu âgé en moyenne. Le premier enjeu consiste donc principalement à moderniser et décarbonner les flottes existantes pour les LDFT.
- En complément et/ou à plus long-terme, il peut y avoir des besoins nouveaux.

© ALSTOM SA, 2019. All rights reserved. Information contained in this document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on that it is complete or correct or will apply to any particular project. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is provided without liability and is subject to change without notice. Reproduction, use or disclosure to third parties, without express written authorisation, is strictly prohibited.

• ALSTOM • 2

Solutions pour les LDFT

Capitaliser sur l'existant :

- Rénovation des X73500 : 330 rames pouvant faire l'objet d'une rénovation globale avec propulsion HVO (diesel synthétique) ou GNV et boucle de shuntage / enjeu industriel du marché pour le concepteur /!\
- Rénovation des BGC : 326 rames dans 11 régions *solution en cours de développement*

5 démonstrateurs pour 2023 visant les lignes : Marseille-Aix ; Bordeaux - Mont de Marsan ; Beauvais-Creil; Lyon-Bourg en Bresse ; Le Grau du Roi- Nimes

- Transformation rames XGC : 163 rames pouvant être converties avec un mode de propulsion propre (batterie ou H2) *solution à adapter*
- Retrofit des Regiolis bimode : 300 rames environ, convertibles en hybride ou H2 *solution disponible*

Développer des solutions complémentaires :

- Tram-train Dualis, possiblement convertible en bi-mode batterie-électrique : solution adaptée pour la périphérie de métropoles régionales (Ouest Lyonnais -> Tassin- Lozanne) *solution à adapter*
- I-Lint > ex : Tours-Loches ; *solution à adapter*
- Regiolis H2 *solution disponible*

© ALSTOM SA, 2019. All rights reserved. Information contained in this document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on that it is complete or correct or will apply to any particular project. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is provided without liability and is subject to change without notice. Reproduction, use or disclosure to third parties, without express written authorisation, is strictly prohibited.

• ALSTOM • 3

CAF

Besoins clarification

Besoin de clarification pour définir le besoin des petites lignes:

- Référentiel normatif,
- Type d'homologation,
- Type de traction,
- Caractéristiques générales (Capacité, masse à l'essieu, dimensions, hauteurs des quais),
- Quantité,
- Planning.

Matériels Roulants existants

- Projet : Schönbuchbahn (ZVS)
- Vitesse : 100 km/h
- Longueur : 39 m
- Nombre de places : 94 places
- Ecartement : 1435 mm
- Electrique

Annexe 3 : les propositions actuelles des constructeurs

Matériels Roulants existants

- Projet AMG800 : Provence, Corse et Tunisie
- Vitesse : 100 km/h
- Longueur : 40 m
- Nombre de places : 88 places
- Ecartement : 1000 mm
- Diesel

Matériels Roulants existants

- SFM Majorque
- Vitesse : 100 km/h
- Longueur : 33 m
- Nombre de places : 68 places
- Ecartement : 1000 mm
- Electrique

LOHR

Grandes questions LOHR

- Quel est l'état des voies LDFT ?
- coût d'entretien actuel (en €/km),
- présence d'ouvrage (état viaduc ? État tunnel ?),
- Comment estimer le marché ? Combien de véhicules nécessaires pour les 560 kms de LDFT?
- Quel est le service à rendre :
- transport de personnes et transport de fret ?
- flux (nombre de personnes par heure et par sens ? évolution à court terme)
- Une expérimentation sur une ligne pilote est-elle envisageable ? À quelle échéance ?
- Recharge électrique en station est-elle envisageable (« biberonnage ») ?

Recommandations LOHR

- Bâtir une réglementation spécifique au système « train léger » (signalisation, matériel roulant, exploitation), ce groupe de travail pourrait en définir les grands principes.
- Cette réglementation spécifique est une condition « sine qua none » au développement de train léger avec des CAPEX et OPEX plus bas.
- Réfléchir au service « passagers » et exigences requises pour aller vers l'autonomie

Solutions techniques LOHR

- LOHR ne dispose pas de matériel roulant ferroviaire pour le transport de personnes.

- LOHR a développé et commercialisé des solutions techniques de mobilité **et leur référentiel spécifique y compris réglementaire avec EPSF, STRMTG, DGEC et les instances mondiales de régulation**
- Wagon de ferroutage,
- tramway sur pneumatique,
- navette urbaine cristal et sa version autonome i-cristal

- LOHR a d'ores et déjà projeté un train léger et innovant avec un fort impact sur l'exploitation et sur la maintenance de l'infrastructure. Il a identifié des partenaires potentiels et construit un écosystème.

SIEMENS MOBILITY

Mireo Questions

SIEMENS
Ingenuity for life

Homologation nationale pour les régions versus RFF
financement experimentation
Verdissement : Nouvelles flottes régionnales

Mireo Plus – For operation on non electrified lines

SIEMENS
Ingenuity for life

Electrified lines	Connecting electrified lines	Last mile	No catenary

Mireo
For electrified lines
2, 3 , 4,... voitures

Mireo Plus
All Mireo advantages in one hybrid platform with all positive characteristics of the Mireo family: energy-saving, flexible interior, low maintenance and life cycle costs

Mireo Plus B: Battery solution for lines that are partially electrified; range: 80 – 120 km

Mireo Plus H: Hydrogen solution for long distances without catenary; range: 600 – 1,000 km

2-car unit: 47 m, max. 130 seats

3-car unit: 63 m, max. 180 seats

V_{max}: 160 km/h

Unrestricted © Siemens Mobility 2021
Page 3 January 2021

Siemens Mobility | Rolling Stock

Mireo Plus Batteries (2 ou 3 voitures)

SIEMENS
Ingenuity for life

Vmax
140 km/h

Catenary-free operation
~80 km

Level platform access
550 mm

Mireo Plus H: 2 ou 3 voitures

SIEMENS
Ingenuity for life

Vmax
160 km/h

Range
600 km

ANNEXE 4

Les projets de trains « très légers » innovants

ECOTRAIN **SOCOFER / STRATIFORME**

TAXIRAIL **Exid Concept et Développement / Geismar / Texelis**

FLEXMOVE **AKKA Technologies**

NGV RAIL

VERY LIGHT RAIL VEHICLE PROJECT **University of Warwick, UK**

ANNEXE 5

Fiches de la commission « Infrastructure »

FICHE N°1 Processus et engins de travaux

Préambule : L'objectif est d'étudier et de proposer de nouveaux processus de travaux (réhabilitation et maintenance) adaptés à l'infrastructure nécessaire et suffisante pour l'usage retenu.

Ce qui est fait aujourd'hui (présentation synthétique de l'existant)	Utilisation du parc d'engins de travaux existant à date dont l'investissement et les coûts de maintenance sont très importants. Les engins actuels sont adaptés aux contraintes d'exploitation du réseau et donc, journalièrement, le temps de maintenance de l'infrastructure est de plus en plus court, et souvent de nuit. Le temps de mise en place et le repli des engins pendant la période disponible est pris sur le temps maintenance et laisse donc très peu de disponibilité au temps de travail effectif…
Ce qui n'est pas possible de faire avec les référentiels actuels et qui pourrait être source d'économie (disponible à 5 ans / 10 ans)	D'une part, les engins sont soumis à une réglementation européenne liée principalement à la circulation sur le réseau national et dont les contraintes imposées surévaluent le coût d'acquisition et de maintenance de l'ordre de 20 à 30%. D'autre part, le coût des transferts de ce type d'engins est également très important. Les règles du gestionnaire d'infrastructure imposent très souvent des circulations sur les voies contiguës, lors de périodes de maintenance des voies… Donc, sécurité importante à mettre en place sur le chantier, engins conçus avec la même problématique et imposant plus de complexité de conception… Processus d'homologation long et couteux pour des engins de travaux unitaire ou de petite série qui impose de plus en plus de règles de circulation similaires et très orientées pour des matériels fret ou voyageurs…
Ce qu'il faudrait faire (changement référentiel, contrat…) pour le rendre possible	L'optimisation des processus de travaux de l'infrastructure des LDFT, à adapter, en fonction des usages (Trains légers, voire très légers) pourrait permettre de concevoir des engins plus légers transportables par la voie routière, pour à la fois, diminuer les coûts de transfert et simplifier les engins avec les contraintes de construction, en s'affranchissant des règles de circulation de (Équipements de sécurité, essais dynamiques et autres…).
Ce qui existe à l'étranger Avec une illustration ?	Référence au Canada qui utilise des engins type « rail-route » et/ou enrayables de conception moins sophistiquée voir simplistes, mais suffisante à la maintenance de l'infrastructure…
Ce qui est disponible "sur l'étagère"	Actuellement des engins Rail Route (Type pelle) équipés d'outillage spécifique existent sur le marché, mais sont souvent insuffisamment dimensionnés et / ou adaptés pour avoir une productivité suffisante ou la réalisation de travaux spécifiques…

FICHE N°2 Régime d'exploitation des travaux

Préambule : Les contraintes d'exploitation ferroviaire déterminent l'organisation des travaux. Les règles de déplacement dans les emprises ferroviaires, les analyses du risque ferroviaire dans l'organisation du chantier, sont des problématiques quotidiennes pour les entreprises qui peuvent prendre sous leur responsabilité l'organisation du régime d'exploitation des travaux (Règlement Temporaire d'Exploitation et de Sécurité, RTES).

NB : la signification des acronymes est reportée dans un lexique en fin de fiche

Ce qui est fait aujourd'hui (présentation synthétique de l'existant)	Aujourd'hui, il existe un régime d'exploitation pour les travaux réalisés en ligne fermée, appelé traditionnellement le S9A n°3, en référence à la Règle d'exploitation particulière de SNCF Réseau, intitulée « Travaux sur l'infrastructure d'une ligne fermée pour travaux, RFN-IG-SE 09 A-00-n°003 ». En appliquant ce document, plusieurs règles limitent la souplesse d'organisation du chantier.

Ce qui n'est pas possible de faire avec les référentiels actuels et qui pourrait être source d'économie (disponible à 5 ans / 10 ans)	Notion de GLF : le GLF est important pour garantir la sécurité, mais une meilleure coordination avec l'entreprise travaux pourrait permettre de dégager des gains de performance. Quelques idées :
	▪ Acheminement des engins rail-route enrayés dans la Zone de Travaux (ZT). Il y a de nombreux endroits où les enrayements au droit du chantier sont très problématiques et cela se traduit par des ZT d'une longueur anormalement longue. Les engins pourraient être enrayés sur une zone d'acheminement puis se déplacer jusqu'à atteindre leur ZT. Les ZT de grande longueur ne doivent pas être multipliées. En visant à réduire le nombre de RZT et les problématiques de déplacement des engins RR, elles multiplient les risques sécurité en absence de supervision visuelle du RZT et participent à la perte de rendement en péjorant la vitesse de déplacement des TTx.
	▪ COSE : La COSE est souvent produite post-attribution du marché voie, ce qui peut constituer une source de réclamations. Les documents produits trop figés et bien souvent trop restrictifs par rapport au cadre réglementaire nuisent à la performance du chantier, renchérissent le coût du dispositif de sécurité et nuisent à la mutualisation des moyens (certains imposent par exemple que les RZT soient habilités ATTx pour pouvoir manœuvrer les aiguilles)
	▪ Suppression des secteurs tampons : abandonner ces dispositifs et s'aligner sur ce qui se pratique pour du S9An°1 de longue durée. Le gain sur les opérations serait substantiel : réduction des frais d'études, de pose et de dépose notamment. Mais la logistique du chantier (acheminement des trains-travaux depuis le domaine commercial notamment) est un facteur clef de réussite. Aujourd'hui la culture sécurité des prestataires de sécurité le permet.
	▪ Améliorer la gestion des zones d'essais (y compris la gestion des montées en vitesse et de la mise en service d'une nouvelle électrification par exemple)
	▪ Produire des exigences médicales pour les missions de sécurité (RELF, RZT…) alignées avec les missions en S9An°1 (polycompétence facilitée). L'enjeu serait aussi de préparer la simplification de la réglementation en fusionnant S9AN°1 et n°3 quand les conditions culturelles et sécuritaires le permettront
	▪ Faire monter les exigences sur les ATTx et AGCEC pour les aligner sur celles des TSAE ATTx S9An°1 et AP LAM.
	▪ Pour les passages à niveau (PN) :
	  ▪ Imposer la TES F pour la gestion des PN afin de fluidifier l'acheminement des TTx
	  ▪ Laisser en fonctionnvement les annonces automatiques qui peuvent l'être (sous réserve de condition de maintenance, qui pourrait être externalisée le cas échéant) afin de permettre la mise en place de dispense de marche à vue pour les TTx

Ce qu'il faudrait faire (changement référentiel, contrat…) pour le rendre possible	Permettre aux entreprises de travailler sous leur propre régime d'exploitation de travaux sous couvert de contrôles opérationnels renforcés mandatés par la MOA
Ce qui est disponible "sur l'étagère"	Les entreprises sont GID « Gestionnaire d'infrastructure déléguées » pour certaines d'entre elles, ou GIC « Gestionnaire d'infrastructure conventionné » et agréées par l'ESPF. Elles savent en outre se faire accompagner par des entreprises de prestation de sécurité ferroviaire. Ce point permettrait de simplifier les problématiques de démontage / remontage des IS et de leur entretien pendant les opérations.

Lexique

ACGEC : Agent Chargé du Guidage des Engins de Chantiers (engins enrayés et motorisés). Équivalent en S9An°3 de l'AP-LAM

AP LAM : Agent Prestataire Lorry Auto-Moteur. Personnel sur le chantier sous S9An°1 en charge de la sécurité de l'utilisation des engins enraillés avec moteur (ex. : les pelles rail-route).

ATTx : Agent d'Accompagnement des Trains Travaux : personnel sur le chantier en charge de la sécurité de l'utilisation des trains travaux.

COSE : Consigne d'Organisation de la Sécurité et de l'Exploitation. Il s'agit du cahier des charges produit normalement par la MOA en phase d'appel d'offres et qui préside à la rédaction du RTES par le prestataire attributaire du marché de GLF

GLF : Gestionnaire de Ligne Fermée. Entité en charge de l'exploitation de la ligne fermée pour travaux. Elle est chargée notamment de rédiger le RTES et d'en superviser la mise en œuvre sur le chantier.

PN : Passage à Niveau

RELF : Responsable d'Exploitation de la Ligne Fermée (pour travaux). Personnel appartenant au GLF et chargé de superviser les processus sécurité associés à la mise en œuvre du programme journalier d'exploitation de la ligne fermée (PJEL)

RTES : Règlement Temporaire d'Exploitation et de Sécurité

RZT : Responsable de Zone Travaux

S9A3 : Règle d'exploitation particulière de SNCF Réseau, intitulée « Travaux sur l'infrastructure d'une ligne fermée pour travaux, RFN-IG-SE 09 A-00-n°003 »

TSAE : Tâche de Sécurité Autre qu'Essentiel : mission du personnel de chantier et de sécurité autre que celles définies par le règlement (TES).

ZT : Zone de Travaux : périmètre défini dans PJEL au sein de laquelle se déroulent les activités du

FICHE N°3 Platelage de passage à niveau STRAIL

Ce qui est fait aujourd'hui (présentation synthétique de l'existant)	Pose de platelages homologués principalement sur traverses « S376 » La S376 est une traverse très coûteuse
Ce qui n'est pas possible de faire avec les référentiels actuels et qui pourrait être source d'économie (disponible à 5 ans / 10 ans)	Utilisation de traverses de réemploi pour pose de platelages sur les petits Passages à Niveau (PN). Utilisation de gammes de platelages moins performantes pour les petits PN. Utilisation de traverses composites STRAILway permettant de passer commande des traverses de PN et des platelages chez le même fournisseur afin de réduire le bilan carbone et les frais logistiques.
Ce qu'il faudrait faire (changement référentiel, contrat…) pour le rendre possible	Homologuer une gamme de platelage destinée aux petits Passages à Niveau sur des traverses autres que la S376
Ce qui existe à l'étranger Avec une illustration ?	Gamme tapSTRAIL https://www.strail.de/tapstrail-installation/?lang=fr
Ce qui est disponible "sur l'étagère"	Nous avons la plupart des moules pour fabriquer le tapSTRAIL sur la plupart des armements.

FICHE N°4 Traverse / Support Composite

Ce qui est fait aujourd'hui (présentation synthétique de l'existant)	▪ Traverse bois imprégnée sur TMNB ▪ Traverse bois 2A imprégnée ou béton S376 sous PN ▪ Support bois pour les ADV
Ce qui n'est pas possible de faire avec les référentiels actuels et qui pourrait être source d'économie (disponible à 5 ans / 10 ans)	▪ Utilisation de T composite sur TMNB en zone NATURA2000 ▪ Utilisation de support composite en zone NATURA2000 ▪ Utilisation de T composite sous PN pour platelage type STRAIL
Ce qu'il faudrait faire (changement référentiel, contrat…) pour le rendre possible	Autoriser les agréments autres que SNCF, par exemple EBA/DB Netz sur les petites lignes. Homologuer la traverse composite sous PN type STRAIL
Ce qui existe à l'étranger Avec une illustration ?	▪ ADV en composite ▪ TMNB en composite ▪ PN STRAIL en composite ▪ « Voir rapport de projet »
Ce qui est disponible "sur l'étagère"	Nous disposons des moules nécessaires pour réaliser les sections de traverse utilisées aujourd'hui.

Lexique

TMNB : Tablier Métallique Non-Ballasté

2A : désignation raccourcie - modèle du support bois utilisée pour les passages à niveau suivant SNCF CT IGEV 506, désignation exacte Supports Bois type G2A section 15/26cm Longueur 2,60m

ADV : Appareil De Voie

Notes du lecteur

Fédération des Industries Ferroviaires

60 rue Anatole France
92300 LEVALLOIS PERRET
FRANCE

fif@fif.asso.fr - 01 55 63 83 60

www.fif.asso.fr