

Rapport d'études

Modernisation des infrastructures ferroviaires

Opérations de renouvellement de voies ballast, de création de voies supplémentaires et d'électrification

Sommaire

Introduction	3
Chapitre I - Renouvellement d'une voie ferroviaire	5
1 - Objectif du renouvellement d'une voie ferroviaire	6
2 - Le déroulement technique des travaux de renouvellement voie-ballast	6
3 - Coûts	12
4 - Impacts environnementaux	12
5 - Le cas du renouvellement de la voie entre Don-Sainghin et Béthune	12
Chapitre II - Création de voies nouvelles sur ligne ferroviaire existante	15
1 - Création de voies nouvelles : objectifs et consistance	16
2 - Exemple : la modernisation de la ligne Aix-Marseille	20
Chapitre III - Electrification d'une ligne ferroviaire	25
1 - Electrification d'une ligne ferroviaire : objectifs et consistance	26
2 - Exemple : électrification de la ligne Nantes – La Roche sur Yon – Les Sables d'Olonne	30
Conclusion	33
Bibliographie	34
Annexe électrification : détail des travaux par tronçons	35

Ce rapport vise à fournir un éclairage technique sur trois types d'opérations de régénération et d'amélioration des infrastructures ferroviaires sur ligne classique qui font régulièrement l'objet d'une inscription dans les Contrats de Projet État-Région (CPER), à savoir :

- le renouvellement de voies ;
- la création de voies nouvelles sur des lignes existantes (voies d'évitement ou voies principales) ;
- l'électrification de lignes existantes.

Ce document s'adresse notamment aux DREAL afin de leur permettre de mieux appréhender les contenus, les délais et les coûts de tels travaux financés dans le cadre des CPER. Ils sont décrits par des projets concrets, sans viser à fournir des cas types.

Pour chaque type d'opération, sont abordés successivement : les objectifs, les acteurs concernés, des éléments techniques sur la consistance des opérations, et, lorsque c'est possible et pertinent, des éléments d'arbitrage, paramètres dimensionnants et points de vigilance.

Page laissée blanche intentionnellement

Modernisation des infrastructures ferroviaires

Opérations de renouvellement de voies ballast, de
création de voies supplémentaires et d'électrification

Collection les rapports

Introduction

L'objectif du présent document est de fournir un éclairage technique sur trois types d'opérations de régénération et d'amélioration des performances des infrastructures ferroviaires sur ligne classique qui font régulièrement l'objet d'une inscription dans les Contrats de Projet État-Région (CPER) :

- le renouvellement de voies ;
- la création de voies nouvelles sur des lignes existantes (voies d'évitement ou voies principales, par exemple dans le cas du doublement, partiel ou intégral, d'une voie) ;
- l'électrification de lignes existantes.

Un document complémentaire, présentant des exemples de projets de franchissements ferroviaires (ouvrages d'art et saut-de-mouton), sera publié ultérieurement.

Ce document s'adresse en priorité aux financeurs publics, notamment aux services déconcentrés du MEEDDM (DREAL, DRE), afin de leur permettre de mieux appréhender les contenus, les délais et les coûts de tels travaux financés dans le cadre des CPER.

Etant donné la grande diversité des projets, de leurs contextes et de l'organisation des chantiers, il n'est pas toujours possible de donner, par type d'opérations, une décomposition standard en éléments fonctionnels. L'approche retenue a donc privilégié l'analyse d'exemples détaillés. **Le lecteur doit être mis en garde contre toute généralisation hâtive de ces exemples.**

Pour chaque type d'opérations, sont abordés successivement : les objectifs, les acteurs concernés, des éléments techniques sur la consistance des opérations, et, lorsque c'est possible et pertinent, des éléments d'arbitrage, paramètres dimensionnants et points de vigilance. Ensuite, un projet est détaillé à titre d'exemple pour chaque type d'opérations : contexte, nature des opérations, financement, déroulement des travaux, etc. sont évoqués. Les projets retenus sont :

- le chantier de régénération de la ligne Don-Sainghin – Béthune ;
- la modernisation de la ligne Aix-Marseille ;
- l'électrification de la ligne Nantes - La Roche sur Yon – Les Sables d'Olonne.

Le présent document a été établi sur la base de visites de chantiers et d'échanges avec les directions régionales de RFF (PACA ; Nord – Pas de Calais ; Pays de la Loire) et SNCF (Pays de la Loire).

Chapitre I

Renouvellement d'une voie ferroviaire

1 - Objectif du renouvellement d'une voie ferroviaire

Qu'est ce qu'un renouvellement ?

Un renouvellement, ou régénération, de voie ferrée consiste à remplacer tout ou partie des éléments constitutifs de la voie ancienne : ballast, traverses, rails, dispositifs de fixation des rails sur les traverses.

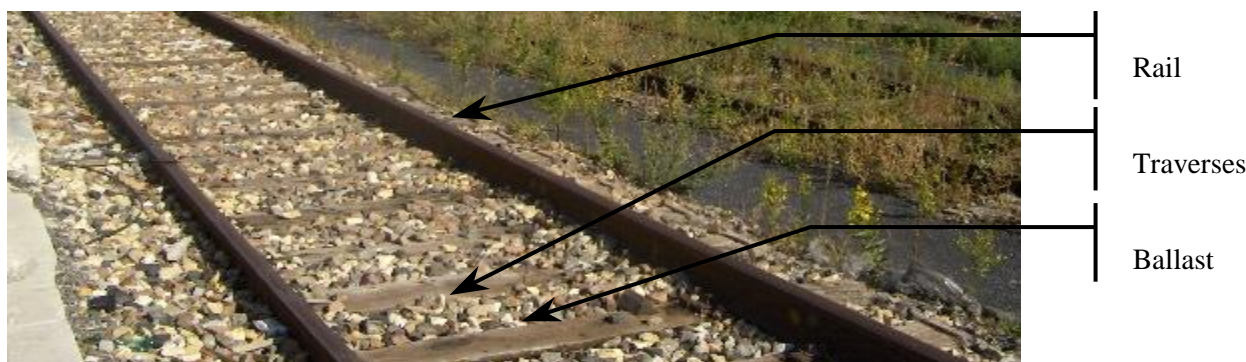
Pourquoi un renouvellement ?

La durée de vie moyenne d'une voie sur le réseau ferré français est estimée à environ 40 ans. Elle dépend du trafic de la ligne, de sa vitesse et du tonnage supporté. Le vieillissement de la voie dû à l'usure se traduit par une dégradation de la résistance de ses éléments de structure et de ses qualités géométriques, phénomènes qui ne peuvent être endigués de façon ultime que par la substitution d'éléments neufs aux composants en fin de vie.

Selon les besoins, et le degré d'usure, le renouvellement peut n'être que partiel. Par exemple, une voie fortement empruntée par des trains de fret peut nécessiter le changement des rails usés prématurément du fait des tonnages plus élevés sans qu'il ne soit nécessaire de changer les traverses ou le ballast.

2 - Le déroulement technique des travaux de renouvellement voie-ballast

Note préalable : l'opération de renouvellement voie et ballast décrite ici est l'exemple le plus complet de ce qui est réalisé lors d'une opération de régénération, hors signalisation et installations électriques. En effet, selon le niveau de d'usure de l'infrastructure et les composants concernés, un renouvellement partiel (uniquement des traverses ou des rails, un simple rechargement en ballast...) peut suffire à sécuriser l'utilisation de la voie et à établir le niveau de performance requis.



Les rails « classiques » sont plus courts que les Longs Rails Soudés (LRS) et ne sont pas soudés. Ils sont donc raccordés entre eux par des dispositifs tels qu'illustrés à gauche ci-dessous :

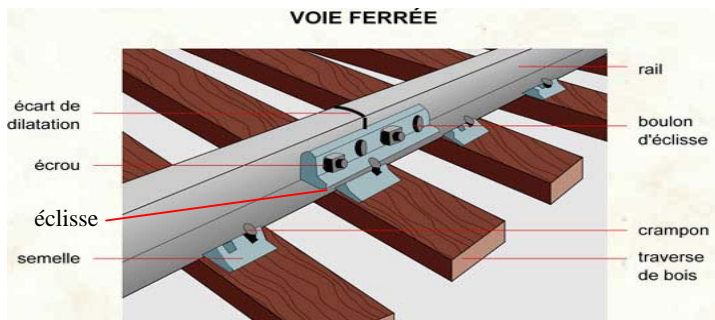


Figure 1 - Composants d'une voie ferrée en « rails classiques »
(Source : www.infovisual.info)

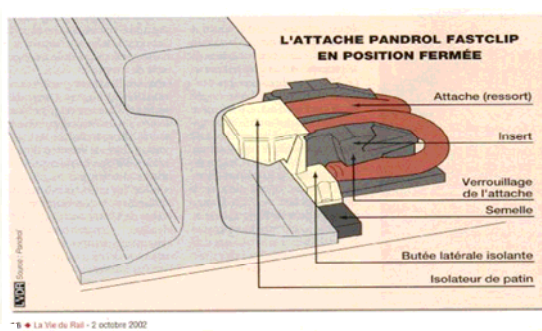


Figure 2 - Système de fixation des LRS aux traverses
(Source : la Vie du rail)

Les travaux de renouvellement des voies ferroviaires sont réalisés par une unité de production à rendement élevé dénommée « suite rapide ».

Il s'agit d'une suite de train-engins permettant de réaliser toutes les étapes du chantier de renouvellement d'une voie ferroviaire au fur et à mesure de l'avancement physique sur cette voie.

Il est à noter également l'existence de « suites semi-rapides », train-engins réduits opérant sur des chantiers pour lesquels toutes les opérations ne peuvent être « automatisées ».



Figure 3 - Opérations réalisées lors du passage de la suite rapide (Source : RFF)

Cette suite rapide, permet donc une pose entièrement automatique et en continu de la voie : à l'avant de la suite se trouve l'ancienne voie simplement déballastée, et, à l'arrière, la nouvelle voie prête au ballastage. Entre ces deux états, la suite réalise le détirefonnage¹ des anciens rails, leur écartement, l'enlèvement et l'évacuation des anciennes traverses, la pose des nouvelles traverses en béton (amenées depuis l'avant du train par un convoyeur approvisionné par un portique naviguant sur les wagons), la mise en place des longs rails soudés² (LRS) et la fixation de ceux-ci sur les nouvelles traverses par des fixations rapides (cf. illustration 2 ci dessus).

Les deux train-engins en activité en France fonctionnent toute l'année et réalisent chacun 8 ou 9 chantiers par an, soit au total 400 à 500 km de renouvellement de voie, avec un rendement moyen de 900 à 1000 mètres par jour.

¹ Désolidarisation du système rail / traverses /plate-forme

² Le recours à des éléments de rail plus longs et soudés permettent un allègement de la maintenance à réaliser, ainsi qu'une réduction du bruit de roulement par rapport à celui que l'on peut constater sur des voies « à joint de dilatation ». Les barres qui sont assemblées pour constituer la voie sont de plusieurs centaines de mètres chacune.

2.1 - Les étapes du chantier par suite rapide

2.1.1 - Les travaux préparatoires

Ces travaux préparatoires ne sont pas réalisés par la suite rapide. Ils comprennent systématiquement :

- le déchargement en attente des rails neufs en longueurs de 288 ou 400 mètres ;
- le tronçonnage des rails anciens en longueurs de 48 ou 72 mètres ;
- la dépose des piquets de référence de tracé dans les courbes ;
- l'approvisionnement : platelages de passages à niveau, joints isolants collés, etc.

et éventuellement :

- des travaux d'assainissement (reprise de la plate-forme sous voie, amélioration ou création de dispositifs d'écoulement des eaux ...) ;
- des travaux à la traversée des gares (remise à niveau des quais, aménagements qualitatifs divers ...) ;
- des travaux de remplacement ou de suppression des appareils de voie, signalisation, électrification ...



Figure 4 - Opérations préalables au passage de la suite rapide (Source : RFF)

2.1.2 - Le dégarnissage de la voie

Le dégarnissage consiste à retirer le vieux ballast de la voie, le rail se trouvant temporairement à 25 centimètres au-dessus de son ancien niveau, à le cribler, à en remettre une partie dans la voie et à évacuer le restant.

Le ballast est constitué de pierres concassées dures et anguleuses, généralement issues de roches métamorphiques. Il joue un rôle d'amortisseur entre les traverses et la plate-forme de la voie, s'oppose à la déformation des rails en bloquant les traverses, et permet, par compactage, de corriger les défauts géométriques de la voie.

Au fil du temps, il se charge en particules de terre ou de sable qui lui font perdre de son efficacité. Il doit alors être retiré de la voie et remplacé par du ballast neuf ou épuré. Cette opération est assurée par la « Dégarnisseuse » de la suite rapide.

- rendement moyen : 420m³/h, soit 800 à 1000 mètres linéaires par jour ;
- criblage : élimination des éléments <30 et >70 mm, 15% sont récupérés ;
- enregistrement de la profondeur de dégarnissage et des caractéristiques géométriques de la voie,
- le pentage du fond de dégarnissage, dans le cas d'une mise à nu de la plate forme, est réglé pour permettre l'évacuation des eaux de la voie vers les fossés latéraux ;
- chargement pour évacuation sur des wagons tombereaux par un système de bandes transporteuses ;
- calage de la voie à l'aide d'une bourreuse - dresseuse permettant de rétablir la qualité géométrique de la voie.



Figure 5 - Illustration du dégarnissage de la voie (Source : CETE Nord-Picardie)

2.1.3 - La substitution des traverses

Cette substitution consiste à remplacer les traverses usagées, traditionnellement en bois, par des traverses neuves en béton équipées de systèmes automatiques de fixation rail/traverses :

- rendement moyen : 900 à 1000 mètres linéaires par jour ;
- approvisionnement des traverses par portiques porte palettes à partir de wagons spéciaux. Ces palettes servent également à la récupération des traverses de dépose ;
- le rail déposé est positionné en banquette pour être ramassé sur des rames spécialisées ;
- mise en place et fixation automatique par machine des attaches « *fast clip* ».



Figure 6 - Illustration de la substitution des traverses et de la fixation des LRS (Source : CETE Nord-Picardie)

2.1.4 - Le déchargement du ballast neuf

Le ballast est déchargé après le remplacement des traverses :

- la quantité de ballast mise en voie doit être suffisante pour la réalisation du profil prescrit par le plan de pose ;
- elle représente quotidiennement l'approvisionnement de 2 trains chargés à 1200 tonnes.



Figure 7 - Illustration du déchargement du ballast (Source : CETE Nord-Picardie)

2.1.5 - La mise à niveau de la voie

La mise à niveau consiste à donner à la voie ses caractéristiques géométriques définitives : altitude des rails et rayons de courbure :

Ce deuxième relevage est effectué à l'aide de deux bourreuses – dresseuses de premier niveau. Cette opération consiste à mettre en place la voie neuve, à hauteur définitive (à 2 cm près) par passe de 80 mm maximum. Elle comprend la stabilisation et le régalaage.

Principe de fonctionnement des bourreuses³ :

- des pinces actionnées par des vérins hydrauliques saisissent les rails et les positionnent en fonction des paramètres de tracé préalablement rentrés dans l'ordinateur de bord ;
- des « bourroirs », sorte de pioches vibrantes, plongent dans le ballast fraîchement déchargé, et le compactent sous les traverses ;
- une fois le compactage terminé, les pinces relâchent les rails qui restent dans leur position définitive.

Trois passes de bourreuse sont nécessaires pour mettre la voie à son niveau définitif, soit environ 25 cm au-dessus du niveau qui était le sien à l'issue du remplacement des traverses.



Figure 8 - Illustration de la mise à niveau de la voie (Source : CETE Nord-Picardie)

2.1.6 - La stabilisation–régalaage de la voie

Une fois mise à niveau, la voie n'a pas acquis un degré de stabilité satisfaisant et son ancrage dans le ballast est insuffisant pour permettre la libération des contraintes dans le rail⁴.

Sa stabilisation est obtenue artificiellement grâce à un « stabilisateur » qui met la voie en vibration, simulant ainsi le passage d'une centaine de trains de 1000 tonnes.

2.1.7 - La libération des contraintes dans les LRS

La libération des contraintes dans le rail consiste à fixer les rails sur les traverses selon un mode opératoire permettant d'obtenir une contrainte mécanique nulle dans le métal à une température de référence située dans une plage moyenne (20 à 32°).

Cette plage moyenne a été déterminée pour tenir compte des températures extrêmes auxquelles le rail peut être soumis.

³ Cf. fig. 8, image de droite

⁴ Cf. III.2.g

Le soudage des rails en grande longueur a fait disparaître le martellement des joints qui rythmait les voyages en train de jadis. Ce progrès n'a été rendu possible que par une meilleure maîtrise du problème de dilatation des rails et notamment des efforts provoqués aux liaisons avec les traverses⁵.

2.1.8 - Le nivellement complémentaire

Il s'agit de la passe finale de nivellement et de dressage exécutée par bourreuse-dresseuse qui permet la circulation des trains à la vitesse autorisée sur la ligne.

2.1.9 - Les travaux de finition

- réfection éventuelles des pistes de cheminement latérales de la plate-forme ;
- ramassage des matériaux ;
- réglage des déblais ...

2.2 - La logistique d'un chantier de renouvellement de voie

Le renouvellement d'une voie ferrée génère d'importants flux de marchandises :

- approvisionnement des matériaux neufs (traverses, ballast neuf, ballast recyclé, rails ...) ;
- évacuation des déchets de chantier (ballast, traverses, rails ...) ;
- tri, traitement, évacuation en décharge des déchets.

Ce dernier point est tout particulièrement important. En effet, si une partie du ballast usagé peut être réutilisée telle quelle pour les voies ferrées (30 à 40 %), tout le reste doit être dépollué, notamment vis-à-vis des dépôts de métaux liés à l'usure des organes de roulements et de la voie, ainsi que des caténaires ou de la contamination de ce ballast par hydrocarbures.

L'ordre de grandeur des matériaux nécessaires à l'équipement d'un kilomètre de voie est le suivant :

- 120 tonnes de rails ;
- 1.666 traverses en béton (soit environ 400 tonnes) ;
- 6.700 attaches élastiques ;
- 2.500 tonnes de ballast.

Flux nécessaires au fonctionnement d'un chantier de 20 km de voie, en termes d'approvisionnement et d'évacuation de matériel de la suite rapide :

- 500 rotations de wagons dont :
 - 200 pour le ballast ;
 - 120 pour les traverses ;
 - 100 pour l'évacuation des déblais ;
 - 50 pour l'évacuation des rails ;
 - 30 pour les matériaux divers.

⁵ - La variation de température d'une barre de métal entraîne soit la variation de la longueur si elle est libre de se dilater ; soit une variation des contraintes dans le métal, si elle ne l'est pas. Les longs rails soudés (LRS) relèvent du second cas : l'ancrage des traverses dans le ballast et la fixation des rails sur les traverses s'opposent à toute dilatation et à toute contraction.

2.3 - La sécurité du chantier

Celle-ci s'entend aussi bien dans le sens « sécurité des circulations » que dans celui « sécurité du personnel de travaux ». Elle peut amener, selon les cas, à :

- une programmation des blancs travaux de nuit ;
- une programmation des blancs travaux de jour ;
- une fermeture complète de la voie (notamment en voie unique) ;
- une gestion de travaux sous circulation.

3 - Coûts

L'ordre de grandeur de coût avancé par les acteurs pour une opération de renouvellement de voie et ballast est d'environ 1M€HT par kilomètre de voie, aux conditions économiques de 2008.

4 - Impacts environnementaux

La modernisation d'une ligne ferroviaire par une opération de RVB peut avoir est porteuse d'enjeux environnementaux tels que décrits ci-dessous :

- aménagement du territoire (par la hausse des performances de la ligne) ;
- continuité du parti paysager et la valorisation des paysages traversés ;
- relations avec l'urbanisme et traitement des traverses urbaines ;
- gestion de la végétation existante ;
- gestion et valorisation du patrimoine ferroviaire ;
- rapatriement et retraitement du ballast et des traverses...

Ces différents enjeux sont détaillés dans le guide méthodologique "Paysage et Infrastructure de transport" publié par le Sétra en juin 2008.

5 - Le cas du renouvellement de la voie entre Don-Sainghin et Béthune (Nord – Pas-de-Calais)

Le chantier de renouvellement a été réalisé durant l'été 2007, en concomitance avec celui de doublement de la voie, ceci afin d'éviter de pénaliser de nouveau la circulation des trains une fois le doublement réalisé. Le service a été interrompu tout l'été 2007 de manière à permettre un travail en continu sur le chantier.

Quelques chiffres sur le chantier de renouvellement :

- 15 km de voie concernés ;
- 28.000 tonnes de ballast remplacées ;
- 22.000 traverses en béton posées ;
- 27.000 mètres de rails renouvelés ;
- coût : 0,83 M€HT /km (coût amoindri compte tenu de l'absence de travaux de nuit et de la fermeture totale de la voie aux circulations ferroviaires) ;
- durée : 4 semaines de travaux (+1 semaine de préparation pour découpage des rails de nuit, et 2 semaines de finition – libération des rails).

Au total, 150 agents SNCF auront travaillé sur ce chantier de renouvellement de la voie existante, à différents niveaux :

- **sécurité** : sécurité du personnel, accompagnement des trains travaux, procédure de sécurité caténaire, agent de passage à niveau ;
- **technique** : suivi technique, encadrement du chantier ;
- **logistique** : approvisionnement en rails, traverses et ballast et évacuation des matériaux obsolètes.

ETF met à disposition son matériel, son outillage, ses engins de traction et son personnel pour ce chantier, soit environ 350 personnes. Au total environ 500 personnes auront été impliquées dans cette opération.

Chapitre II

Création de voies nouvelles (voies d'évitement et voies principales) sur ligne ferroviaire existante

1 - Création de voies nouvelles : objectifs et consistance

La création de voies nouvelles sur des lignes existantes, qu'il s'agisse de voies d'évitement ou de voies principales venant s'ajouter en parallèle à une ou plusieurs voie(s) existante(s), a pour objectifs d'augmenter la capacité de la ligne ferroviaire et d'améliorer et fiabiliser son exploitation.

1.1 - Objectifs des projets de création de voies

1.1.1 - Création de voies d'évitement

Une voie d'évitement (ou "évitement") est une voie de longueur limitée adjacente aux voies de circulation principales, qui permet aux trains de se croiser et/ou de se doubler. Les voies d'évitement sont majoritairement présentes sur les lignes à voie unique, mais il en existe aussi sur des lignes à double voie.

La longueur de la voie d'évitement doit être suffisante pour permettre l'arrêt d'un train. La longueur des voies d'évitement existant sur une ligne détermine donc la longueur maximale des trains pouvant circuler sur la ligne qui constitue un paramètre important de rentabilité, en particulier pour les trains de marchandises. Il n'existe pas de valeur standard des longueurs des voies d'évitement. Actuellement, les évitements de plus grande longueur sur le réseau ferré national peuvent accueillir des trains de 750 m de long, longueur maximale actuelle des trains de fret sur le réseau français. Des études sont en cours pour déterminer les travaux à réaliser pour permettre la circulation de trains de marchandises de 1 000 m sur quelques lignes : cela nécessite notamment l'allongement de quelques évitements. Les situations rencontrées dans les différents pays européens sont diverses. En Italie, par exemple, la longueur maximale des évitements est de 550 m, voire moins sur certaines lignes. Ainsi, entre Vintimille et Gênes et la longueur des trains est limitée à 380 m du fait des longueurs des voies d'évitement sur la partie italienne⁶.

La création d'une ou plusieurs voie(s) d'évitement(s) permet :

- sur les lignes à voie unique, le croisement de deux trains circulant en sens opposés, et donc, une plus grande fréquence de trains dans chaque sens ;
- une meilleure cohabitation des trains lents (par ex : trains de marchandises ou trains de voyageurs omnibus) avec les trains rapides (par ex: trains de voyageurs directs ou semi-directs) ;
- la fiabilisation de l'exploitation : en situation dégradée, différentes options sont rendues possibles, ce qui permet si nécessaire de donner la priorité à certains trains.

La création d'une voie d'évitement est une opération beaucoup moins lourde que le doublement partiel d'une voie unique. Elle est généralement réalisée en gare, où les emprises nécessaires sont souvent disponibles, et où il est, le cas échéant, le plus pertinent de faire stationner les trains de voyageurs.

⁶ Ceci occasionne des coûts d'exploitation élevés et donc une faible compétitivité, par exemple pour certains types de trains entiers circulant sur cet axe.

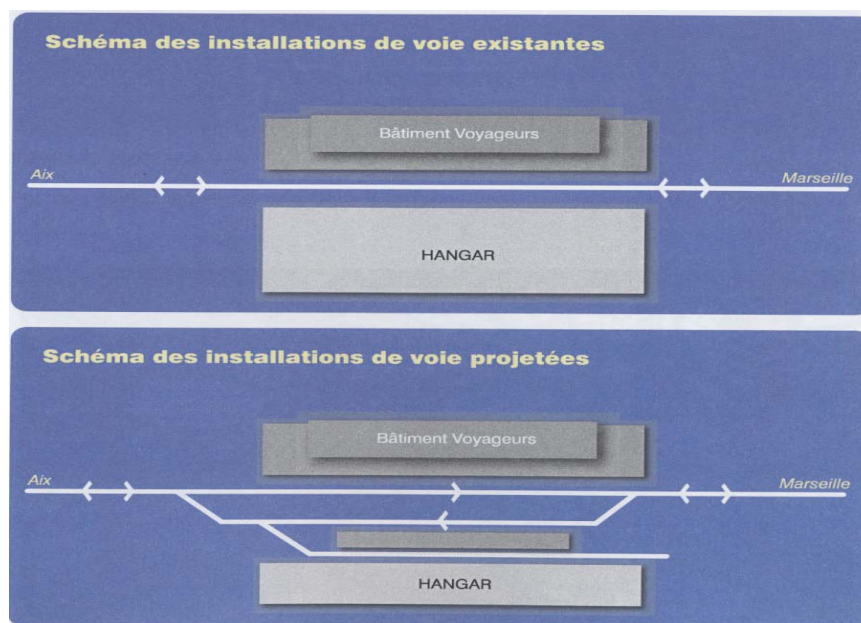


Figure 1 - Exemple de la gare de Simiane, sur l'axe Aix-Marseille : schéma des installations existantes et schéma des installations projetées avec une voie d'évitement - Source : dossier d'instruction mixte à l'échelon central (Source : RFF août 2001)

1.1.2 - Création de voies principales adjacentes à des voies existantes

Sur certaines sections du réseau ferré national, des opérations consistant à ajouter à la ou aux voie(s) existante(s) une voie supplémentaire sont programmées dans les CPER lorsque la capacité de la ligne est insuffisante pour satisfaire la demande. Elles répondent principalement à des objectifs d'augmentation de la capacité des lignes.

1.2 - Consistance des travaux

Pour la mise à double voie d'une ligne unique, **les travaux suivants sont généralement nécessaires** (dans l'ordre chronologique) :

- travaux préparatoires : installation des dispositifs de sécurité temporaires ;
- élargissement des emprises. La nouvelle voie peut être réalisée à gauche ou à droite de la voie existante, en fonction des contraintes environnementales, foncières et géométriques rencontrées⁷ ;
- rétablissement des profils en travers (plate-forme, caténaires le cas échéant, clôtures...) et création éventuelle d'ouvrages de soutènement ;
- réalisation de dispositifs d'assainissement ;
- pose de la nouvelle voie ;
- aménagement des pistes et itinéraires pour les agents d'entretien des voies ;
- modification du schéma fonctionnel de la ligne : cantonnement et itinéraires ;
- installation de nouveaux équipements et/ou modification des équipements de commande et de sécurité existants : signalisation, détection (compteurs d'essieux ou circuits de voie⁸, détecteurs de boîte chaude⁹ ...), commande (aiguillages, poste de commande).

⁷ Ceci implique un possible changement de « côté » d'implantation de la nouvelle voie, selon les configurations rencontrées, sur une même ligne, ce qui a pour conséquence de compliquer considérablement le phasage du chantier.

⁸ Ces équipements détectent la présence d'un train dans le canton ou l'itinéraire concerné. Ils sont intégrés au dispositif de commande de la ligne : l'itinéraire ne peut être ouvert à une nouvelle circulation qu'après détection que le train a quitté l'itinéraire. Les circuits de voie équipent les itinéraires les plus circulés.

⁹ L'accident d'exploitation en ferroviaire appelé « boîte chaude » consiste en l'échauffement excessif d'un essieu ou d'un bogie durant la circulation, jusqu'à plusieurs centaines de degrés, causé dans la grande majorité des cas par un frein qui ne desserre pas, moins souvent par un mauvais graissage des entrées de traction ou boîtes d'essieux. Des détecteurs sont placés le long des voies les plus fréquentées afin d'alerter le conducteur de train et de prévenir une rupture d'essieux.

Il convient, le cas échéant, dans le cadre d'un doublement de voie, de traiter chaque embranchement particulier de manière spécifique.

Les travaux de création de nouvelles voies sont souvent de grande ampleur et nécessitent une durée de travaux importante. Dans certains cas, la ligne est entièrement fermée pendant la durée des travaux, il est alors nécessaire, si la ligne est exploitée pour le transport de voyageurs, de mettre en place des solutions remplacement pour les usagers (ex : travaux de modernisation de la ligne Aix-Marseille, cf. partie 2 de ce document) ; dans d'autres cas, les travaux sont réalisés sous exploitation (ex : travaux de création d'une troisième voie entre Marseille et Aubagne), ce qui génère des contraintes fortes et des surcoûts importants, mais permet de limiter l'incidence des travaux sur les circulations existantes. L'arbitrage entre ces deux solutions est réalisé en fonction des spécificités du projet et de la ligne concernée.

Dans le cas de travaux de création de nouvelles voies ou d'évitements sur une voie double et sous exploitation, il est nécessaire de disposer d'installations de contre-sens ¹⁰, afin de permettre la circulation en sens inverse des trains sur la voie qui reste disponible lorsque des travaux (par exemple, de raccordement) sont effectués sur l'autre voie. Comparé à d'autres réseaux voisins, tels que les réseaux suisses et allemands, le réseau ferré national français est cependant moins bien équipé en Installations Permanentes de Contre Sens (IPCS), ce qui peut constituer une difficulté pour certains chantiers.

1.3 – Contraintes

Les principales contraintes à retenir afin d'évaluer les effets liés à l'insertion d'une nouvelle voie sont :

- le milieu naturel ;
- le bâti ;
- les voies de communication.

Néanmoins d'autres thèmes peuvent être abordés au cours de l'analyse tels que le milieu physique, le paysage ou le patrimoine.

Les données sont classées selon quatre niveaux de contrainte :

- faible à nulle : la création de la nouvelle voie ne modifie pas ou peu le fonctionnement actuel de l'espace considéré. Des dispositions techniques classiques pourront être mises en œuvre ;
- moyenne : l'insertion d'une troisième voie a un effet quantifiable sur l'espace environnant, mais ces répercussions peuvent être limitées et contrôlées ;
- forte : des modifications importantes sur le tissu urbain et des impacts forts sur le milieu environnant sont à prévoir ;
- extrêmement forte : les impacts liés à l'insertion d'une nouvelle voie sont susceptibles de remettre en question la faisabilité des solutions envisagées et le milieu environnant.

¹⁰ Installations permanentes de contre-sens (IPCS) ou Installations Temporaires de contre-sens (ITCS). En contre-sens, les cantons sont de longueur et de signalisation variable, mais sont généralement plus longs qu'en sens normal. La vitesse maximale autorisée sur ITCS est fréquemment plus faible qu'en sens normal.

Définition des contraintes :

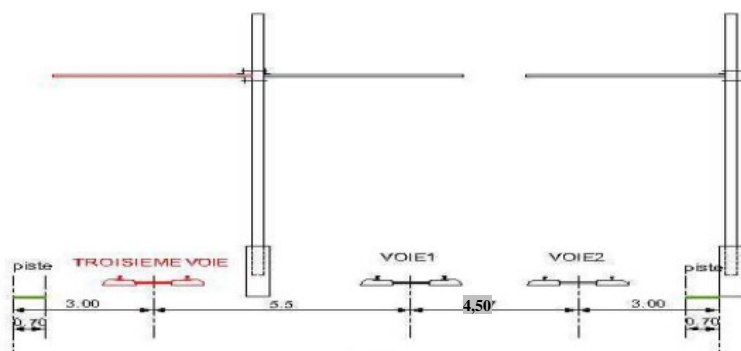
	CONTRAINTE FAIBLE OU NULLE	CONTRAINTE MOYENNE	CONTRAINTE FORTE	CONTRAINTE EXTREMEMENT FORTE
MILIEU NATUREL	Milieu d'intérêt local de grande étendue	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Larges secteurs d'homogénéité écologique et paysagère à conserver ➤ ZNIEFF de type II 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ZICO ➤ ZNIEFF de type I ➤ Parcs régionaux ou nationaux 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Réserve naturelle ➤ Arrêté de biotope ➤ ZPS, PSIC ➤ Propriétés du conservatoire du littoral
MILIEU HUMAIN				
Bâti	Pas de démolition de logements à priori	Démolition de quelques logements individuels	Démolition d'un nombre significatif de logements	Démolition d'immeubles avec un nombre important de logements
Voies de communications	Voirie touchée mais : <ul style="list-style-type: none"> - Rétablissement possible sans impact sur le bâti ou le milieu naturel - Rétablissement en place avec réduction du gabarit actuel 	Voirie touchée avec : <ul style="list-style-type: none"> - Rétablissement avec un impact moyen sur le bâti - Rétablissement avec modification de l'itinéraire 	Nécessité de rétablir la voie de communication avec un impact fort sur le bâti	Impossibilité de rétablir une voirie indispensable sans impact extrêmement fort sur le bâti

Source : RFF

L'ensemble des enjeux environnementaux, bien que partiellement repris dans les lignes « milieu naturel » et « Bâti » du tableau précédent, sont à même de nécessiter un traitement spécifique, selon les enjeux et les préconisations définies lors de l'étude d'impact (dont l'ampleur varie toutefois selon celle des travaux et l'éventualité du besoin d'extension de l'emprise ferroviaire)¹¹. Le cadre souvent contraint (tant au niveau de l'espace, par la relative exigüité de l'emprise ferroviaire, que techniquement et réglementairement) est à même de particulièrement complexifier le traitement des enjeux environnementaux sur ce type d'opération.

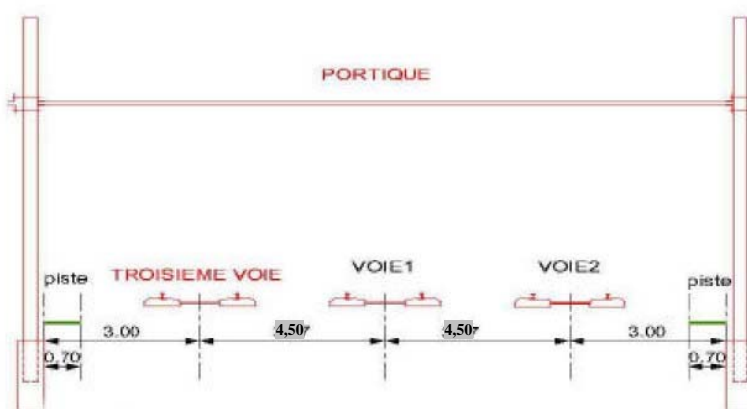
Lorsque l'espace disponible est suffisant pour l'implantation de la troisième voie une solution d'équipement ferroviaire en configuration « classique » (cf. schéma ci-contre) est préconisée : la largeur de la plate-forme est de 16 m ce qui correspond à une largeur totale d'emprise de 19 m en moyenne.

Source : RFF



Lorsque le site est très contraint pour l'implantation de la troisième voie un profil en travers réduit peut être envisagé : la largeur de plate-forme est alors de 15 m, ce qui correspond à une largeur totale d'emprise de 17 m en moyenne¹².

Source : RFF



¹¹ Le guide méthodologique « Paysage et infrastructures de transport » publié par le Sétra en juin 2008 recense les impacts et enjeux paysagers à prendre en compte lors de la modernisation des lignes ferroviaires existantes, y compris dans le cas très spécifique de la création d'une nouvelle voie (3^e voie, voie de débord ...). Cette liste d'impacts est reprise sur le tableau de la présente page.

2 - Exemple : la modernisation de la ligne Aix-Marseille

2.1 - Les performances de la liaison Aix-en-Provence – Marseille jusqu'en 2006

Jusqu'en 2006, la ligne Marseille-Aix en Provence était une ligne à voie unique. Le nombre de trains voyageurs y circulant était de 48 par jour. La fréquence maximale en heure de pointe était de deux trains par heure. La part modale du TER sur cet axe, d'environ 3% en heure de pointe, était faible. Les raisons principales en étaient la configuration de la ligne en voie unique (croisements possibles uniquement en gare), couplée à une signalisation et un système de commande de conception ancienne (en particulier, la signalisation était mécanique¹³) entraînant :

- une faible fréquence de desserte : les contraintes de capacité ne permettaient d'inscrire qu'un ou deux trains par sens en heure de pointe ;
- une difficulté à assurer régularité et fiabilité : les nombreux retards et annulations de circulation avaient des répercussions sur les horaires des trains suivants mais aussi sur les trains circulant en sens inverse. La vitesse commerciale théorique de 58 km/h¹⁴ n'était dans la pratique que rarement atteinte ;
- une faible densité des gares (distance inter-station moyenne d'environ 7 km) ;
- le manque d'intégration du TER aux autres réseaux de transports au plan physique (absence d'organisation de stations d'échanges et de lignes de rabattement) et au plan tarifaire (pas de tarification combinée avec les autres transports collectifs locaux).

2.2 - Le programme de modernisation des infrastructures

Il a donc été décidé, après de nombreuses années de réflexions, de moderniser cette ligne ancienne¹⁵. La modernisation de la ligne Aix - Marseille consiste en plusieurs opérations :

- doublement de la voie sur 12 km en trois sections (respectivement, 6 km, 4 km et 2 km) de fonctionnalités différentes : la première section permettant la mise en place d'un service cadencé en zone périurbaine, la deuxième pour une plus grande souplesse d'exploitation, la troisième pour séparer les trains de fret des trains de voyageurs et éviter ainsi le cisaillement de la voie "voyageurs" par des trains de fret¹⁶ ;
- création d'une signalisation automatique à commande centralisée sur l'ensemble de la ligne ;
- aménagement des gares, notamment à Gardanne (modification du plan de voies pour éviter les cisaillements entre les trains de fret et les TER), et Simiane (création d'une voie d'évitement) ;
- création de 3 haltes dans les quartiers nord de Marseille, dont la halte Saint-Antoine avec une voie d'évitement et une voie en tiroir ;
- aménagement de la gare Saint-Charles : 2 voies dédiées ;
- suppression de 5 passages à niveaux. Ces travaux permettent d'améliorer la fluidité de la circulation routière et la fiabilité et la sécurité du service ferroviaire.

Un traitement paysager en site urbanisé est également prévu, ainsi que des aménagements spécifiques aux abords du Pavillon du Roi René, classé monument historique.

¹² Les distances d'entraxes indiquées ici sont proches de celles autorisant la vitesse de parcours maximale. En modulant les taux de vitesses, on peut faire varier les entraxes de 3,52 à 4,5 mètres. Par ailleurs, il convient de rajouter à l'emprise ferroviaire les largeurs imputables aux fossés, talus, ouvrages de soutènement...

¹³ Panneaux de signalisation, mobiles autour d'un axe, ouverts ou fermés, accompagnés ou non de voyants lumineux et manœuvrés individuellement depuis un poste d'aiguillage en zone de gare.

¹⁴ Qui constitue en soi une vitesse relativement faible.

¹⁵ La ligne avait été ouverte en 1877.

¹⁶ Actuellement 5 trains de charbon circulent quotidiennement entre Aix en Provence et la centrale thermique de Gardanne.

La traction électrique n'est pas prévue dans cette première phase mais tous les travaux seront exécutés pour permettre une éventuelle électrification ultérieure.

Cette opération doit permettre d'augmenter l'offre ferroviaire et la qualité des services pour offrir une alternative de bon niveau à la route (fiabilité, temps de parcours, fréquence, desserte).



Figure 2 - Projet de modernisation de la ligne Aix-Marseille – Source : document de communication de RFF autour des travaux de modernisation de la ligne ferroviaire Aix-en-Provence Gardanne Marseille

Ainsi, le plan de modernisation de la ligne doit conduire à :

- doubler le nombre de trains, soit environ 96 trains par jour (48 dans chaque sens) : fréquence d'un train toutes les 15 minutes aux heures de pointe et de 30 minutes hors pointe, de 6h à minuit ;
- améliorer et fiabiliser le temps de parcours entre Aix et Marseille autour de 30 minutes en fonction des arrêts ;
- désenclaver les quartiers nord de Marseille.

L'impact attendu de ce projet est un doublement de la fréquentation. Le dossier d'évaluation socio-économique de l'avant projet (RFF, décembre 2003) prévoit une augmentation des trafics d'environ 120% entre la situation de référence (sans aménagements) et la situation de projet en 2007.

Un bilan réalisé avant les travaux (2006) donnait les chiffres suivants : le trafic sur la ligne représente un million de trajets par an, dont la majorité (60%) s'effectue uniquement sur la section Marseille-Aix (section complète ou moins), on observe une légère baisse du trafic entre 1997 et 2006. Toutefois, la mise en place de navettes

routières pendant les travaux a contribué à une augmentation des voyages sur la section Aix –Marseille avec plus de 762 000 voyages en 2008 ¹⁷.

Ce bilan avant travaux avait aussi permis de caractériser la clientèle et leurs parcours :

- plus de la moitié des usagers sont abonnés : 37 % avec un abonnement salarié et 17 % élèves ou étudiants ;
- sur la section Marseille-Aix, les trois origines/destinations reliant respectivement Aix, Gardanne et Marseille représentent environ 75% du trafic ¹⁸.

A fin mars 2009, 3 mois après la remise en service, on peut cependant estimer que la ligne est encore en « rodage » : le taux de régularité (calculé sur les trains circulant) reste inférieur à 95%, de nombreux trains ont été supprimés, pour diverses causes, tous les services annoncés ne sont pas encore en place ...

2.3 – Description technique des travaux

- 16 octobre 2006 : lancement des travaux ;
- 10 décembre 2006 : arrêt des circulations entre Marseille et Gardanne puis démontage et neutralisation de la ligne. Dépose de la voie ferrée dans certains secteurs ;
- 1^{er} janvier 2007 : lancement des travaux de génie civil (démolition de certains ouvrages, terrassement en déblais et remblais, construction d'ouvrages neufs, ponts, murs de soutènement, doublement de la voie, etc.) ;
- Mi-2007 : achèvement de la plate-forme et lancement des travaux de voie de Gardanne à Marseille-Saint-Charles ;
- 14 décembre 2008 : mise en service.

Pour exécuter ces travaux, il a été fait le choix de fermer la ligne pour 2 ans. Cette solution permet :

- d'éviter un surcoût d'environ 30 % qui découlerait d'une réalisation sur voie exploitée ;
- de réduire de 2 ans les délais de réalisation ;
- d'éviter de perturber encore davantage les conditions de circulation de cette ligne à l'exploitation fragile.

Cette solution a pu être retenue car il existe des possibilités de transport alternatives pour les voyageurs. Une offre routière de substitution, financée par la Région, est organisée par la SNCF. Pour assurer la continuité du service dans le respect des horaires et des dessertes, près d'une centaine d'autocars circulent quotidiennement sur la ligne. Les arrêts dans les gares sont conservés. Les tarifications et les titres de transport (abonnements, cartes) ne changent pas.

Il existe par ailleurs une offre routière de transport par autocar sur autoroute entre Aix et Marseille (et ne desservant que ces deux villes) organisée par le conseil général des Bouches du Rhône.

Le trafic fret a été maintenu pour Alcan et la centrale thermique de Gardanne, les trains de bauxite et de charbon venant de Fos-sur-Mer via Rognac passent par une partie de ligne qui n'a pas été doublée (entre Valabre et Aix). Entre Valabre et Gardanne, le chantier fonctionnait de 6h à 13h, le fret passant en dehors de ce créneau.

La voie supplémentaire est réalisée :

- à l'est de la voie actuelle depuis le débranchement PLM jusqu'au viaduc des Aygalades (viaduc exclu) ;
- à l'ouest de la voie existante entre Septème et Bouc Cabries ;
- à l'ouest de la voie existante, sur une longueur de 2500m entre Gardanne et Aix en Provence.

¹⁷ <http://www.ort-paca.fr/-Ferroviaire.51->

¹⁸ 162 300 voyages par an entre Gardanne et Marseille, 156 000 entre Aix et Gardanne, 122 000 entre Aix et Marseille (deux sens confondus).

Ce positionnement de la voie supplémentaire résulte de la prise en compte des contraintes et domaniales ou techniques (insertion dans l'environnement ; limitation des emprises à acquérir..) (source : dossier d'instruction mixte à l'échelon central [RFF août 2001]).

Les travaux sont de type semi-industriel ¹⁹ (plus de 120 entreprises mobilisées) : les travaux de génie civil nécessitent l'intervention de plusieurs spécialités mobilisant chacune leur matériel propre, puis un train usine (train de pose rapide de voies de TSO) intervient pour la mise en œuvre des différents constituants de la voie.



Figure 3 - Train de chantier TSO tiré par 2 locomotives
(source : FNAUT Pays des Maures²⁰)



Figure 4 - Bourreuse niveleuse
(source : FNAUT Pays des Maures)



Figure 5 - Matériel utilisé pour la reconstruction de la ligne : à gauche niveleuse, à droite train de travaux
(source : FNAUT Pays des Maures)

2.4 – Acteurs impliqués et financements du projet

Cette modernisation a été inscrite dans le Contrat de Plan État-Région PACA 2000-2006. Un partenariat entre la Région PACA, l'Etat, le département des Bouches-du-Rhône et RFF a été conclu pour le financement de modernisation de la ligne. Selon les termes de ce partenariat, le coût des travaux d'investissement (d'un montant total de 160,5 millions d'euros) a été réparti comme suit :

- État = 31,65 % ;
- Région PACA = 31,65 % ;
- Conseil Général des Bouches du Rhône = 31,65 % ;
- RFF = 5,05 %.

¹⁹ Dans le sens où cette opération est « moins mécanisable » qu'un Renouvellement Voie – Ballast, notamment vis-à-vis des reprises de la plate-forme préalable à la pose de la nouvelle voie.

²⁰ http://www.fnautpaysmaures.com/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=57&limit=1&limitstart=1

La maîtrise d'ouvrage du projet est assumée conjointement par RFF, pour les infrastructures en ligne, et la SNCF, pour les gares et certains bâtiments techniques dont elle est propriétaire. Les collectivités locales, notamment les communes possédant une gare sur la ligne, ont constitué d'autres acteurs importants du projets. 120 entreprises ont été mobilisées sur ce chantier d'une durée de 2 ans.

La répartition des coûts par poste de travaux était la suivante :

- aménagement de la gare Saint Charles : 20 millions d'€uros ;
- travaux de génie civil : 60 millions d'€uros (ouvrages d'arts, terrassements, isolation phonique ...) ;
- voie ferrée : 30 millions d'€uros ;
- signalisation : 30 millions d'€uros ;
- autres (coûts d'expropriations, études etc.): 20 millions d'€uros.

Le coût des voies d'évitement n'a pas été individualisé. A titre d'information, on notera le coût d'un autre projet de création d'une voie d'évitement en gare de Chantenay en Loire-Atlantique : 4,3 M€ aux conditions économiques de janvier 2000 ²¹.

A côté de ces coûts s'ajoutent environ 20 millions d'euros consacrés au financement des gares et des haltes par les collectivités locales (8,5 M€pour la Région et 8 M€pour les autres collectivités) et la SNCF (4,1 M€).

2.5 - Réflexions sur une deuxième phase de modernisation

Ce projet de modernisation est considéré comme une première phase dans l'amélioration de la desserte. Une deuxième phase pourrait permettre de poursuivre et d'accroître l'attractivité de la ligne initiée en première phase, par exemple en augmentant sensiblement les fréquences (10 minutes en heure de pointe) et les temps de parcours (moins de 30 minutes) mais le contenu de cette deuxième étape n'est pas encore clairement défini. Un doublement sur le reste de la ligne est également envisagé.

Le Contrat de Projets Etat-Région Provence Alpes Côte d'Azur - 2007-2013 – prévoit la réalisation d'études, pour un montant de 15 M€ afin d'atteindre des objectifs de desserte plus ambitieux. A ce jour, une étude préliminaire a été engagée par Réseau Ferré de France (RFF).

Le lancement des opérations qui en découleraient n'aurait pas lieu avant 2015 et pourrait être inscrit dans le prochain contrat de projets, pour un budget prévisionnel estimé par RFF de l'ordre de 300 - 350 M€ dans l'hypothèse d'un doublement et d'une électrification sur le reste de la ligne Aix-Marseille.

A titre d'indication, une évaluation socio-économique du doublement complet de la ligne Aix-Marseille réalisée par la SNCF en 1998 avait avancé une estimation du coût de doublement de la section Aix-Gardanne (comprenant le viaduc de l'Arc) à 510 MF, soit une centaine de millions d'euros aux conditions économiques actuelles, l'électrification ne faisant pas partie du projet de l'époque.

²¹ Source : http://www.rff.fr/pages/projets/fiche_projet.asp?lg=fr&code=113&codeRegion=17

Chapitre III

Électrification d'une ligne ferroviaire

1- Électrification d'une ligne ferroviaire : objectifs et consistance

1.1 - Objectifs d'un projet d'électrification de ligne ferroviaire

Une électrification a pour objectifs principaux :

- d'améliorer l'exploitation d'une ligne. En particulier, grâce aux performances des matériels de traction électrique et au renouvellement des parcs réalisés à l'occasion d'une électrification (pool local de motrices en plus grand nombre, en meilleur état...), une augmentation sensible du taux de service après électrification peut être constatée. Les performances d'accélération et de freinage des motrices électriques peuvent aussi permettre d'augmenter les capacités de la ligne par la réduction des durées nécessaires pour les arrêts intermédiaires. Une part importante des avantages et contraintes de l'exploitation concerne les transporteurs ferroviaires. Ainsi, la traction électrique nécessite des engins plus coûteux à l'achat que les motrices thermiques mais présentant à l'inverse d'autres avantages : puissance supérieure à masse identique, entretien moins coûteux, peu de variabilité des coûts d'achat de l'énergie ;
- d'améliorer le bilan environnemental. D'après les données de l'ADEME ²², en exploitation, à masse égale, un train électrique émet environ 20 à 30 fois moins de gaz à effet de serre qu'un train diesel ;
- de permettre la circulation de bout en bout de certains trains sur certaines lignes (ex : rames TGV sur les prolongements en ligne classique).

1.2 - Consistance des travaux d'électrification d'une ligne ferroviaire

De façon générale, les principaux chantiers sont :

1.2.1 - Dégagement du gabarit d'électrification

La mise en place du système d'alimentation électrique est consommateur d'espace et nécessite à ce titre quelques aménagements. Ainsi, dans le cas favorable dans lequel les implantations de poteaux supports des caténaires sont réalisables sur l'emprise ferroviaire existante, il peut être malgré tout nécessaire de dégager le gabarit requis, aussi bien latéralement (talus, passage à niveau, rétablissement des réseaux d'assainissement...) qu'en hauteur (tunnels et ouvrages d'art ...). Dans la majorité des cas, la taille de la végétation est par ailleurs nécessaire pour dégager le gabarit. Dans le cas où il est nécessaire de reprendre certains ouvrages d'art pour dégager le gabarit, les travaux correspondants peuvent être importants, pouvant aller jusqu'à la démolition puis la reconstruction de certains ouvrages.

En effet, la configuration et l'implantation des pantographes ²³ sur les motrices nécessitent que le fil de contact se situe à une hauteur minimale de 4,7 m par rapport au plan de roulement, hauteur classiquement supérieure à 5,5 mètres sur lignes classiques, pour être portée à 6 mètres aux passages à niveaux, afin de dégager le gabarit routier. Des abaissements ponctuels peuvent être réalisés pour les passages sous ouvrage d'art. Ceci présente cependant des difficultés pour les ouvrages d'une longueur supérieure à 25 mètres, pour des raisons de portée entre deux poteaux supports de caténaires.

On notera enfin que la hauteur de la caténaire impacte la vitesse à laquelle peut circuler le train.

²² Source : bilan Carbone, version 4

²³ Support de l'archet de contact permettant le captage du courant de traction.

1.2.2 - Construction des sous-stations (ou postes électriques)

Afin d'alimenter la caténaire, des sous-stations (ou postes électriques) sont construits à intervalles réguliers le long de la ligne. Ces sous-stations cumulent les rôles de transformateurs (interface entre les réseaux de transport d'électricité à haute tension et la caténaire), de disjoncteur et d'alimentation autonome de secours en cas de rupture de l'alimentation du réseau électrique.

Elles sont implantées le long de la ligne, selon un pas kilométrique dépendant du mode d'électrification : la déperdition d'énergie est supérieure en alimentation continue par rapport à l'alternatif, ce qui impose une implantation plus resserrée de sous stations (une station tous les 10 km en moyenne pour du 1,5 kV continu contre tous les 75 km pour du 25 kV alternatif, voire avec un pas un peu moindre en cas de circulations soutenues).

Il est possible de mutualiser certaines de ces installations pour plusieurs lignes, et de réduire ainsi ce coût fixe non négligeable.

1.2.3 - Implantation des caténaires et séquences de travaux

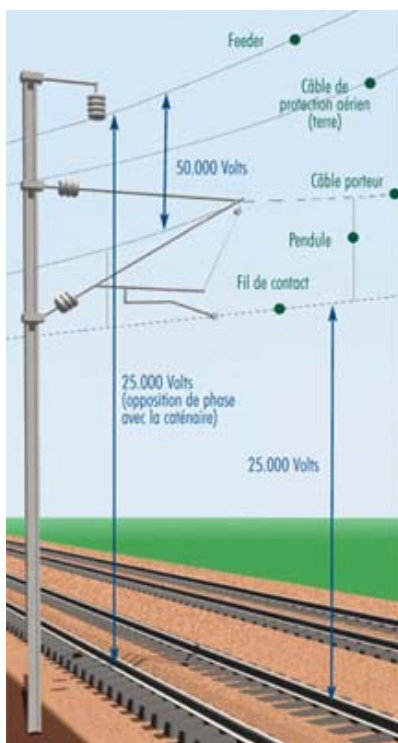


Figure 1 - Schéma général d'une implantation de caténaire en pleine voie
(Source : INEXIA –SIG Infographie)
<http://groupesig.sncf.com/vierzon/C4.html>

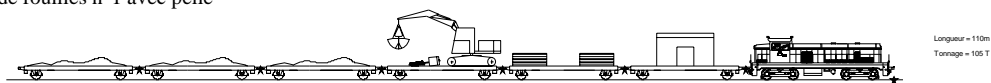
Le type de supports de caténaires (poteaux, portiques...) et leur densité d'implantation (un support tous les 30 à 60 m en moyenne) dépendent des caractéristiques géométriques de la ligne (nombre de voies, rayons de courbure...) et de la nature des sols. Les dimensions des supports de caténaires dépendent aussi du type d'alimentation électrique retenu (1,5 kV continu ou 25 kV alternatif), l'alimentation en courant continu nécessitant des câbles de section plus importante, donc plus lourds, et donc des poteaux de section plus importante aussi.

L'électrification d'une ligne ferroviaire est un processus semi-industrialisé. Les différentes séquences de travaux sont réalisées à l'aide d'une succession d'une dizaine de trains de travaux spécialisés. De nombreuses interventions manuelles sont cependant nécessaires. Les principales étapes des chantiers de pose des caténaires sont les suivantes :

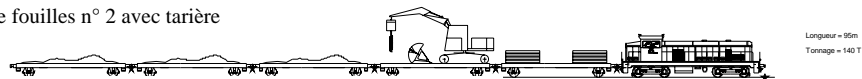
- assemblage de différents constituants et préparation des trains de travaux sur la (les) base(s) travaux ;
- creusement des trous destinés à recevoir les poteaux supports de caténaires ;
- pose des poteaux supports de caténaires ;
- équipements des caténaires et déroulage des différents câbles ²⁴ (en plusieurs étapes) ;
- réglages, mise sous tension et essais.

²⁴ Les différents câbles sont généralement constitués de tronçons indépendants d'une longueur de 1 500 m environ.

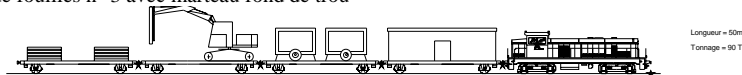
1. Train de fouilles n°1 avec pelle



2. Train de fouilles n° 2 avec tarière



3. Train de fouilles n° 3 avec marteau fond de trou



4. Train de matage avec grue automotrice



5. Train Béton



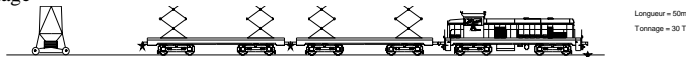
6. Train de déroulage Feeder et CdPA ou train d'armement



7. Train de déroulage



8. Pendulage



9. Réglage



Figure 2 - Déroulé des travaux sur le chantier Nantes-La Roche sur Yon – les Sables d'Olonne (Source : SNCF)

- **Adaptation de la signalisation et des installations de commande**

Outre d'éventuelles reprises à effectuer en cas de conflit entre implantation actuelle de la signalisation et implantations futures des poteaux caténaires, l'électrification d'une section donnée de ligne ne justifie pas en soi la reprise du système de signalisation ²⁵.

De plus, les alimentations des installations de signalisation et celles dites « de puissance » sont nécessairement indépendantes : une électrification de ligne n'amène donc pas à reprendre les circuits de signalisation préexistants.

Ainsi, il faut voir dans les interventions sur la signalisation couplées à une électrification davantage un effet d'aubaine dans la massification des travaux qu'une nécessité technique, à moins que soit prévue une

²⁵ hormis le cas très particulier de boîtiers ou de lignes de transmissions (nappes aériennes) au blindage insuffisant pour fonctionner sans ressentir de perturbations occasionnées par le champ électromagnétique de la caténaire

augmentation conséquente du trafic sur la ligne (ce qui est assez fréquemment le déclencheur de l'électrification d'une ligne) nécessitant un nouveau dispositif de cantonnement.

- **Reprise des autres réseaux**

Il s'agit ici de mettre en conformité les autres réseaux (de transport d'électricité, de télécommunication, ...) avec la configuration de l'électrification future, afin d'éviter notamment les perturbations électromagnétiques générées par l'alimentation électrique de la ligne ferroviaire. Cela peut se traduire, par exemple, par l'encâblement (mise en caniveaux) d'une nappe aérienne de réseau de télécommunication.

Exemple : électrification de la ligne Tours-Vierzon

Le site Internet du projet d'électrification de la ligne Tours-Vierzon réalisé entre 2005 et 2008 donne de nombreuses explications techniques sur l'alimentation électrique d'une ligne ferroviaire et la consistance des travaux d'électrification : <http://groupesig.sncf.com/vierzon/index.html>

On y trouve notamment des schémas représentant les caténaires (supports et câbles) et les postes et sous-stations d'alimentation électrique.

D'autres interventions sont nécessaires au déroulement du chantier d'électrification :

- **Mise en place des installations temporaires de contre sens (ITCS)**

Dans le cas d'une exploitation sous chantier sur ligne à double voie, il est possible d'implanter des installations temporaires de contre sens (ITCS) sur différents tronçons de la ligne, afin de permettre la circulation en sens inverse des trains sur la voie qui reste disponible lorsque des travaux, selon le phasage du chantier global et les trafics. Ceci nécessite la création de deux appareils de voie aux extrémités de la zone de travaux et la mise en place d'une signalisation adaptée à la circulation en contre sens de la voie maintenue en exploitation.

- **Sécurité des travaux**

Une structure SNCF d'encadrement, de surveillance des chantiers et de mise en œuvre des mesures liées à la sécurité des circulations ferroviaires et des chantiers est spécialement mise en place, selon les principes prévus à l'article 6 du décret n°97-444 du 5 mai 1997²⁶ relatif aux missions et aux statuts de Réseau ferré de France.

²⁶ « RFF confiée à la SNCF, pour les opérations d'investissement réalisées sur le réseau en exploitation :

- une mission de maîtrise d'œuvre en vue d'assurer la prise en compte des objectifs de sécurité des circulations et des personnes sur le réseau ferré national lors de la conception et de la réalisation des travaux sur le réseau en exploitation ;

- la définition et la mise en œuvre des mesures spécifiques de gestion opérationnelle des circulations et de gestion des installations de sécurité nécessaires à la réalisation des travaux sur le réseau en exploitation ».

2 - Exemple : électrification de la ligne Nantes – La Roche sur Yon – Les Sables d'Olonne

Les travaux d'électrification de la ligne Nantes - La Roche sur Yon - Les Sables d'Olonne, inscrits dans le contrat de plan Etat-Région des Pays de Loire 2000-2006, et approuvés par décision ministérielle du 3 novembre 2005, ont commencé en janvier 2006 et se sont achevés en octobre 2008.

Ce projet, financé par les collectivités territoriales, l'Etat et RFF, a été réalisé sous maîtrise d'ouvrage RFF, maîtrise d'ouvrage déléguée SNCF et maîtrise d'œuvre études et travaux SNCF, les travaux ayant impliqué une dizaine d'entreprises²⁷.

La réalisation de ce chantier d'une durée de trois ans et d'un coût de 105 M€ financés par la Région, les Départements de Loire Atlantique et de Vendée, les Communautés de communes des Sables d'Olonne et du Pays Yonnais, et par RFF, permet désormais aux TGV et aux TER d'utiliser cette ligne en traction électrique jusqu'aux Sables d'Olonne, en supprimant la rupture de charge à Nantes, tout en offrant un mode de transport plus respectueux de l'environnement.

2.1 - Contexte et objectifs

La liaison Nantes – Les Sables avait fait l'objet d'une opération « TGV tracté » sur une durée de 3 ans, opération abandonnée depuis 2005. L'électrification se place aussi à l'origine dans la perspective de la modernisation de la ligne Nantes Bordeaux. L'électrification constitue aussi un effet d'aubaine permettant l'optimisation de la gestion du système ferroviaire régional (puisque c'est ainsi une grande partie de l'étoile ferroviaire nantaise qui est électrifiée permettant plus de souplesse dans la composition des lignes et des trains).

Pour la conduite de ce projet, l'électrification de Rennes Saint-Malo a constitué une référence utile, par rapport aux délais, aux rendements et aux prix.

198 km de voies électrifiées
plus de 4000 poteaux pour suspendre la caténaire
820 km de câbles de traction électrique
150 km de câbles de signalisation
3 ans de travaux
105 M€ de travaux
plus de 20 entreprises nationales et régionales
plus de 200 personnes mobilisés pendant les travaux
près de 100 agents SNCF pendant 3 ans

Figure 3 - Les chiffres-clés du projet Nantes – La Roche sur Yon – Les Sables d'Olonne

2.2 - Consistance des opérations et travaux

Entamées en 2000, les études de faisabilité et techniques se sont achevées fin 2005.

Sur l'ensemble du linéaire, l'opération a nécessité la réalisation ou la reprise de 6 ouvrages. Sur les 60 passages à niveau de la ligne, 5 ont nécessité un traitement spécifique (suppression ou transformation).

La signalisation ferroviaire a été rénovée sur une partie de la ligne à l'occasion des travaux d'électrification.

Les travaux se sont déroulés comme indiqué dans la première partie. Les photos suivantes, prises lors de la visite du chantier au printemps 2008, illustrent l'étape de pose des poteaux caténaires et de la caténaire.

²⁷ Voir la plaquette de présentation : http://www.vendee.pref.gouv.fr/sections/thematiques/amenagement_du_terri/reseau_ferroviaire/electrification_de_l/plaquette_de_present/downloadFile/file/5689.pdf?nocache=1200482047.59



Train de matage



Train de fouille, train de matage et avant du train de béton



Pose d'un poteau caténaire



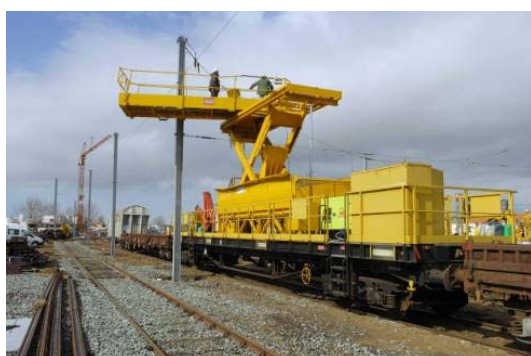
Train de béton



Etais supportant un poteau caténaire



Pose de poteaux caténaires successifs



Accrochage des câbles électriques

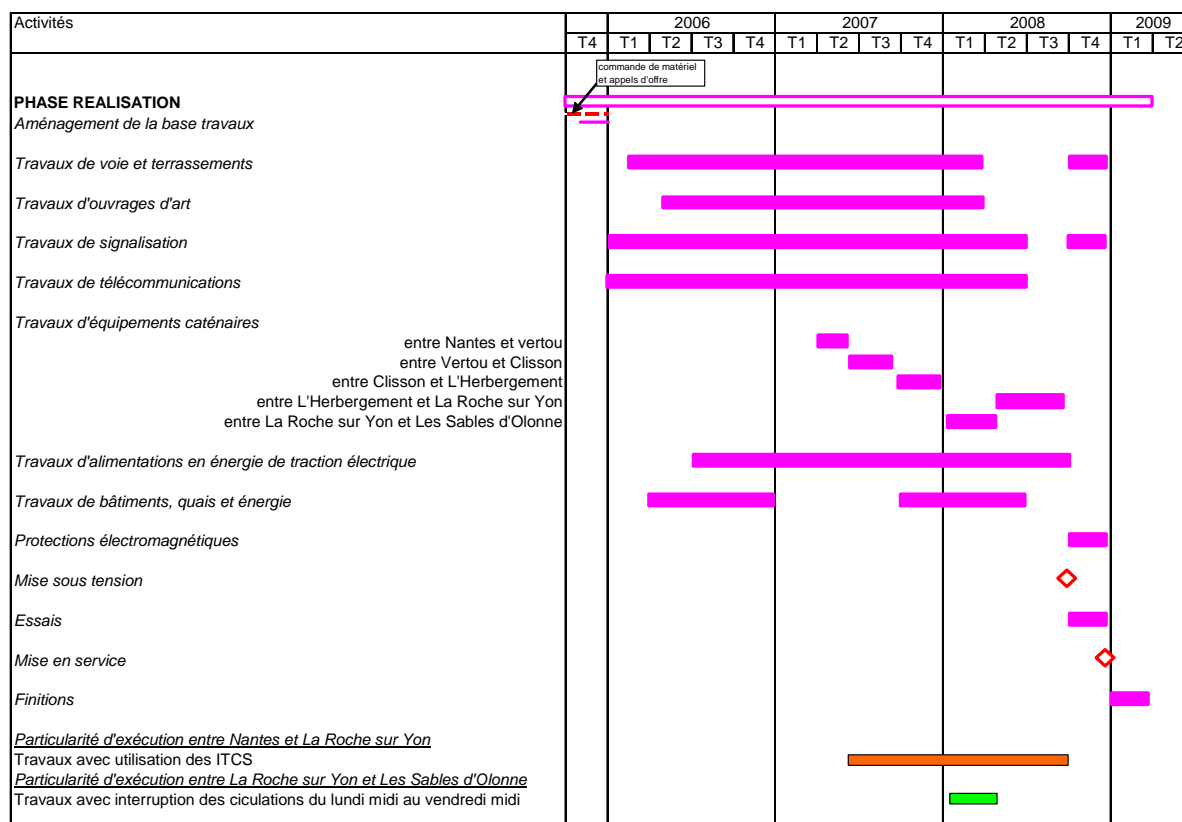


Mise au gabarit d'un ouvrage d'art

*Figure 4 - Chantier de l'électrification de la ligne Nantes – La Roche s/Yon – Les Sables d'Olonne ; printemps 2008
(Sources : DRE Pays de la Loire et Sétra)*

2.3 – Calendrier technique des travaux

Calendrier des travaux



Document SNCF

2.4 - Les coûts et les financements

Le coût total du projet est de 105 M€HT aux conditions de réalisation 2007, soit un coût unitaire d'environ 0,530M€HT par km de voie électrifiée.

On peut estimer que les travaux préparatoires ou connexes (installations de sécurité, déplacement des réseaux, reprise des ouvrages d'art) pour mettre en place la caténaire pèsent plus du tiers du coût de revient de 0.530 M€/km.

Le financement a été assuré aux 2/3 par les collectivités territoriales.

	en M €H.T 2007		En % du total	
Etat et Et. Public d'Etat (RFF)	35		33%	
L'Etat		27,8		26%
RFF		7,2		7%
Collectivités locales	70		67%	
Région Pays de la Loire		35		33%
Conseil Général de Loire Atlantique		8,8		8%
Conseil Général de Vendée		20,4		19%
Communauté de Communes des Olonne		2,9		3%
Communauté de Communes du Pays Yonnais		2,9		3%
TOTAL	105			

Figure 5 - Répartition des financements entre les différents financeurs

Des compléments d'information sont disponibles, tronçons par tronçons, en annexe à ce rapport.

Conclusion

Le présent document vise en premier lieu à illustrer le contenu de certaines opérations de modernisation du réseau ferroviaire et à rappeler les enjeux environnementaux à prendre en compte lors de ces opérations. Il permet aussi d'attirer l'attention des financeurs sur certains points susceptibles d'avoir des impacts en termes de coût et faisabilité des projets.

En effet, si les arbitrages techniques propres à chaque type d'opération sont relativement limités car prescrits par les référentiels de conception et de modernisation d'infrastructure de RFF, ceux relatifs au phasage des travaux et à la programmation des différents chantiers peuvent faire l'objet d'échanges avec le gestionnaire d'infrastructure. Ainsi, des questions telles que « travaux sous exploitation vs travaux avec suspension des services », « couplage de plusieurs opérations sur une même ligne vs étalement temporel de sa modernisation », etc. sont importantes à débattre, notamment par l'impact qu'elles ont sur le coût du projet et donc sur le montant et les modalités du financement, la qualité de service pendant les travaux, etc. Par exemple, l'opération de renouvellement de voie et ballast entre Béthune et Don-Sainghin présentée dans le premier chapitre de ce rapport d'études était couplée avec un doublement de voie.

S'il est difficile de théoriser sur le cas général à ce sujet – et a fortiori sur celui des coûts en résultant – il est toutefois important de garder à l'esprit que toute intervention relativement lourde du type de celles décrites ici est à même de perturber le service à l'usager et que des mesures d'accompagnement telles que des dessertes de substitution sont le plus souvent à considérer.

Bibliographie

Sources d'information utilisées pour la rédaction de cette étude

- Août 2007, RFF, dossier de presse du chantier de renouvellement de la voie et doublement de la voie entre Don-Sainghin et Béthune , visite de chantier
- 22 mai 2006, RFF, dossier de presse le renouvellement de la ligne Les Aubrais – Vierzon : le plus grand chantier de régénération jamais entrepris en France
- Novembre 2002, support de cours, renouvellement mécanisé de voie ferrée , SNCF

Sites internet

- www.infovisual.info
- SNCF, Fréquentation de la ligne Aix – Marseille : Bilan fin février 2009
<http://www.maligne-ter.com/aix-marseille/index.php?post/2009/03/23/Frequentation-de-la-ligne-%3A-Premier-bilan-a-fin-fevrier>
- Amélioration de la capacité d'accès et d'accueil à quai de la gare de Nantes (CPER)
http://www.rff.fr/pages/projets/fiche_projet.asp?lg=fr&code=113&codeRegion=17
- Fédération Nationale des Associations d'Usagers des Transports (FNAUT), Travaux de modernisation sur la ligne Aix – Marseille
http://www.fnautpaysmaures.com/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=57&limit=1&limitstart=1
- Nombres de trajets par ligne express régionale (LER) en PACA (2004 – 2007) <http://www.ort-paca.fr/-Ferroviaire,51->
- SNCF, site projet de l'électrification Tours-Vierzon <http://groupesig.sncf.com/vierzon/index.html>
- Préfecture de Vendée, Electrification de la liaison ferroviaire Nantes – La Roche sur Yon - Les Sables d'Olonne
http://www.vendee.pref.gouv.fr/sections/thematiques/amenagement_du_terri/reseau_ferroviaire/electrification_de_l/plaquette_de_present/downloadFile/file/5689.pdf?nocache=1200482047.59

Annexe électrification : détail des travaux par tronçons

NANTES - VERTOU

Alimentation en énergie de traction électrique :

- adjonction d'un groupe de traction et modification des deux groupes existants de la sous-station de Nantes Blottereau ;
- création d'un sectionnement sur la ligne Nantes-Paris au km 425,000 ;
- modification du poste de Bellier et création d'un sectionnement au Km 1,150 ;
- création d'un poste de mise en parallèle à Vertou.

Caténaires :

- équipement des voies principales en caténaire type 85 ;
- électrification de la voie 4 à Vertou.



Signalisation

- équipement de contrôle d'itinéraire sur les voies 6 et 7 en gare de Nantes ;
- adaptation des circuits de voie à l'électrification ;
- création du contrôle de vitesse par balises.

Télécommunications

- encâblement de l'artère aérienne ;
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux ;
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- création des circuits de télécommande et de télécontrôle des installations d'alimentation en énergie de traction.

Ouvrages d'art

Mise au gabarit électrification des ponts de la rue Maurice Daniel et de la rue du Douet, commune de Saint Sébastien.

VERTOU - LE PALLET

Alimentation en énergie de traction électrique

- création d'un poste en ligne au Pallet ;
- caténaires ;
- équipement des voies principales en caténaire type 85.

Signalisation

- modification des annonces de contre-sens des passages à niveau ;
- adaptation des circuits de voie à l'électrification ;
- création du contrôle de vitesse par balises ;
- mise en place d'ITCS entre Vertou et Clisson.



Télécommunications

- encâblage de l'artère aérienne ;
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux ;
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- création des circuits de télécommande et de télé-contrôle des installations d'alimentation en énergie de traction.

LE PALLET – CLISSON

Alimentation en énergie de traction électrique

- création d'un poste de mise en parallèle à Gorges.

Caténaires

- équipement des voies principales en caténaire type 85 ;
- équipement d'une caténaire de guidage sur la ligne de Cholet ;
- équipement des voies de service 4 et 6 en gare de Clisson.



Signalisation

- modification des annonces de contre-sens des passages à niveau ;
- adaptation des circuits de voie à l'électrification ;
- Création du contrôle de vitesse par balises ;
- encâblage de l'artère aérienne ;
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux ;
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- création des circuits de télécommande et de télécontrôle des installations d'alimentation en énergie de traction.

Voies

- pose de deux groupes de liaisons d'ITCS de part et d'autre de la gare de Clisson.

Ouvrages d'art

- mise au gabarit électrification des ponts-routes de Monnières et de Gorges.

CLISSON – MONTAIGU

Alimentation en énergie de traction électrique

- création d'un poste de sectionnement et de mise en parallèle à Montaigu.

Caténaires

- équipement des voies principales en caténaire type 85 ;
- création temporaire du centre de groupement caténaire à Montaigu (base travaux).

Signalisation et voie

- création des annonces de contre-sens aux passages à niveau ;
- création du block automatique à permissivité restreinte ;
- création du contrôle de vitesse par balises ;
- modification de la gare de Montaigu ;
- mise en place d'ITCS entre Clisson et L'Herbergement.



Télécommunications

- encâblage de l'artère aérienne ;
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux ;
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- création des circuits de télécommande et de télécontrôle des installations d'alimentation en énergie de traction.

Voie

- modification de la gare de Montaigu pour création de la base travaux.

Ouvrages d'art

- rehaussement de la passerelle de la gare de Clisson

MONTAIGU – BELLEVILLE-VENDÉE

Alimentation en énergie de traction électrique

- création de postes de mise en parallèle à St Sulpice le Verdon (PN 41) et Belleville sur Vie.

Caténaires

- équipement des voies principales en caténaire type 85 ;
- équipement de la voie de service 3 à L'Herbergement.

Signalisation

- création des annonces de contre-sens aux passages à niveau ;
- création du block automatique à permissivité restreinte ;
- création du contrôle de vitesse par balises ;
- création d'un poste PML à L'Herbergement.

Télécommunications

- encâblage de l'artère aérienne ;
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux ;
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- création des circuits de télécommande et de télécontrôle des installations d'alimentation en énergie de traction.

Voie

- modification des gares de L'Herbergement et de Belleville-Vendée.

Ouvrages d'art

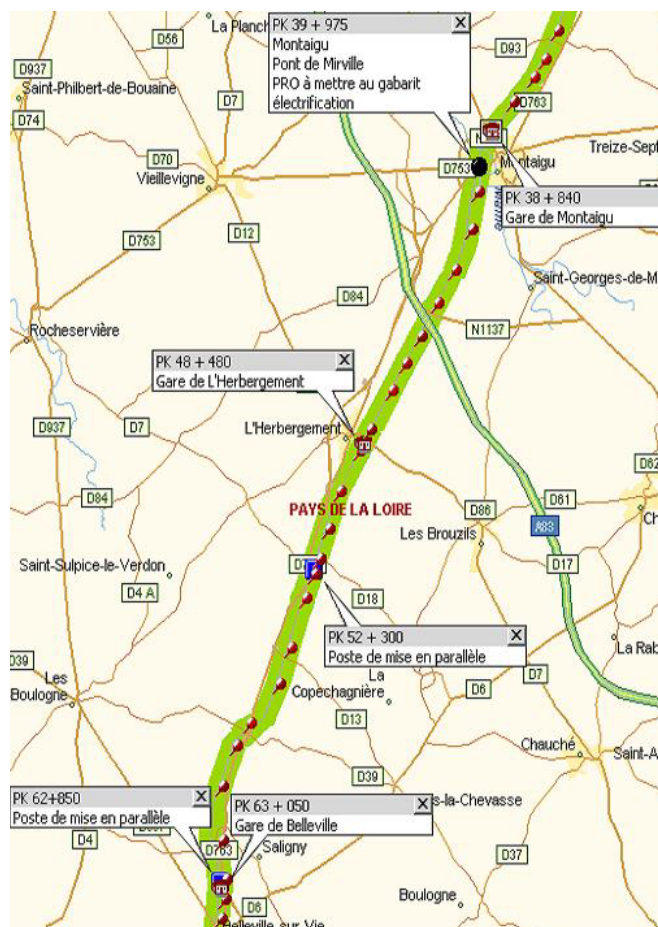
- mise au gabarit électrification du pont-route de Mirville.

Quai

- allongement du quai de la voie 2 en gare de L'Herbergement.

Bâtiment

- construction d'un bâtiment pour le PML en gare de L'Herbergement.



BELLEVILLE-VENDÉE - LA ROCHE SUR YON

Alimentation en énergie de traction électrique

- création d'un poste de mise en parallèle à Belleville sur Vie ;
- création d'une sous-station à La Roche sur Yon.

Caténaires

- équipement des voies principales en caténaire type 85 ;
- équipement des voies principales 4N, 4S, 6 et 8 et des voies de service 3, 20, 22 et 24 et de la voie du sas de manœuvres en gare de La Roche sur Yon.

Signalisation

- création des annonces de contre-sens des passages à niveau ;
- création du block automatique à permissivité restreinte ;
- création du contrôle de vitesse par balise ;
- modification de la gare de Belleville-Vendée ;
- création d'un PIPC en gare de La Roche sur Yon (voir autre projet) ;
- mise en place d'ITCS entre L'Herbergement et La Roche sur Yon.

Télécommunications

- encâblement de l'artère aérienne ;
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux ;
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- création des circuits de télécommande et de télécontrôle des installations d'alimentation en énergie de traction ;
- modification du centre télécommunications en gare de La Roche sur Yon ;
- protection vis-à-vis des perturbations électromagnétiques.

Batiment

- aménagements de locaux en gare de La Roche sur Yon.

Voie

- modification du plan de voie côté Nord (voir autre projet).



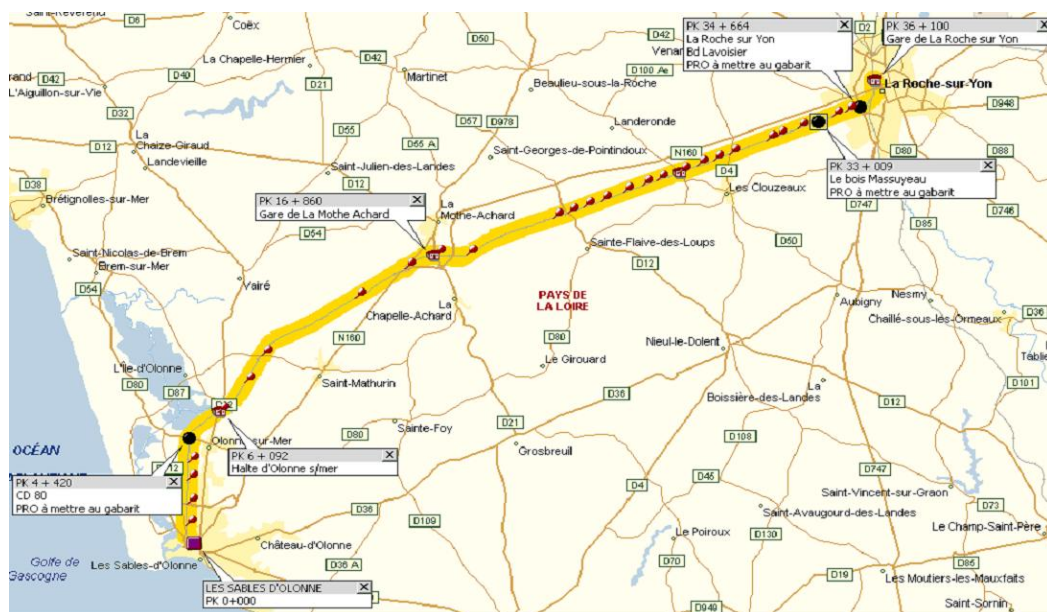
LA ROCHE SUR YON – LES SABLES D'OLONNE

Voies

- modification de la gare des Sables d'Olonne.

Ouvrages d'art

- mise au gabarit électrification des ponts-routes :
 - du boulevard Lavoisier à La Roche sur Yon,
 - du Bois Massuyeau à La Roche sur Yon,
 - de la RD 80 à Olonne sur mer.



Quais

- allongement du quai de la voie B aux Sables d'Olonne.

Bâtiments

- construction d'un bâtiment en gare des Sables d'Olonne.

Alimentation en énergie de traction électrique

- création d'un poste alimentation en gare des Sables d'Olonne.

Caténaires

- équipement des voies principales en caténaire type 98,
- équipement de la voie d'évitement de La Mothe Achard, des voies principales 1, B et 2 et des voies de service 4, 6, 8 et 10 aux Sables d'Olonne.

Signalisation

- adaptation du block manuel unifié à l'électrification,
- création du contrôle de vitesse par balises,
- modification des installations aux Sables d'Olonne et à La Mothe-Achard.

Télécommunications

- encâblement de l'artère aérienne,
- modification de la téléphonie des gares, des PN et des signaux,
- création de la téléphonie d'alarme et de régulation des installations d'alimentation en énergie de traction,
- création des circuits de télécommande et de télécontrôle des installations d'alimentation en énergie de traction,
- protections vis-à-vis des perturbations électromagnétiques.

Rédacteurs

Pierre BILLET-LEGROS – Sétra

téléphone : 33 (0)1 46 11 36 58 – télécopie : 33 (0)1 45 36 87 58

mél : pierre.billet-legros@developpement-durable.gouv.fr

Dominique GRILLY – Sétra

téléphone : 33 (0)1 46 11 33 10 - télécopie : 33 (0)1 45 36 84 10

mél : dominique.grilly@developpement-durable.gouv.fr

Julien BROSSARD – Sétra puis DDE 50

mél : julien.brossard@developpement-durable.gouv.fr

Floriane TORCHIN – Sétra

téléphone : 33 (0)1 46 11 30 34 - télécopie : 33 (0)1 45 36 81 34

mél : floriane.torchin@developpement-durable.gouv.fr

Ludovic VAILLANT – CETE Nord-Picardie

téléphone : 33 (0)3 20 49 60 20 – télécopie : 33 (0)3 20 53 15 25

mél : ludovic.vaillant@developpement-durable.gouv.fr

Emmanuel GAMBET – CETE de l'Ouest

téléphone : 33 (0)2 40 12 84 88 – télécopie : 33 (0)2 40 12 84 44

mél : emmanuel.gambet@developpement-durable.gouv.fr

Frédérique REFFET – CETE Méditerranée

téléphone : 33 (0)4 42 24 77 39– télécopie : 33 (0)4 42 60 79 00

mél : frederique.reffet@developpement-durable.gouv.fr

Mayder SALLEFRANQUE – CETE Méditerranée puis DDE 13

Mél : mayder.sallefranque@developpement-durable.gouv.fr

Renseignements techniques

Pierre BILLET-LEGROS – Sétra

téléphone : 33 (0)1 46 11 36 58 – télécopie : 33 (0)1 45 36 87 58

mél : pierre.billet-legros@developpement-durable.gouv.fr

Remerciements relecteur

Olivier CAZIER – RFF

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

46, avenue Aristide Briand – BP 100 – 92225 Bagneux Cedex – France

téléphone : 33 (0)1 46 11 31 31 – télécopie : 33 (0)1 46 11 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- Intranet (Réseau ministère) : <http://intra.setra.fr>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.

© 2010 Sétra – Référence : 1018w – ISRN : EQ-SETRA--10-ED07--FR

